



Fraunhofer

IOF

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE OPTIK UND FEINMECHANIK IOF

**JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT
2010**



GREEN PHOTONICS ...

... LÖSUNGEN MIT LICHT

**JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT
2010**

ZUKUNFT MIT LICHT THE FUTURE WITH LIGHT

Deutsche Unternehmen gehören heute in vielen Bereichen der Photonik zu den Weltmarktführern und die Photonik-Branche in Deutschland geht gestärkt aus der Wirtschaftskrise hervor. Bereits 2010 reichten die Umsätze wieder an die des Jahres 2008 heran – die Signale stehen derzeit auf Wachstum. Die Grundlage dafür sind die beispielhafte Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik in Deutschland sowie die Innovationskraft unserer Branche.

Im März 2010 startete die Branche mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) einen industriegeführten Strategieprozess. Etwa 300 Experten fanden sich in Berlin zusammen, um die Leitlinien der Forschung und Entwicklung für die nächsten zehn Jahre festzulegen. Die Agenda »Photonik 2020« ist das Ergebnis dieses Prozesses. Sie benennt die wichtigsten Herausforderungen, gibt Handlungsempfehlungen und ist ein Bekenntnis der Branche zum Produktionsstandort Deutschland.

Zusammen mit Dr. Peter Leibinger, Trumpf, und Dr. Frank Schlie-Roosen, BMBF, konnte ich Ministerin Prof. Dr. Annette Schavan in meiner Funktion als Sprecher des Programmausschusses Optische Technologien im vergangenen Dezember die Agenda überreichen. Die Ministerin sicherte der Branche die nachhaltige Unterstützung ihres Ministeriums bei der Umsetzung der Agenda in Public-Private-Partnership zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zu. Im Rahmen vorwettbewerblicher Forschungs- und Entwicklungsprojekte werden wir so die Grundlagen für Innovationen in den Zukunftsfeldern Produktion, Life Science und Gesundheit, Kommunikation sowie Beleuchtung und Energie legen.

Schon heute folgt die Photonik dem Leitbild einer nachhaltigen Nutzung von Licht – »Green Photonics«. Hierfür wird ein Marktwachstum von mehr als 12 Prozent prognostiziert. Der

Today, German companies are among the world's market leaders in many areas of photonics, an industry which in Germany has emerged from the economic crisis with new strength. Sales in 2010 again came up to 2008 figures – the signs are currently indicating growth, resting on a foundation of exemplary cooperation among business, science and politics in Germany and the creative innovation of our industry.

In March 2010, the photonics industry, supported by the German federal ministry of education and research (Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF), launched an industry-led strategic process. Around 300 experts convened in Berlin to lay down research and development guidelines for the next ten years. The "Photonics 2020" research agenda is the outcome of this process. It cites the key challenges, provides recommendations for action and is a profession of loyalty by the industry to Germany as a site of production.

Together with Dr. Peter Leibinger, Trumpf, and Dr. Frank Schlie-Roosen, BMBF, I presented the agenda to minister Prof. Dr. Annette Schavan in my capacity as speaker of the Optical Technologies program committee in December last year. The minister assured the industry of the lasting support of her ministry in implementing the agenda in a public-private partnership involving business, science and politics. In this context, we will lay the foundations for innovation in the cutting-edge fields of production, life science and health, communications, lighting and energy on pre-competitive research and development projects.

Today, photonics is already based on the guiding principle of the sustainable use of light – "Green Photonics". Market growth of over 12 percent is forecast here. The newly-founded "Green Photonics" Fraunhofer innovation cluster based in Jena pools expertise from business and science in this field



neu gegründete Fraunhofer-Innovationscluster »Green Photonics« mit Sitz in Jena bündelt die Kräfte von Wirtschaft und Wissenschaft mit Unterstützung von Bund und Freistaat Thüringen in diesem Feld mit dem Ziel, Green-Tech-Lösungen aus Deutschland zu einem Exportschlager zu entwickeln. Das Fraunhofer IOF ist mit seinem Partnerinstitut, dem IAP der Friedrich-Schiller-Universität, in den Bereichen Energie- und Beleuchtungstechnik sowie Umweltsensorik bereits heute gut positioniert, hier wichtige Beiträge für Innovationen zu leisten. Durch die Projektförderung von BMBF und Freistaat Thüringen mit den langfristigen Programmen Zentren für Innovationskompetenz, Spitzenforschung, ForMat, ProExzellenz und CoOPTICS wird gerade diese Kompetenz nachhaltig gestärkt. Allein in 2010 konnten hier Fördermittel mit einem Volumen von mehr als 30 Mio. € für die Folgejahre eingeworben werden. Im Erweiterungsbau des Instituts, dessen Fertigstellung wir 2011 entgegen sehen, werden speziell die Möglichkeiten zur Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit Anwendungen in der Erdbeobachtung und Umweltsensorik verbessert.

Mein Dank gilt unseren Partnern in Wirtschaft und Wissenschaft für die gute Zusammenarbeit und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, dem Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, dem Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft für ihre stetige Unterstützung.

Meinen besonderen Respekt, meine Anerkennung und meinen Dank verdienen meine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für ihre hervorragenden Leistungen und ihr Engagement. Ihre Arbeiten bilden die Grundlage für die stetige Weiterentwicklung des Fraunhofer IOF und des IAP.

with the support of the federal government and the free state of Thuringia and aims to develop greentech solutions from Germany into highly successful exports. The Fraunhofer IOF and its partner institution, the IAP at Friedrich Schiller University, is already in a good position to contribute substantially to innovative developments here in the areas of energy and lighting technology and environmental sensor technology. The project funding from the BMBF and the free state of Thuringia in the long-term centers for innovation competence, cutting-edge research, ForMat, ProExzellenz and CoOPTICS programs is lastingly consolidating this very competence. In 2010 alone, funding amounting to over €30 million was raised for the coming years. In the extension to the institute, which we expect to be completed in 2011, facilities to carry out research and development projects with applications in Earth observation and environmental sensor technology will be particularly enhanced. Moderation: Dr. Peter Braun

My thanks go to our partners in business and science for their excellent cooperation and the German federal ministry of education and research, the Thuringia ministry of education, science, and culture, the Thuringia ministry of business, work, and technology and the German research foundation for their unfailing support.

Particular credit, appreciation and thanks go to my employees for their outstanding work and commitment. Their work forms the basis for the continual development of the Fraunhofer IOF and the IAP.

Prof. Dr. Andreas Tünnermann

INHALT

Highlights 2010	6
Das Institut im Profil	12
Lösungen mit Licht – Ausgewählte Ergebnisse 2010	27
Energie und Umwelt	28
Design von Komponenten für Hochleistungslaser hoher Strahlqualität	30
High Speed-High Resolution-Sensor für die Leiterplatteninspektion	34
Organische UV-Schutzschichten für die Polycarbonatverglasung	38
Hochrepetierende few-cycle-Pulserzeugung für Hochintensitätsphysik	42
3D-Photonik für astronomische Interferometrie	44
Beschichtung großer Substrate für die Präzisionsoptik	48
Information und Sicherheit	50
THz-Tomographie für die räumliche Identifikation chemischer Substanzen	52
Fluorreaktive Präparation von Fluorid- und Oxifluoridschichten für das UV	56
Lebensdauer von EUV-Optiken	58
Ultra-dünne Kamera mit VGA-Auflösung	60
Freiformprisma für Head-Mounted Display	64
Richtungsselektive Streuschirme	68
Gesundheit und Medizintechnik	70
Chip in the Tip – Ultrakompakte Endoskopkamera mit VGA-Auflösung	72
Flachbauendes Mikroskop	76
Technologie	80
Multilagige mikrooptische Module	82
Lokales Schweißen mit ultrakurzen Laserpulsen	86
Unterdrückung stimulierter Ramanstreuung in DC-Faserverstärkern	88
Direktes Bonden: eine »neue« Bond-Technologie für Glas	90
Freiformbearbeitung von Mikrooptiken auf gekrümmten Oberflächen	92
Table-Top-Messsystem für Streulicht, R und T – ALBATROSS-TT	96
Entspiegelung von Saphirglas	98
Neue Gitter für Laseranwendungen	100
Grundlagen	104
Laserstrukturierung poly- und einkristalliner Diamantwerkzeuge	106
Praxisnahe Bewertung von Nanorauheiten durch Streulichtmessverfahren	110
Plasma und optische Technologien (PluTO)	116
Plasmonisch resonante Nanoringe	120
Das Fraunhofer IOF in Netzwerken	122
Namen, Daten, Ereignisse	130

CONTENT

Highlights 2010	6
The institute in profile	12
Solutions with light – Selected results 2010	27
Energy and environment	28
Design of optical components for single-mode high-power lasers	30
High speed-high resolution sensor for conductor board inspection	34
Organic UV-protection coatings for polycarbonate glazing	38
High repetition rate few-cycle pulse generation for high-field physics	42
3D photonics for astronomical interferometry	44
Coating of large substrates for precision optics	48
Information and safety	50
THz-tomography for the spatial identification of chemical substances	52
Metal fluoride and oxide evaporation with fluorine gas for UV coatings	56
Lifetime of EUV optics	58
Ultra-thin camera with VGA resolution	60
Freeform prism for head-mounted display	64
Angular selective diffusion panel	68
Health and medical engineering	70
Chip in the Tip – Ultra compact camera for endoscopy with VGA resolution	72
Ultra-thin microscope	76
Technology	80
Multilevel micro-optical modules	82
Local welding using ultrashort laser pulses	86
Suppression of stimulated Raman scattering in DC fiber amplifiers	88
Direct Bonding: a "new" technology for glass assembly	90
Freeform manufacturing of microoptics on curved surfaces	92
Table top system for R, T, and light scatter measurement – ALBATROSS-TT	96
Antireflective coatings on sapphire	98
Novel gratings for laser applications	100
Fundamentals	104
Laserstructuring of poly- and monocrystalline diamond tools	106
Surface nanostructure assessment using light scattering techniques	110
Plasma and optical technologies (PluTO)	116
Plasmonic resonant nanorings	120
The Fraunhofer IOF in networks	122
Names, dates, activities	130



Dr. Peter Leibinger

Prof. Dr. Annette Schavan

Prof. Dr. Andreas Tünnermann

PHOTONIK 2020

PHOTONICS 2020

Leitlinien für Forschung und Entwicklung

Am 30. November 2010 wurde in Berlin die Agenda »Photonik 2020« von Dr. Peter Leibinger und Prof. Andreas Tünnermann an Bundesforschungsministerin Prof. Annette Schavan übergeben. In der Agenda werden Herausforderungen und Chancen formuliert, vor denen die Branche in den nächsten zehn Jahren steht. Zudem wurden konkrete Leitlinien für Forschung und Entwicklung rund um die Nutzbarmachung des Lichts ausgearbeitet. Große Chancen bestehen in der konsequenten Erschließung der Zukunftsfelder Produktion, Gesundheit, Kommunikation, Beleuchtung und Energie für die Photonik.

Photonik als Innovations- und Wachstumstreiber

Einer Kernthese der Agenda zufolge steht die Branche trotz aller Errungenschaften erst am Anfang bei der Erschließung der Potenziale des Photons für künftige Wachstumsfelder. Auf dieser Basis werden richtungsweisende Prozesse zur konsequenten und nachhaltigen Nutzung des Rohstoffs Licht angeregt. Das Photon soll zum Innovationstreiber Nummer eins werden.

Empfehlungen an Wirtschaft, Wissenschaft und Politik

- Investition von mindestens 10 % des Umsatzes für FuE
- Wissenstransfer stärken, interdisziplinäre Ansätze forcieren
- Verbundforschung durch Förderprogramme vorantreiben
- Europäische Zusammenarbeit in »Photonics21« stärken
- Sichtbarkeit durch Corporate Identity erhöhen
- Nachwuchs sichern, denn Innovation braucht Köpfe
- Weg zum Markt durch Abbau von Marktbarrieren ebnen
- Wachstum finanzieren und Investitionsklima verbessern

Guidelines for research and development

On November 30, 2010, the "Photonics 2020" research agenda was presented to federal minister of research Prof. Annette Schavan by Dr. Peter Leibinger and Prof. Andreas Tünnermann.

The agenda lays out the key challenges and opportunities facing the industry in the next ten years. In addition, specific guidelines for research and development in all areas related to harnessing the potential of light have been drawn up. Major opportunities lie in the rigorous development of cutting-edge fields of production, health, communications, lighting and energy for photonics.

Photonics as a driver of innovation and growth

In line with one of the agenda's core theses, despite all its achievements the industry is still at a very early stage of exploiting the potential of the photon for future growth areas. Drawing on this basis, pioneering processes for the rigorous and sustainable use of light are encouraged. The objective is to make the photon the top driver of innovation.

Recommendations to business, science and politics

- Investment of at least 10 % of turnover for R&D
- Boost knowledge transfer, step up interdisciplinary work
- Promote joint research with specific funding programs
- Strengthen European cooperation in "Photonics21"
- Increase visibility with corporate identity
- Secure upcoming generation, as innovation needs thinkers
- Pave the way to market by removing barriers
- Finance growth and improve climate of investment

INNOVATIONSCLUSTER »GREEN PHOTONICS«

"GREEN PHOTONICS" INNOVATION CLUSTER

Die Menschheit steht heute vor einer Vielzahl von Herausforderungen in den Feldern Energie, Umwelt, Gesundheit und Ernährung. Der Bedarf an natürlichen Ressourcen für Energieerzeugung und Industrieproduktion ist in den vergangenen Jahren auf neue Höchstwerte gestiegen. An vielen Stellen sind bereits die Grenzen des Wachstums, bedingt durch begrenzte Vorkommen an fossilen Brenn- und Rohstoffen, Klimawandel und Umweltverschmutzung, zu erkennen.

»Green Photonics«, die nachhaltige Nutzung von Licht, kann wertvolle Beiträge zur Lösung dieser Zukunftsfragen leisten:

- Licht zur CO₂-neutralen Energieerzeugung,
- Licht zur energie- und ressourceneffizienten Produktion,
- Licht zur Beherrschung von Umwelt- und Klimakatastrophen,
- Licht zu sicherer Ernährung und Trinkwasserversorgung.

Der Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft hat am 22. 11. 2010 dem Antrag auf Förderung des Innovationsclusters »Green Photonics« Jena stattgegeben. Der Cluster bündelt in Public-Private-Partnership die Kräfte von Bund, Land, Wirtschaft und Wissenschaft mit dem Ziel, Potenziale auf dem Gebiet »Green Photonics« zu erschließen.

Strategische Leitthemen in der Forschung sind:

- Lichtlösungen für die energieeffiziente Beleuchtung,
- Optische Systeme für die Energietechnik,
- Optische Lösungen in der Umwelt- und Lebensmittelsensorik,
- Optische Technologien für effiziente Produktion,
- Ressourceneffiziente Fertigung optischer Systeme.

Mankind today faces a multitude of challenges in the areas of energy, the environment, health and nutrition. The demand for natural resources to drive power generation and industrial production has reached new peak values in recent years. The limits of growth, a consequence of the finite existence of fossil fuels, of climate change and environmental pollution, can be observed in many areas.

"Green Photonics" – the sustainable use of light – can make a valuable contribution to solving these future issues.

- Light for carbon-neutral power generation,
- Light for energy-saving and resource-efficient production,
- Light for containing environmental and climate disasters,
- Light for safe nutrition and drinking water supplies.

On November 22, 2010, the executive board of the Fraunhofer-Gesellschaft approved the application to support the "Green Photonics" Jena innovation cluster. In a public-private partnership, the cluster pools the resources of the federal government, Land, business and science with the aim of tapping new potential in the area of optical technologies and thus contributing to resolving urgent future issues with the use of light.

Key strategic issues in research include:

- Solutions with light for energy-efficient illumination,
- Optical systems for energy technology,
- Optical solutions in environmental and food sensors,
- Optical technologies for efficient production,
- Resource-efficient manufacture of optical systems.



KONFERENZEN/WORKSHOPS

CONFERENCES/WORKSHOPS

Optische Mikrosysteme (OptiMi) – Basistechnologien und Zukunftsfelder

Der vom Kompetenzdreieck Jena-Ilmenau-Erfurt OptiMi gemeinsam mit dem OptoNet e.V. durchgeführte Workshop fand am 18. Mai 2010 am Fraunhofer IOF statt. Forscher und Anwender diskutierten Applikationen optischer Mikrosysteme in den Zukunftsfeldern Medizin, Umwelt und Energie. Dabei wurden sowohl Basistechnologien als auch Demonstratoren vorgestellt, wie z.B. Mikrooptiken für die Beleuchtungstechnik, optische Bioreaktoren und Mikrotracker oder Sensorsysteme zur Partikelmessung. In der Diskussion wurden Handlungsstrategien für die Weiterentwicklung der regionalen Stärken in der Kombination von Optik und Mikrosystemtechnik entlang der gesamten Innovationskette im Kompetenzdreieck erarbeitet.

Ultrapräzisionsfertigung von Asphären und Freiformen

Auf Einladung des OptoNet e.V. und des Fraunhofer IOF trafen sich am 22. und 23. 9. 2010 mehr als 150 Experten aus 10 Ländern, um über ultrapräzise Bearbeitungsmethoden von optischen Oberflächen zu diskutieren. Unterstützt wurden die Organisatoren von den Unternehmen Carl Zeiss Jena und Qioptiq Photonics. Referenten aus führenden Forschungseinrichtungen und Unternehmen in Deutschland, den Niederlanden, Großbritannien, den USA und Japan legten mit ihren Vorträgen die Grundlage für das hohe wissenschaftliche Niveau der Veranstaltung. Im Mittelpunkt standen die technologischen Herausforderungen bei der Herstellung von Asphären und Freiformen, insbesondere im Hinblick auf Design, Materialien, Messtechnik und Applikationen.

Optical microsystems (OptiMi) – basic technologies and cutting-edge fields

The workshop organized by the Jena-Ilmenau-Erfurt competence triangle together with OptoNet e.V. was held on May 18, 2010. Researchers and end-users discussed applications of optical microsystems in the cutting-edge fields of medicine, the environment and energy. Both basic technologies and demonstrators were presented, including micro-optics for illumination engineering, optical bioreactors and micro trackers or sensor systems for particle analysis. Action strategies for the ongoing development of regional strengths in the combination of optics and microsystems engineering along the entire innovation chain in the competence triangle were drawn up during the discussion.

Ultra-precision machining of aspheres and freeforms

At the invitation of OptoNet e.V. and the Fraunhofer IOF, over 150 experts from 10 countries convened at the Abbe Center Beutenberg on September 22 and 23, 2010, to discuss ultra-precise methods for machining optical surfaces. The organizers were supported by Carl Zeiss Jena GmbH and Qioptiq Photonics GmbH. Talks by speakers from leading research institutes and companies in Germany, the Netherlands, Great Britain, the U.S. and Japan set the tone for the high scholarly level of the thoroughly successful event. The focus was on the technological challenges in the manufacture of aspheres and free-forms, particularly with respect to design, materials, metrology and applications.



MESSEN UND AUSSTELLUNGEN

TRADE FAIRS AND EXHIBITIONS

Weltneuheit auf der Photonics West in Kalifornien

Auf der Photonics West, der bedeutendsten Fachmesse für Optik und Photonik in 2010, die vom 26. bis 28. Januar in San Francisco stattfand, präsentierte das Fraunhofer IOF eine ultraflache Array-Projektionsoptik, die große Beachtung fand. Mit der neuartigen Optik können sowohl statische als auch bewegte Bilder in Grautönen oder in Farbe projiziert werden.

Vom Design zum System: OPTATEC in Frankfurt

Auf der OPTATEC, dem führenden Branchentreff der optischen Industrie, präsentierte das Fraunhofer IOF vom 15. bis 18. Juni neueste Forschungs- und Entwicklungsergebnisse, die die gesamte Kette vom Design bis hin zur Fertigung komplexer Systeme umfassen. Ein Highlight war der Demonstrator eines ultraflachen Mikroskops, das die Erfassung eines ausgedehnten Objektfeldes mit einem Auflösungsvermögen von 5 μm ermöglicht.

Präzise Spiegelsysteme auf der ILA Berlin Air Show

Weltraumoptiken höchster Präzision standen beim Auftritt des Fraunhofer IOF auf der Internationalen Messe für Luft- und Raumfahrtstechnologien vom 8. bis 13. Juni im Mittelpunkt. Gezeigt wurde eine Spiegelanordnung für ein Infrarot Sounder Teleskop, die zwei Spiegelmodule mit jeweils zwei nebeneinander liegenden Spiegelflächen umfasst. Durch eine neue, am Fraunhofer IOF entwickelte Technologie für die Bearbeitung der Module wird eine zehnmal höhere Genauigkeit für die Lage der Spiegel zueinander erreicht als mit vergleichbaren, konventionell gefertigten Spiegelbaugruppen.

World First at Photonics West in California

At Photonics West, the key trade fair for optics and photonics in 2010 which took place from January 26 to 28 in San Francisco, the Fraunhofer IOF presented a world first in its ultra-flat array projection optics, which was the subject of much attention. With that new array optics gray scale static and dynamic pictures as well as colored pictures may be projected.

From Design to System: OPTATEC in Frankfurt

The Fraunhofer IOF presented at OPTATEC in Frankfurt/Main – one of the optical industry's key trade fairs and industry meetings – from June 15 to 18, its latest research and development output, comprising the entire chain from design all the way to the production of complex systems for a wide range of applications. A highlight was the demonstrator of an ultra-flat microscope enabling the capture of an extended object field with a high resolution capability for structures up to 5 μm .

Precise Mirror Systems at the ILA Berlin Air Show

Space optics of the highest precision were the focus of attention on the Fraunhofer IOF booth at the international trade fair for aerospace technology from June 8 to 13, in Berlin. On display was a mirror assembly manufactured at the Fraunhofer IOF for an infrared sounder telescope, comprising two mirror modules with two juxtaposed mirror surfaces each. Due to a new technology developed at Fraunhofer IOF the position of two mirrors in relation to one another is ten times more precise than for comparable conventionally-produced mirror assemblies.





AUSZEICHNUNGEN/PREISE

AWARDS/PRIZES

Andreas Tünnermann zum OSA Fellow berufen

Für seine herausragenden Arbeiten auf dem Gebiet der Entwicklung von Festkörper- und Faserlasern hoher Leistung sowie seine Pionierleistungen in der Laser-Mikrobearbeitung wurde Prof. Andreas Tünnermann von der OSA, der Optical Society of America, zum OSA-Fellow 2010 berufen.

Andreas Tünnermann appointed OSA Fellow

For his outstanding work in the development of high-performance solid-state and fiber lasers and his pioneering achievements in laser micro-processing, Prof. Andreas Tünnermann was appointed OSA Fellow 2010 by the OSA, the Optical Society of America.

Cymer Service Award an Fraunhofer IOF

Im Oktober 2010 überreichte David W. Myers, Vice President EUV Engineering, Cymer, Inc., dem Fraunhofer IOF in Anerkennung der hervorragenden Leistungen bei der Beschichtung von Kollektorspiegeln für EUV-Laserplasmaquellen und der sehr guten Kundenbeziehungen den Cymer Service Award.

Cymer Service Award to Fraunhofer IOF

On the occasion of his visit to the IOF in October 2010, David W. Myers, Vice President EUV Engineering, Cymer, Inc., presented the Fraunhofer IOF with the Cymer Service Award in recognition of outstanding work in coating collector mirrors for EUV laser plasma sources and excellent customer relations.

Hugo-Geiger-Preis für Diplomarbeit an Marcel Sieler

Für die Entwicklung einer ultraflachen Projektionsoptik wurde Marcel Sieler auf der FhG-Jahrestagung mit dem 1. Preis ausgezeichnet (Abb. 1). Die mehrkanalige Optik basiert auf einem Mikrolinsenarray. Die durch die einzelnen Kanäle erzeugten Abbildungen überlagern sich, so dass die Bildhelligkeit durch die Anzahl der Kanäle bestimmt ist. Erste Prototypen der Projektionsoptik sind weniger als 3 mm dick.

Hugo Geiger Prize for diploma thesis to Marcel Sieler

Marcel Sieler was presented the 1st Prize at the Fraunhofer annual conference (Fig. 1) for the development of an ultra-flat projection optics system. The multi-channel projection optics system is based on a microlens array. The images generated by the individual channels overlay each other, so that the image brightness is defined by the number of channels. Initial prototypes of the projection optics have a thickness of less than 3 mm.

STIFT-Preis für Promotion an Dr. Martin Bischoff

Im Rahmen des Innovationstages Thüringen wurde Dr. Martin Bischoff mit dem Preis der Stiftung für Technologie, Innovation und Forschung Thüringen für seine hervorragende Promotionsarbeit zum Thema »Plasmagestützte Beschichtung von Metallfluoriden für den tiefen ultravioletten Spektralbereich« ausgezeichnet.

STIFT Prize for doctoral thesis to Dr. Martin Bischoff

As part of the Innovation Day Thuringia, Dr. Martin Bischoff was awarded the prize of the Foundation for Technology, Innovation and Research in Thuringia (STIFT) for his outstanding doctoral thesis: "Plasma-supported coating of metal fluorides for the deep ultraviolet spectral range".

LÖSUNGEN MIT LICHT

SOLUTIONS WITH LIGHT

Das Fraunhofer IOF betreibt mit seinen Partnern anwendungsorientierte Forschung auf dem Gebiet der optischen Systemtechnik im direkten Auftrag der Industrie und im Rahmen von öffentlich geförderten Verbundprojekten. Ziel ist die Entwicklung innovativer optischer Systeme zur Kontrolle von Licht von der Erzeugung bis hin zur Anwendung in den Zukunftsfeldern Energie, Umwelt, Information, Kommunikation, Gesundheit, Medizintechnik, Sicherheit und Mobilität. Eine besondere Rolle spielt dabei die nachhaltige Nutzung von Licht – »Green Photonics« – im Rahmen des Fraunhofer-Innovationsclusters. Zum Erreichen dieser Zielstellungen bildet das IOF die gesamte Prozesskette vom Systemdesign bis zur Fertigung von Prototypen optischer, opto-mechanischer und opto-elektronischer Systeme ab. Von strategischer Bedeutung ist die enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität insbesondere in der Erarbeitung des wissenschaftlichen Vorlaufs sowie in der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Das Kompetenzportfolio umfasst:

- Design und Simulation,
- Mikro- und Nanostrukturierung,
- Materialien der Optik und Photonik,
- Beschichtung und Oberflächenfunktionalisierung,
- Diamant- und laserbasierte Ultrapräzisionsbearbeitung,
- Montage und Systemintegration,
- Laserentwicklung und nichtlineare Optik,
- Messverfahren und Charakterisierung.

Together with its partners, the Fraunhofer IOF conducts application-oriented research in the field of optical systems engineering on behalf of its clients in industry and within publicly-funded collaborative projects. The objective is to develop innovative optical systems to control light, from its generation to its application in the cutting-edge fields of energy, environment, information, communication, healthcare, medical technology, safety and mobility. In this context, the sustainable energy-efficient use of light – "Green Photonics" – plays a special role for the IOF, particularly with regard to the Fraunhofer innovation cluster.

To achieve these goals, the IOF charts the entire process chain, from the system design to the manufacture of prototype optical, opto-mechanical and opto-electronic systems.

The close cooperation with the Institute of Applied Physics at the Friedrich Schiller University is of particular strategic importance in both covering the scientific lead work and training young scientists.

The competence portfolio encompasses:

- design and simulation,
- micro- and nano-structuring,
- materials for optics and photonics,
- coatings and surface functionalization,
- diamond and laser-based ultra-precision machining,
- assembling and system integration,
- laser development and nonlinear optics,
- measurement and characterization.

DAS INSTITUT IM PROFIL

THE INSTITUTE IN PROFILE

Aufbauend auf den bestehenden Kompetenzen ist das Fraunhofer IOF gemeinsam mit seinem Partnerinstitut, dem IAP der FSU in folgenden Geschäftsfeldern tätig:

- Funktionale Oberflächen und Schichten,
- Mikrooptik und Nanooptik,
- Faser- und Wellenleiteroptik,
- Bildgebung und Beleuchtung,
- Werkzeug- und Formenbau,
- Lichtquellen und Lasersysteme,
- Optische Komponenten und Systeme,
- Optik extremer Wellenlängen (XUV und THz),
- Photonische Sensoren und Mess-Systeme.

Die primär adressierten Märkte sind:

- Energie- und Umwelttechnik,
- Beleuchtungs- und Lichttechnik,
- Kommunikations- und Informationstechnik,
- Sicherheitstechnik,
- Medizintechnik und Life Science,
- Luftfahrt, Raumfahrt- und Astrotechnik,
- Automobiltechnik,
- Produktionstechnik.

Strategische Entwicklungsthemen, die 2010 mit Unterstützung des BMBF und des Freistaats Thüringen intensiviert werden konnten, betreffen die Ultrakurzpulslasertechnik, Freiform- und Silizium-Optik sowie die Terahertz-Tomographie.

Einen Schwerpunkt der Ausbauinvestitionen bildete die infrastrukturelle Erweiterung der Mess- und Charakterisierungstechnik für Freiform-Optiken. Neben taktilen Messverfahren wurde insbesondere die Interferometrie ausgebaut, die unter Anwendung von spezifischen computer-generierten Hologrammen die Vermessung von Freiform-Optiken mit Durchmessern bis 150 mm ermöglicht.

On the basis of the existing competencies, Fraunhofer IOF, together with its partner institute, the IAP of the Friedrich Schiller University, works in the following business fields:

- functional surfaces and coatings,
- micro-optics and nano-optics,
- fiber and waveguide optics,
- imaging and illumination,
- toolmaking and mold construction,
- light sources and laser systems,
- optical components and systems,
- optics of extreme wavelength (XUV and THz),
- photonic sensors and measuring systems.

The markets primarily addressed are:

- energy and environmental technologies,
- illumination and lighting technology,
- communication and information technology,
- safety and security,
- medical technology and life sciences,
- aerospace and astronomy,
- automotive engineering,
- production technology.

Strategic research topics such as ultra-short pulse laser technology, freeform and silicon optics as well as THz tomography were intensified in 2010 with support of the BMBF and the Free State of Thuringia.

The main focus with respect to investments was put on infrastructural upgrading of measuring and characterization technologies for freeform optics. Besides tactile measuring systems, interferometric methods were expanded using specific computer-generated holograms for measuring freeform optics with diameters as large as 6 inches.



WECHSEL IM VORSITZ DES KURATORIUMS

NEW CHAIRMANSHIP OF THE ADVISORY BOARD

Der Dank der Fraunhofer-Gesellschaft und besonders des Fraunhofer IOF gilt dem langjährigen Vorsitzenden des Kuratoriums, Herrn Dr. Franz-Ferdinand von Falkenhausen. Er leitete das Kuratorium über 10 Jahre und hat die Entwicklung des Instituts in dieser Zeit mit außerordentlichem Engagement unterstützt. Seine umfangreichen Erfahrungen aus seiner leitenden Tätigkeit bei Carl Zeiss bildeten die Grundlage für viele konstruktive Vorschläge zur strategischen Weiterentwicklung des Instituts. Für sein engagiertes Wirken für das Fraunhofer IOF wurde Herrn Dr. von Falkenhausen von Prof. Dr. Ulrich Buller, Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft, die Fraunhofer-Medaille verliehen.

In der Kuratoriumssitzung am 21. April 2010 wurde Dr. Michael Mertin, Vorstandsvorsitzender der JENOPTIK AG, zum neuen Kuratoriumsvorsitzenden gewählt.

Dr. Mertin studierte Physik an der RWTH Aachen und promovierte anschließend am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik. 1996 wechselte er zu Carl Zeiss nach Oberkochen und war dort bis 2006 in verschiedenen Geschäftsbereichen in leitenden Positionen tätig. Im Oktober 2006 kam Dr. Mertin zur JENOPTIK AG, seit 1. Juli 2007 ist er Vorstandsvorsitzender. Zwischen dem Fraunhofer IOF und Unternehmen der JENOPTIK AG gibt es eine langjährige erfolgreiche Zusammenarbeit in gemeinsamen Projekten.

1 Prof. Dr. Buller überreicht Dr. von Falkenhausen die Fraunhofer-Medaille.

2 Dr. Michael Mertin

The Fraunhofer-Gesellschaft and, in particular, the Fraunhofer IOF expressed their thanks to the longstanding chairman of the Advisory Board, Dr. Franz-Ferdinand von Falkenhausen. He headed the Advisory Board for over 10 years and supported the development of the institute with exceptional commitment during this time. His extensive experience gained from his management role at Carl Zeiss formed the basis for many constructive proposals to strategically develop the institute. For his committed service to the Fraunhofer IOF, Dr. von Falkenhausen was presented the Fraunhofer Medal by Prof. Dr. Ulrich Buller, Senior Vice President of the Fraunhofer-Gesellschaft.

In the Advisory Board meeting on April 21, 2010, Dr. Michael Mertin, chief executive of JENOPTIK AG, was elected as the new chairman.

Dr. Mertin studied physics at RWTH Aachen University before completing a doctorate at the Fraunhofer Institute for Laser Technology. In 1996, he moved to Carl Zeiss in Oberkochen and worked there in a range of senior positions and business areas until 2006. Dr. Mertin joined JENOPTIK AG in October 2006 and has been chief executive since July 1, 2007. The Fraunhofer IOF and companies of JENOPTIK AG have worked on joint projects in successful partnerships for many years.

1 Dr. von Falkenhausen is presented the Fraunhofer Medal by Prof. Dr. Buller.

2 Dr. Michael Mertin

KURATORIUM ADVISORY BOARD

Dr. Franz-Ferdinand von Falkenhausen | Vorsitzender/Chair (bis 21. 4. 2010)

Dr. Michael Mertin | Vorsitzender/Chair (ab 21. 4. 2010), JENOPTIK AG, Jena

Dr. Klaus Bartholmé | Friedrich-Schiller-Universität, Jena

Petra Bogdanski | Mahr-OKM GmbH, Jena

Dr. Hans Eggers | Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn

Karin Holota | Holota Optics, Bad Tölz

Kornelia Kanitz | Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Erfurt (ab 1. 10. 2010)

Dr. Roland Langfeld | Schott AG, Mainz

Prof. Dr. Falk Lederer | Friedrich-Schiller-Universität, Physikalisch-Astronomische Fakultät, Jena

Dr. Mario Ledig | Qioptiq Photonics GmbH & Co KG, Feldkirchen

Dipl.-Ing. Peter Leibinger | TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen

MinR Dr. Joachim Niklaus | Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Erfurt (bis 30. 9. 2010)

Prof. Dr. Roland Sauerbrey | Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden

Dr. Frank Stietz | Carl Zeiss AG, Oberkochen

Dr. Berit Wessler | OSRAM GmbH, München

Dr. Werner Wilke | VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin

Dr. Dirk Zittlau | Continental Automotive GmbH, Babenhausen

ORGANIGRAMM ORGANIZATION



DIRECTOR

Prof. Dr. Andreas
Tünnermann



**DEPUTY
DIRECTOR**

Prof. Dr.
Norbert Kaiser

OPTICAL COATINGS



Prof. Dr.
Norbert Kaiser



**NIR- and
VIS-Coatings**
Dr. Olaf Stenzel



**Optical Coatings
on Plastics**
Dr. Ulrike Schulz



**EUV and
X-ray Optics**
Dr. Torsten Feigl

OPTICAL SYSTEMS



Dr.
Gunther Notni



**Characterization of
Surfaces and Coatings**
Dr. Angela Duparré



3D Measurement
Dr. Peter Kühmstedt



**Optical System
Development**
Dr. Stefan Riehemann

MICROOPTICAL SYSTEMS



Dr.
Andreas Bräuer



Illumination
Dr. Peter Schreiber



**Technology
and Integration**
Dr. Peter Dannberg



Imaging
Dr. Frank Wippermann



CMN-Optics
Dr. Uwe Detlef
Zeitner

PRECISION ENGINEERING



Dr.
Ramona Eberhardt



Microassembly
Dr. Erik Beckert



Precision Systems
Dr. Stefan Risse



**Simulation and
Mechanical Design**
Dr. Thomas Peschel



Fiber Lasers
Dr. Thomas Schreiber



STRATEGIC CONTROLLING

Dipl.-Oec.
Elke Heuer



ASSISTANCE

Dipl.-Betriebsw. (FH)
Adlin Bruns



ASSISTANCE

Dipl.-Betriebsw. (FH)
Susan Oxfart



**Strategy, Marketing,
Coordination**
Dr. Brigitte Weber



Administration
Dipl.-Kffr.
Astrid Deppe



Technical Services
Dipl.-Ing. (FH)
Wieland Stöckl

INFRASTRUCTURE



ultra optics
Center of
Innovation Competence

Prof. Dr. Thomas Pertsch



amos
Application Center
for Microoptical Systems

Dr. Oliver Mauroner



NanoReplica
Junior Research Group

Dr. Erik Beckert



Insect Inspired Imaging
Junior Research Group

Dr. Robert Leitel
Dipl.-Phys. Andreas Brückner

RESEARCH CENTERS



Coordination
Dr.
Frank Schrepel



Laser Shaping
Prof. Dr.
Stefan Nolte



Fiber Lasers
Prof. Dr.
Jens Limpert



Micro-Structuring
Dr.
Ernst-Bernhard Kley



Nano-Optics
Prof. Dr.
Thomas Pertsch

INSTITUTE OF APPLIED PHYSICS – FSU



Funktionale optische Oberflächen und Schichten

Mit optischen Schichten werden Oberflächen für vielseitige Anforderungen maßgeschneidert. Das Fraunhofer IOF entwickelt Oberflächenfunktionalisierungen und multifunktionale optische Schichtsysteme auf Kunststoff, Glas, Keramik und Metall für Wellenlängen von Extrem-Ultraviolett bis Infrarot.

Mikrooptik und Nanooptik

Am Fraunhofer IOF entwickelte mikro- und nanooptische Komponenten und Systeme wie refraktive und diffraktive miniaturisierte Optiken, dielektrische und metallische Gitter, computergenerierte Hologramme, photonische Kristalle und Metamaterialien finden Anwendung in der Beleuchtung, Projektion, Informations-, Laser-, Energie- und Messtechnik.

Faser- und Wellenleiteroptik

Optische Fasern und Wellenleiter sind wesentliche Komponenten in photonischen Systemen für eine Vielzahl von Anwendungen. Neuartige Faserkonzepte, -koppler und -verstärker werden für unterschiedliche Wellenlängen, ultrakurze Pulse und Leistungen bis in den Multikilowatt-Bereich entwickelt.

Bildgebung und Beleuchtung

Moderne optische Systeme erfordern angepasste und gleichzeitig höchst effiziente Lösungen. Das Fraunhofer IOF entwickelt Beleuchtungs- und Strahlführungssysteme für Laser, LED und OLED sowie miniaturisierte digitale Projektionssysteme und hochkompakte abbildende Systeme.

Werkzeug- und Formenbau

Mittels Ultrapräzisionsbearbeitung werden Metall- und Kunststoffoptiken sowie Abform-, Präge- und Spritzgusswerkzeuge für die Replikation entwickelt. Einen Schwerpunkt bildet die Erforschung und Fertigung von Freiformoptiken für Anwendungen im High-End-Bereich.

Functional optical surfaces and coatings

Using optical coatings, surfaces can be tailored to diverse demands. The Fraunhofer IOF develops surface functionalizations and multi-functional optical coatings on plastic, glass, ceramics and metal for wavelengths from extreme ultraviolet to infrared.

Micro-optics and nano-optics

Micro-optical and nano-optical components and systems developed at the Fraunhofer IOF such as refractive and diffractive miniaturized optics, dielectric and metallic gratings, computer-generated holograms, photonic crystals and meta-materials are used in information technology, laser technology, illumination, projection, energy technology and metrology.

Fiber and waveguide optics

Optical fibers and waveguides are key components in photonic systems for a multitude of applications. Innovative fiber designs, concepts, couplers and amplifiers are developed for a range of wavelengths, ultra-short pulses and applications up to the multi-kilowatt range.

Imaging and illumination

Modern optical systems are designed to provide adapted and simultaneously ultra-efficient solutions. The Fraunhofer IOF develops illumination and beam guidance systems for lasers, LEDs and OLEDs as well as miniaturized digital projection systems and ultra-compact imaging systems.

Tool making and mold making

Using ultra-precision machining, metal and plastic optics as well as molding, embossing and injection molding tools for replication are developed. The investigation and production of free-form optics for applications in the high-end sector is one area of focus.



GESCHÄFTSFELDER BUSINESS AREAS

Lichtquellen und Lasersysteme

Festkörperlichtquellen wie LED und OLED besitzen durch den Einsatz von anwendungsangepassten Optiken für Lichtauskopplung und -lenkung ein hohes Potenzial zur Energieeinsparung in der Beleuchtung. Kompakte Ultrakurzpuls laser hoher Leistung finden Einsatz in der Mikro- und Makrobearbeitung sowie in der Medizintechnik.

Optische Komponenten und Systeme

Das Fraunhofer IOF beherrscht die gesamte Prozesskette vom Design optischer Komponenten und Systeme über die Fertigung der Komponenten bis hin zur Systemintegration. Auf dieser Basis werden bildgebende und Projektionssysteme für Information, Kommunikation und Sicherheit, Wafer- und Masken-Chucks für Lithografie und Messtechnik, Spiegelsysteme für Astronomie, Luft- und Raumfahrt, Lasersysteme für Ophthalmologie und Materialbearbeitung sowie 3D-Messsysteme für Qualitätssicherung, Kriminalistik und Medizin entwickelt.

Optik extremer Wellenlängen (XUV und THz)

Ob Terahertz-Spektroskopie oder Röntgenmikroskopie, extrem lange und extrem kurze Wellenlängenbereiche werden zunehmend für die Anwendung erschlossen. Das Leistungsangebot des Fraunhofer IOF reicht dabei von optischen Komponenten und Systemen für die THz-Bildgebung bis hin zu Optiken für den EUV-Bereich und den weichen Röntgenbereich.

Photonische Sensoren und Messsysteme

Licht als Präzisionsinstrument eröffnet der Messtechnik, Sensorik und Analytik eine Vielzahl an Möglichkeiten. Am Fraunhofer IOF werden verschiedenste optische und optoelektronische Mess- und Sensorsysteme entwickelt. Das Spektrum reicht von der prozessintegrierten Qualitätssicherung und 3D-Formvermessung über die Oberflächencharakterisierung bis hin zu THz-Spektroskopie.

Light sources and laser systems

Through the use of application-adapted optics for light outcoupling and distribution, solid-state light sources such as LEDs and OLEDs offer considerable potential for saving energy in illumination. Compact high performance ultra-short pulse fiber lasers are used in micro- and macro-processing and in medical technology.

Optical components and systems

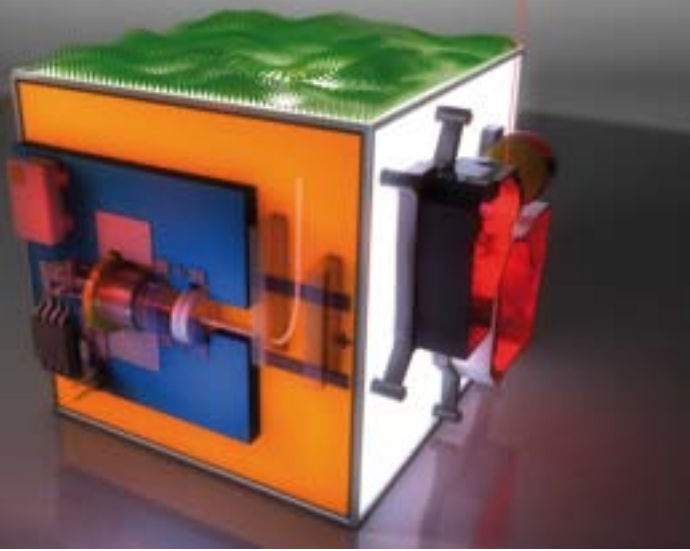
The Fraunhofer IOF possesses comprehensive expertise in the entire process chain from the design of optical components and systems all the way to system integration. Developments on the basis of this include miniaturized imaging and projection systems for information, communication and safety, wafer and mask chucks for lithography and metrology, mirror systems for astronomy and aerospace, laser systems for ophthalmology and materials processing as well as 3D measuring systems for quality assurance, criminology and medicine.

Extreme wavelength optics (XUV and THz)

Whether terahertz spectroscopy or X-ray microscopy, extremely long and short wavelength ranges are increasingly being opened up for applications. The services provided by the Fraunhofer IOF range from optical components and systems for THz imaging to optics for the EUV range and the soft X-ray range.

Photonic sensors and measuring systems

Light as an instrument of precision opens up a wide range of possibilities for metrology, sensor technology and analytics. Diverse optical and optoelectronic measuring and sensor systems are developed at the Fraunhofer IOF. The spectrum ranges from process-integrated quality assurance and 3D shape measurement via surface characterization to terahertz spectroscopy.



Design und Simulation

Zentrale Kompetenz und Basis aller Entwicklungen am Fraunhofer IOF sind das Optik- und Mechanik-Design sowie die Simulation und Analyse optischer und opto-mechanischer Systeme einschließlich thermischer und thermo-optischer Effekte. Design- und Modellierungswerkzeuge erlauben die Simulation von Systemen für den THz- bis zum Röntgenbereich, von Mikrooptiken bis zu astronomischen Teleskopen.

Mikro- und Nanostrukturierung

Die Erzeugung und Replikation optischer Mikro- und Nanostrukturen ist Grundlage für komplexe optische Systeme. Die am Institut vorhandene technologische Basis, wie z. B. Laser- und Elektronenstrahlolithographie sowie reaktives Ionenätzen, erlaubt die Fertigung und Charakterisierung von High-End mikro- und nanooptischen Elementen höchster Auflösung auf bis zu 12"-Substraten, auch auf gekrümmten Oberflächen.

Materialien der Optik und Photonik

Die Nanostrukturtechnik ermöglicht die Entwicklung neuer Materialien für Optik und Photonik wie photonische Kristalle und Metamaterialien, die völlig neue Anwendungen in den Bereichen Bildgebung, ultra-kompakte Lichtquellen, Nanomikroskopie und optische Nanomanipulation ermöglichen. Die Erforschung dieser Materialien erfolgt im Zentrum für Innovationskompetenz »ultra optics«.

Beschichtung und Oberflächenfunktionalisierung

Funktionale Beschichtungen und Oberflächen sind wesentlicher Bestandteil innovativer optischer Systeme. Umfangreiche Kompetenzen bestehen im Design optischer Multilayer, in der Entwicklung von Beschichtungsverfahren und in der Charakterisierung von Oberflächen und Schichten. Hervorzuheben sind Schichtsysteme für Optiken im EUV- und im Röntgenbereich sowie die Funktionalisierung von Kunststoffoberflächen.

Design and simulation

The key area of expertise and the basis for all developments at the Fraunhofer IOF is optical and mechanical design as well as the simulation and analysis of optical and opto-mechanical systems inclusive of thermal and thermo-optical effects. Extensive design and modeling tools enable the simulation and optimization of systems for the THz to X-ray range – from micro-optics to astronomical telescopes.

Micro- and nano-structuring

The creation and replication of optical micro- and nano-structures is the basis for modern complex optical systems. The technical infrastructure available at the institute, enable the production and characterization of high-end micro- and nano-optical elements in the highest resolution on substrates up to 12", including curved surfaces.

Optics and photonics materials

Nanostructure technology enables the development of new materials for optics and photonics such as photonic crystals and meta-materials, opening up completely new applications in the fields of imaging, ultra-compact light sources, nanomicroscopy and optical nanomanipulation. The investigation of these materials is carried out at the Center for Innovation Competence "ultra optics".

Coating and surface functionalization

Functional coatings and surfaces are an essential element of innovative optical systems. Extensive expertise exists in the design of optical multi-layer systems, in the development of coating processes for various applications and in the characterization of surfaces and coatings. Especially significant are ultra-reflective coating systems for optics in the EUV and X-ray range as well as the functionalization of plastic surfaces.

KOMPETENZFELDER FIELDS OF EXPERTISE

Diamant- und laserbasierte Ultrapräzisionsbearbeitung

Mit ultrapräzisen Fertigungstechnologien wie Einkorn-Diamantdrehen, Flycutting, Mikrofräsen, Hobeln werden Metall-optiken, Kunststoffoptiken, Mikrostrukturen sowie Abformwerkzeuge für Präzisionsreplika in optischer Qualität gefertigt. Für 500 cm² große asphärische Metallspiegel werden Formabweichungen < 18 nm und Mikrorauheiten < 1 nm erreicht. Zur Überprüfung der Fertigungsergebnisse kann auf modernste antastende und optische Messtechnik zurückgegriffen werden.

Mikromontage und Systemintegration

Umfangreiches Know-how besteht in der Entwicklung von Technologien zur hybriden Integration unterschiedlicher Komponenten mit hoher Präzision für den Aufbau komplexer optomechanischer und opto-elektronischer Mikro- und Makrosysteme. Das reicht von Montagetechnologien wie Positionieren und Justieren, Fügetechnologien wie Kleben, Laserlöten, Plasmaplombieren, Laserspleißen und Justierdrehen bis hin zur Integration optischer Systeme für Weltraumanwendungen.

Laserentwicklung und nichtlineare Optik

Für die Entwicklung von Hochleistungs-Faserlasern mit beugungsbegrenzter Strahlqualität bestehen hervorragende Voraussetzungen durch Kompetenzen in Faserdesign, Optikdesign, Thermooptik, Aufbau- und Verbindungstechnik und in der Entwicklung effizienter Koppler und Strahlführungssysteme.

Messverfahren und Charakterisierung

Entsprechend kundenspezifischer Anforderungen sowie interner Erfordernisse werden optische Messverfahren und -systeme entwickelt. Schwerpunkte sind die Charakterisierung optischer und nichtoptischer Oberflächen, Schichten, Komponenten und Systeme im Mikro- und Subnanobereich sowie die 3D-Formfassung. 2010 wurden erste Ergebnisse zur Mikrostrukturanalyse mittels THz-Tomographie erzielt.

Diamond and laser-based ultra-precision machining

Using ultra-precise production technologies such as single-point diamond turning, fly cutting, micro-milling and planing, metal optics, plastic optics, microstructures and molding tools for precision replicas are manufactured in optical quality. Deviations in form < 18 nm and micro-roughness < 1 nm are achieved for aspherical metal mirrors 500 cm² large. Ultra-modern tactile and optical metrology can be used to examine the manufacturing results.

Micro-assembly and system integration

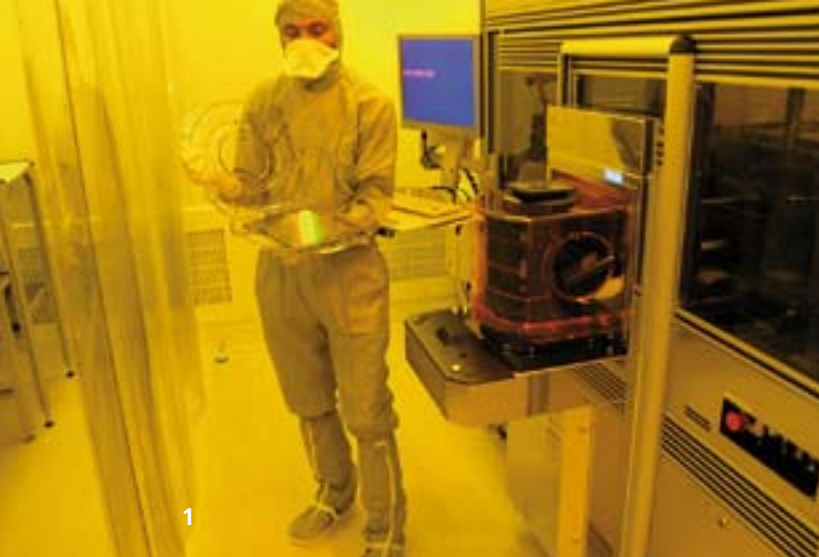
Extensive expertise exists in the development of technologies for hybrid integration of various components with high precision for the assembly of complex opto-mechanical and optoelectronic micro- and macro-systems. That ranges from assembly technologies such as positioning and alignment, joining technologies such as bonding, laser soldering, plasma bonding, laser splicing and alignment turning all the way to the integration of optical systems for space applications.

Laser development and non-linear optics

The expertise of IOF in fiber design, optics design, thermo-optics, assembly and joining technology and in the development of efficient fiber couplers and beam guidance systems offers outstanding potential for the development of high-performance fiber lasers with diffraction-limited beam quality.

Measurement methods and characterization

Optical measuring methods and systems are developed to meet customer-specific requirements and internal needs. Key areas include the characterization of optical and non-optical surfaces, coatings, components and systems in the micro and sub-nano range as well as 3D shape measurement. First results of microstructure analysis using THz tomography were obtained in 2010.



1



Kompetenzdreieck
Optische Mikrosysteme OptiMi



Die hervorragende technische Ausstattung in ihrer einzigartigen Bandbreite ist eine wesentliche Grundlage der erfolgreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Das Fraunhofer IOF verfügt über exzellent ausgerüstete Labore auf einer Fläche von 2 550 m². Darin eingeschlossen sind 860 m² Reinraum der Klassen 10 000 bis 10, eine mechanische Werkstatt und ein umfangreiches Versuchsfeld für Test und Demonstration.

Das BMBF-geförderte **Applikationszentrum Mikrooptische Systeme amos** verbindet die herausragende Infrastruktur des Fraunhofer IOF mit den Kompetenzen des CiS Forschungsinstituts für Mikrosensorik und Photovoltaik Erfurt. Durch die enge Verknüpfung von Optik und Sensorik werden innovative mikro-opto-elektronische Lösungen (MOEMS) generiert.

Technologisches Herzstück des 2006 eingerichteten **Center for Advanced Micro- and Nano-Optics (CMN-Optics)** ist die Elektronenstrahlithografieanlage vom Typ VISTEC SB350 OS (Abb. 1). Damit ist die Erzeugung kleinster Strukturen mit hoher Schreibgeschwindigkeit und einer Auflösung bis 50 nm auf bis zu 12"-großen Substraten möglich.

Von 2006 bis 2010 legte die BMBF-geförderte Nachwuchsgruppe **nanoreplica** die Grundlagen einer durchgängigen Technologiekette vom Prototyping bis hin zur Fertigung komplexer optischer Bauteile in Polymer und Glas – vom Makro- bis zum Nano-Bereich.

Gemeinsam mit der TU Ilmenau und dem CiS Erfurt sind das IAP der FSU und das Fraunhofer IOF Partner im BMBF-geförderten **Kompetenzdreieck OptiMi**. Schwerpunkte sind Plattformtechnologien für optische Mikrosysteme und deren praktische Umsetzung. Darüber hinaus wird der Aufbau übergreifender Studienprogramme und einer Graduiertenschule vom Freistaat Thüringen unterstützt.

The unique range of outstanding technical equipment is an essential basis for successful research and development work. The Fraunhofer IOF is home to excellently equipped laboratories with an area of 2550 m². This includes an 860 m² class 10,000 to 10 clean room, a mechanical workshop and an extensive experimental area for testing and demonstration.

The **amos Application Center for Micro-Optical Systems**, supported by the Federal ministry of education and research (BMBF), combines the outstanding infrastructure of Fraunhofer IOF with the skills of the CiS Research Institute for Micro Sensors and Photovoltaics in Erfurt. The close linking of optics and sensor technology is creating innovative micro-optical and micro-optoelectronic solutions (MOEMS).

The technological heart of the **Center for Advanced Micro- and Nano-Optics (CMN-Optics)**, set up in 2006, is the electron beam lithography system of type VISTEC SB350 OS (Fig. 1). With it, it is possible to create small structures with a high write rate and a resolution of up to 50 nm on substrates with up to 12 inch in diameter.

From 2006 to 2009 the **nanoreplica** junior research group, supported by the BMBF, established an integrated technology chain from prototyping to manufacturing of complex optical components in polymer and glass – from the macro to the nano range.

The FSU-IAP, the Ilmenau University of Technology, the CiS Erfurt, and Fraunhofer IOF are partners within the so called "Competence Triangle" **OptiMi**, supported by the BMBF. Main topics are the development of platform technologies for optical micro-systems and their realization. Moreover, the Free State of Thuringia supports interdisciplinary qualification programs and a graduate school.

TECHNISCHE AUSSTATTUNG

TECHNICAL EQUIPMENT

Beschichtungstechnik für EUV bis NIR

- Sputteranlagen, Hochvakuumbedampfungsanlagen
- Mikrogalvanik

Mikro- und Nanostrukturtechnik

- Photolithographie, Laserlithographie
- Elektronenstrahl-Lithographie

Mikrooptik-Technologie

- Anlage zum reaktiven Ionenätzen
- Plasma-Trockenätzanlage
- Polymer- und Glaspräganlage
- Mask-Aligner

Ultrapräzisionsbearbeitung

- Ultrapräzisions-Drehmaschinen
- CNC-Mehrfachfräsmaschine
- 5-Achs-Mikrobearbeitungszentren

Integration, Mikromontage

- Laserstrahllöten, Solderjet Bumping
- Mikromontagesysteme
- Positionier- und Justiersysteme

Messtechnik

- Streulichtmesssystem (157 nm–10,6 µm)
- Spektralphotometer (120 nm–50 µm)
- Röntgendiffraktometer, -reflektometer
- Rasterkraft-/Elektronen-/Laserscanningmikroskop
- Taktile und interferometrische Systeme zur Vermessung von Freiformen
- Messsysteme zur 3D-Formerfassung
- Messverfahren zur Optik-Charakterisierung
- Messtechnik zum Test von Lebensdauer und Haftfestigkeit optischer Schichten, Klimaprüfung

Coating technologies for a spectral range from EUV to NIR

- Sputtering technologies, high vacuum evaporation
- Micro-electroplating

Micro- and nano structuring

- Photolithography, laser beam lithography
- Electron beam lithography

Micro-optics technology

- Reactive ion etching
- Plasma dry etching
- Polymer and glass embossing
- Mask-Aligner

Ultra precision machining

- Ultra-precision turning late
- CNC multi milling machines
- 5-axis micro machining center

Integration, micro-assembly

- Laser beam soldering, Solderjet Bumping
- Micro-assembly system
- Positioning and alignment systems

Measuring technologies

- Scattered light measurement systems (157 nm–10,6 µm)
- Spectral photometers (120 nm–50 µm)
- X-ray diffractometer/reflectometer
- Atomic force/Electron/Laser scanning microscope
- Tactile and interferometric systems for freeform measurement
- Systems for 3D shape measurement
- Techniques for optics characterization
- Testing of long-term stability and adhesion of optical coatings, climate testing

Betriebshaushalt

Der Betriebshaushalt 2010 ist gegenüber dem Vorjahr um 3 % gewachsen, wobei die Aufwendungen für Personal etwas stärker (3,4 %) angestiegen sind als die Sachausgaben (2,5 %). Basis der erfolgreichen Entwicklung ist der hohe Ertragsanteil aus der Auftragsforschung. Der leichte Rückgang im Industrieertrag (-1,4 %) gegenüber 2010 konnte durch eine Steigerung der eingeworbenen öffentlichen Mittel (+18,8 %) mehr als ausgeglichen werden.

Investitionen

Die kontinuierliche Investition in Infrastruktur ist notwendige Grundlage für die erfolgreiche Entwicklung innovativer Lösungen für unsere Auftraggeber. 2010 wurden insgesamt 2,8 Millionen Euro in die Erweiterung der technologischen Infrastruktur des Instituts investiert.

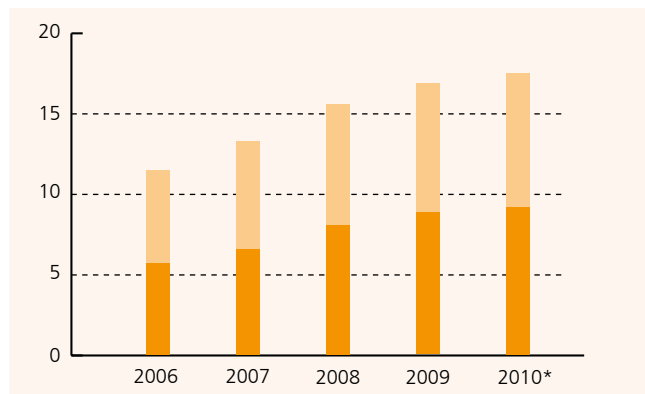
Operating budget

Compared with the previous year the operating budget increased in 2010 by 3 %, with expenditure for staff rising a little more (3.4 %) than material costs (2.5 %). The basis of this successful development is the high share of revenue from contract research. The slight dip in industry revenue (-1.4 %) was more than balanced out by the increase in public funding received (+18.8 %).

Investments

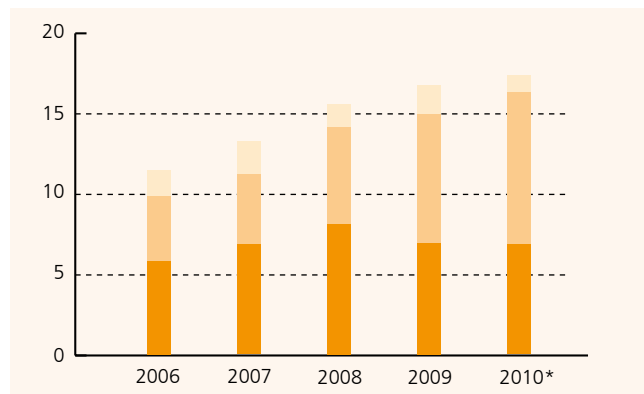
The continuous investment in infrastructure is the necessary basis for the successful development of innovative solutions for our customers. A total of 2.8 million euros was invested in expanding the technological infrastructure of the institute in 2010.

Betriebshaushalt | Budget (Mio. €)



■ Personalaufwand | Personnel expenditure
 ■ Sachaufwand | Material expenditure
 * vorläufig | preliminary

Ertrag | Revenue (Mio. €)



■ Industrie | Industry
 ■ öffentliche Aufträge | Contracts government
 ■ Grundfinanzierung | Federal funding
 * vorläufig | preliminary

DAS INSTITUT IN ZAHLEN THE INSTITUTE IN FIGURES

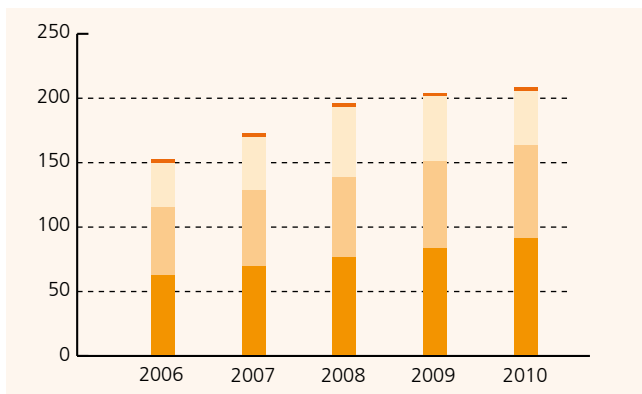
Personal

Mit dem Anwachsen des Betriebshaushaltes konnten auch 2010 neue Arbeitsplätze geschaffen werden. So wuchs die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter und Doktoranden gegenüber 2009 um 9,2 %, die Zahl der technischen Mitarbeiter wurde um 7,5 % erhöht.

Das IAP 2010 in Zahlen

Die Mitarbeiter des IAP konnten für 2010 Drittmittel in Höhe von 7,4 Millionen Euro einwerben (siehe Tabelle), das ist eine Steigerung gegenüber 2009 um 7,2 %. Auch am IAP gehört die kontinuierliche Investition in Infrastruktur zur Entwicklungsstrategie, 2010 wurden mehr als 4,5 Millionen Euro für Investitionen aufgewendet. 2010 gehörten zum IAP 5 Professoren, 19 wissenschaftliche und 15 technische Mitarbeiter sowie 71 Doktoranden und 54 Studenten und Schülerpraktikanten. Die abgeschlossenen Qualifizierungsarbeiten sind im Anhang aufgelistet.

Mitarbeiter (Vollzeitäquivalente) | Staff (full-time equivalent)



- Wissenschaftler | Scientists
- Techniker | Technicians
- Schüler und Studenten | Students
- Sonstige | Temporary contracts

Staff

The increase in operating budget enabled the creation of further new jobs in 2010. The number of research assistants and doctoral candidates has risen by 9.2 % compared to 2009, the number of technical assistants has grown by 7.5 %.

The IAP in figures 2010

Employees at IAP acquired external funds worth 7.4 million euros in 2010 (see table), representing an increase of 7.2 % compared with 2009. Continuous investment in infrastructure is also part of the development strategy at IAP, more than 4.5 million euros were spent on investments in 2010. A total staff of 5 professors, 19 research assistants, 15 technical assistants, 72 doctoral candidates and 54 students and student internships were working at IAP in 2010. The majority of completed theses are listed in the attachment.

Drittmiteleinahmen IAP 2010 | Contract research revenue IAP 2010

Fördergeber Contracts with	Zuwendung Funds (T€)
BMBF	5.209
DFG	782
EU	125
Thüringen Thuringia	627
Stiftungen	072
Industrie Industry	543

LÖSUNGEN MIT LICHT ...

**... MEISTERN HERAUSFORDERUNGEN
UND BIETEN CHANCEN.**

SOLUTIONS WITH LIGHT ...

**... OVERCOME CHALLENGES
AND OFFER OPPORTUNITIES.**

AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE 2010

SELECTED RESULTS 2010

Das Fraunhofer IOF entwickelt zur Bewältigung drängender Zukunftsfragen in den Bereichen Energie und Umwelt, Information und Sicherheit sowie Gesundheit und Medizin Lösungen mit Licht. Basis der Arbeit ist die kontinuierliche Entwicklung und Optimierung von Technologien mit dem Ziel der Kontrolle von Licht – von der Erzeugung, über den Transport und die Manipulation bis hin zur Anwendung.

In enger Verbindung mit dem Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena betreibt das IOF Grundlagenforschung und angewandte Forschung bis hin zur Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen im Auftrag der Kunden.

Auf den folgenden Seiten sind ausgewählte Forschungsergebnisse dargestellt, die im vergangenen Jahr in internen Projekten oder gemeinsam mit Partnern und Auftraggebern erzielt wurden. Die Beispiele zeigen Lösungen für die Zukunftsfelder

- Energie und Umwelt,
- Information und Sicherheit,
- Gesundheit und Medizintechnik

und aus den Bereichen

- Technologieentwicklung und
- Grundlagenforschung.

The Fraunhofer IOF is developing solutions with light in the fields of energy and environment, information and safety, and health and medicine to address pressing future challenges. The work is founded on the continuous development and optimization of technologies designed to control light – from its generation to transport and manipulation right through to its use.

In close association with the Institute of Applied Physics at the Friedrich Schiller University Jena, IOF addresses aspects of basic and applied research all the way to the development of products and services on behalf of its customers.

The following pages present selected results of research obtained in the past year on internal projects or together with partners and customers. The examples show solutions for the cutting-edge fields of

- energy and environment,
- information and safety,
- health and medical engineering

and in the areas of

- technological development and
- basic research.



ENERGIE UND UMWELT

LÖSUNGEN MIT LICHT ...
... SPAREN ENERGIE, SCHONEN RESSOURCEN,
SCHÜTZEN DIE UMWELT.

ENERGY AND ENVIRONMENT

SOLUTIONS WITH LIGHT ...
... SAVE ENERGY, CONSERVE RESOURCES,
PROTECT THE ENVIRONMENT.



Natürliche Ressourcen – Energieträger, Mineralien, Metalle – sind wesentliche Produktionsfaktoren und sie sind endlich. Daher zählt der verantwortungsvolle Umgang mit Energie und Rohstoffen zu den zentralen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen. Weltweit werden jedes Jahr mehr als 60 Mrd. Tonnen Rohstoffe verbraucht, das sind 50 % mehr als noch vor 30 Jahren. Setzt sich dieser Trend fort, wird der Ressourcenverzehr ein Ausmaß annehmen, das über die Regenerationsfähigkeit der Natur hinausgeht.

Aus ökologischer und ökonomischer Sicht ist es dringend notwendig, den Ressourcenverbrauch zu senken, die Energieeffizienz zu steigern und Produktionsprozesse möglichst umweltverträglich zu gestalten. Licht als Werkzeug fällt hierbei eine Schlüsselrolle zu. Es arbeitet flexibel und verschleißfrei und verfügt aufgrund seines großen Wellenlängenbereichs über vielfältige physikalische und chemische Wirkungen.

Die Entwicklung innovativer Festkörperlaser mit hoher Leistung und hoher Strahlqualität sowie leistungsfähiger optischer Messsysteme und deren Integration in modernste, hocheffektive Maschinensysteme ermöglichen energieeffiziente und materialsparende Fertigungsprozesse, höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten sowie werkstoffangepasste Verfahren.

Im Bereich Umweltmonitoring ermöglichen Präzisionsoptiken in Satellitensystemen eine hochgenaue Erdbeobachtung zur Früherkennung von Naturereignissen und zur langfristigen Kontrolle der Umweltverträglichkeit von Produktion und Landwirtschaft.

Lösungen mit Licht stehen für eine effiziente Produktion, einen sparsamen Umgang mit Ressourcen sowie für Umwelt- und Klimaschutz und eröffnen so wirtschaftliche Chancen für Unternehmen.

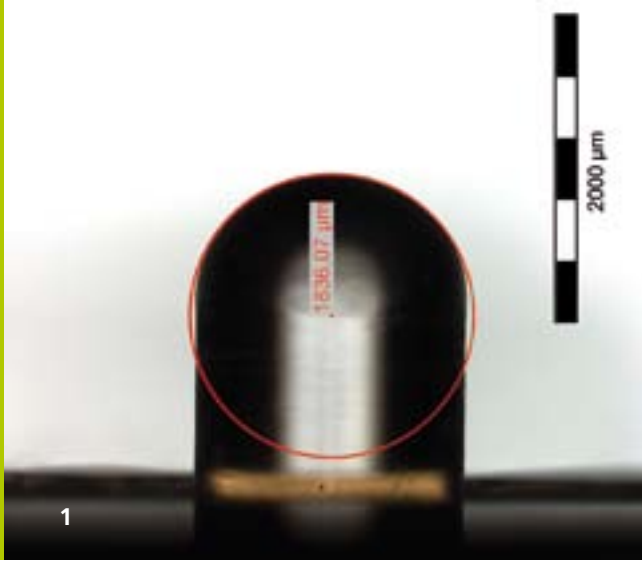
Natural resources – energy sources, minerals, metals – are essential factors of production and finite in nature. Handling energy and raw materials with responsibility is therefore a key societal and economic challenge. Every year, over 60 billion tons of raw materials are used worldwide, a figure 50 % higher than 30 years ago. If this trend continues, global consumption of resources will multiply in the next 20 years and have an impact which goes beyond the regenerative ability of nature.

From an ecological and economic point of view, reducing the use of resources, increasing energy efficiency and making production processes as environmentally sustainable as possible is urgently necessary. In this connection, light as a tool assumes a key role. It functions flexibly and without wear and, by dint of its large wavelength range, has a wide range of physical and chemical effects.

The development of innovative high power solid state lasers of high beam quality as well as powerful optical measuring systems, and their integration in the latest, highly efficient machine systems enable energy-efficient and material-saving manufacturing processes, higher machining speeds and methods adapted to specific materials.

In the field of environmental monitoring, precision optics in satellite systems enable ultra-precise earth observation for early detection of natural events and long-term tracking of the environmental sustainability of production and agriculture.

Solutions with light represent efficient production, an economical approach to resources and environmental and climatic protection, thus opening up business opportunities for companies.



DESIGN VON KOMPONENTEN FÜR HOCHLEISTUNGSLASER HOHER STRAHLQUALITÄT

DESIGN OF OPTICAL COMPONENTS FOR SINGLE-MODE HIGH-POWER LASERS

Hochleistungsfaserlaser hoher Strahlqualität haben das Potenzial, ressourcenschonende Fertigungstechnologien zu etablieren. Moderne Faserlaser [1–3] erzeugen beugungsbegrenzte Strahlung mit Ausgangsleistungen im Kilowattbereich. Bei typischen Durchmessern der Faserkerne von 20–30 μm erreicht die Flussdichte an der Faserendfläche einige 10 MW/mm^2 [2]. Ausgehend von Defekten kann diese Leistung zur Zerstörung der Endfläche führen. Durch das Anspießen von Endkappen (Abb. 1) [3] wird die Leistungsdichte an der Glas-Luft-Grenzfläche und damit die Gefahr der Zerstörung reduziert. Gleichzeitig können die Endkappen zusätzliche Aufgaben übernehmen: Aufgebrachte Anti-Reflexschichten reduzieren die Fresnel-Verluste. Durch die Formgebung der Endkappe können optische Funktionen integriert werden.

Im Falle sehr hoher mittlerer Ausgangsleistungen stellt die durch den temperaturabhängigen Brechungsindex und thermisch induzierte Deformation verursachte thermische Linse eine Begrenzung der erreichbaren Brillanz dar. Deren Stärke wird durch die Restabsorption im Grundmaterial der optischen Komponenten und in den Beschichtungen bestimmt. Die typische Absorption von 50 ppm in AR-Schichten ist vergleichbar mit der in Kieselglas bei Dicken im Zentimeterbereich.

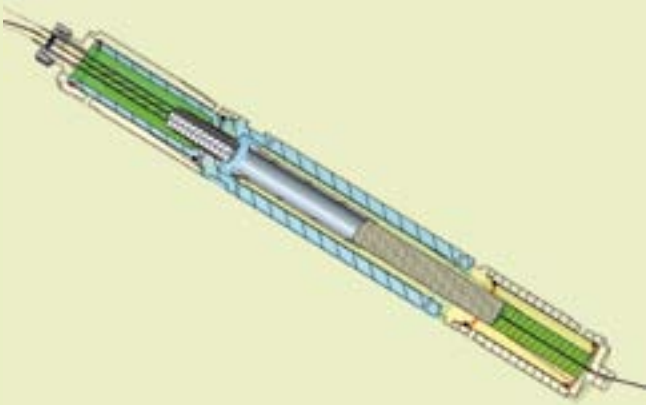
High power fiber laser offer the potential for the development of resource-efficient manufacturing technologies. Current fiber lasers [1–3] generate diffraction-limited beams in the kilowatt range. With a typical fiber core diameter of 20–30 μm , the fluence rate at the fiber end face can easily reach several 10 MW/mm^2 [2]. Due to defects, this power density may be sufficient to destroy the fiber end face.

By splicing end caps to the fiber (Fig. 1) [3], the power density at the glass-air interface and, hence, the risk of fiber damage is reduced. Additionally, the end caps may have further functionalities: anti-reflex coatings may be applied here to reduce Fresnel losses. The form of the end face may be used for beam shaping or similar optical functionality.

For high-power lasers, the achievable brightness is also limited by the so-called "thermal lens", due to temperature-dependent change of the refractive index as well as thermally induced strain. The magnitude of the thermal lens is determined primarily by the remaining absorption of the component's base material and the coating. Typical absorption of an AR coating in the range of 50 ppm compares to a thickness of several centimeters of fused silica.

1 Mit CO_2 -Laser geformte kollimierende Endkappe.

1 Collimating fibre end-cap formed by a CO_2 -laser.



2

Die Ausbildung thermischer Linsen in Komponenten für Hochleistungslaser kann durch das Befolgen einiger Designregeln verringert werden:

- Materialien mit geringer Restabsorption, hoher Wärmeleitfähigkeit und niedriger thermischer Ausdehnung wählen,
- einen monolithischen Aufbau mit minimaler Anzahl freier Flächen anstreben,
- viele Funktionen in ein Bauelement integrieren.

Im Folgenden soll das Design optischer Komponenten für Hochleistungslaser an zwei Beispielen dargestellt werden.

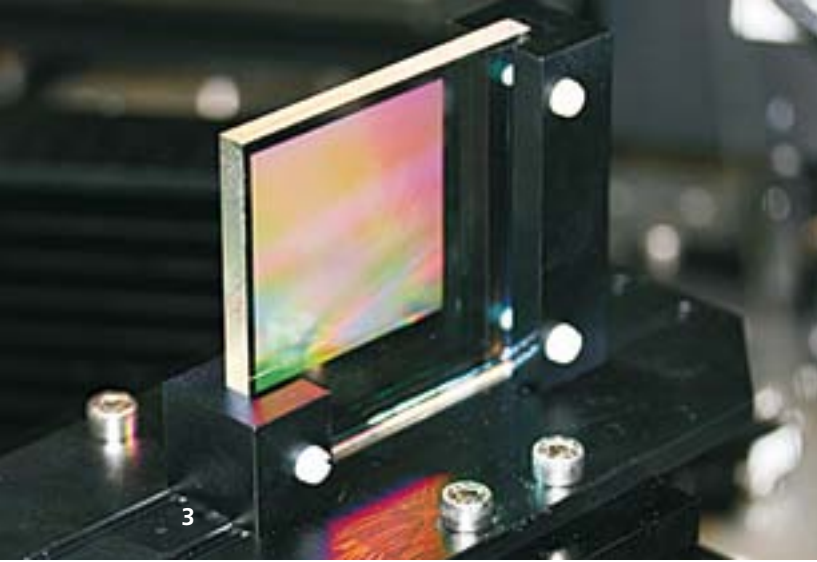
Inkohärente Koppler dienen zur Vereinigung von Laserstrahlung aus mehreren Quellen. Mit zunehmender Quellenzahl steigt die Gesamtleistung. Allerdings wird diese Steigerung auf Kosten der Brillanz erzielt, die aber für die Materialbearbeitung in vielen Fällen ausreicht. Der Aufbau eines solchen Kopplers ist in Abb. 2 dargestellt. Die optischen Elemente bestehen aus Kieselglas mit geringer Absorption bei Wellenlängen um $1\ \mu\text{m}$. Die beugungsbegrenzte Strahlung der einzelnen Quellen wird jeweils über eine Faser zugeführt. Durch eine mit der Faser verspleißte Endkappe wird der Strahl kollimiert. Die Endkappen liegen möglichst dicht nebeneinander, da die erreichbare Brillanz vor allem durch den Füllfaktor der kollimierten Bündel in der Aperturebene bestimmt wird. Die Einkopplung aller Bündel in eine Multimode-Transportfaser erfolgt über eine ebenfalls verspleißte Fokussierlinse.

The formation of thermal lenses in optical components for high-power lasers can be reduced by taking into account the following design rules:

- Choose materials with a low residual absorption, a high thermal conductivity and a low thermal expansion.
- Use a monolithic setup with a minimum of free optical surfaces.
- Integrate several functions in one component.

Two examples may be used to illustrate the design of optical components for high-power lasers:

Laser radiation from different sources may be combined by incoherent couplers. The total power rises with the number of sources but brightness is sacrificed. However, the brightness is sufficient for many applications, in particular in material processing. The design of such a combiner is shown in Fig. 2. The optical elements are made of fused silica with a low absorption at a wavelength of $1\ \mu\text{m}$. A diffraction-limited beam from each source is fed into the device via a fiber. To collimate the beam, an end cap with a spherical front surface is spliced to each fiber. A dense package of the collimators is necessary, since the fill factor of the collimated beams in the aperture plane is crucial for the achievable brightness. The array of beams is then coupled into a multimode output fiber by means of a spliced focussing lens.



Die spektrale Kombination verschiedener Quellen kann eingesetzt werden, wenn eine hohe Brillanz der Strahlung, aber nur geringe spektrale Reinheit benötigt wird. Die Strahlung mehrerer Quellen mit verschiedenen Wellenlängen wird mittels eines Beugungsgitters zu einem gemeinsamen Ausgangsstrahl zusammengeführt [4, 5].

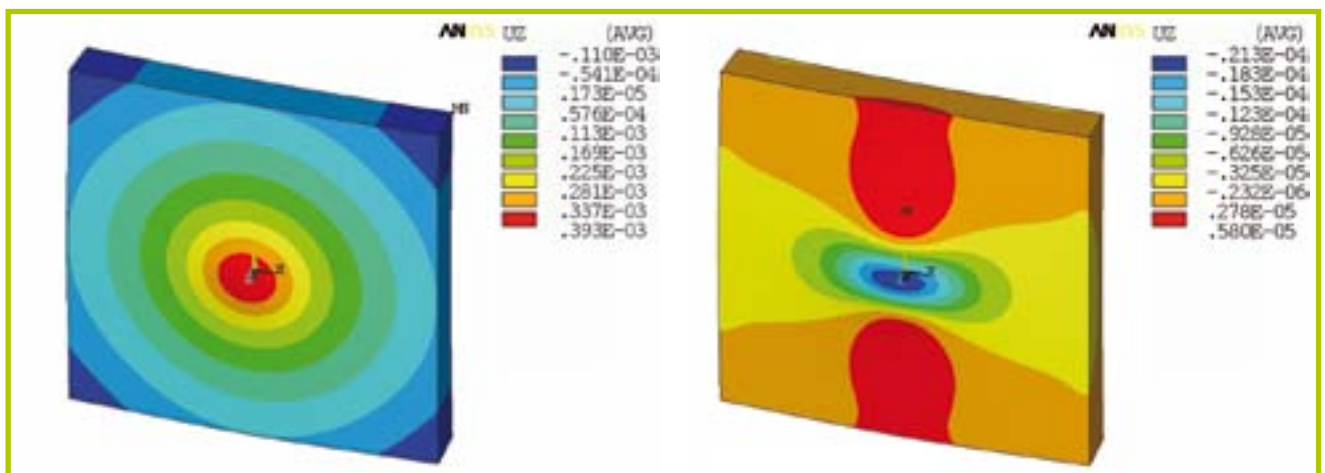
Spectral combination of different sources may be another option if a high brightness of the combined radiation is needed, but spectral purity is of minor importance. Laser beams from multiple sources with different wavelengths are combined into a single output beam by a diffraction grating [4, 5].

Die erreichbare Brillanz ist in erster Linie durch die thermische Linse aufgrund der Restabsorption am Gitter limitiert. Bei einem Reflexionsgitter (Abb. 3) lassen sich die Verluste auf die einer einzelnen HR-Beschichtung reduzieren. Im Unterschied zu Transmissionsgittern spielt die Temperatur im Inneren keine Rolle.

The achievable brightness of the output beam is limited primarily by the thermal lens, due to residual absorption of the grating. If a reflective grating (Fig. 3) is used, the relevant losses will be those of a single high-reflection coating. In contrast to a transmission grating, the temperature distribution inside the optical element is not relevant.

Limitierende thermo-optische Effekte sind die Aufwölbung der Gitteroberfläche und die Ausdehnung in Richtung des Gittervektors (Abb. 4), die zu einer Änderung der Gitterperiode und damit zu einer Strahlablenkung führen.

The limiting thermo-optical effects are the bowing of the grating surface as well as a straining in direction of the grating (Fig. 4) vector which results in a change of the grating period and, hence, a tilt of the output beam.



4 Thermische Linse am Gitter bei 2,5 W absorbiert Leistung und 10 mm Strahldurchmesser. Links: Oberflächendeformation in mm, rechts: Dehnung in Richtung des Gittervektors. | Thermal lens of a reflecting grating at an absorbed power of 2.5 W and a beam diameter of 10 mm. Left: out-of plane distortion of the surface [mm], right: strain in direction of the grating vector.

Die vorgestellten Arbeiten werden vom BMBF im Rahmen des Projekts »Faserlaser höchster Brillanz« (FKZ 13N9099) und durch die Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen der MAVO »Highoptics« gefördert.

The work presented here is supported by the German federal ministry of education and research (BMBF) "Fibre lasers with high brightness" (FKZ 13N9099) and by the Fraunhofer-Gesellschaft in the framework of the project "Highoptics".

Literatur/References

- |1| Schreiber, T.; et al.: Hochleistungskomponenten für Faserlaser, Fraunhofer IOF Jahresbericht 2009.
- |2| Gapontsev, D.: 6 kW CW Single Mode Ytterbium Fiber Laser in All-Fiber Format, Solid State and Diode Laser Technology Review (2008).
- |3| Boehme, S.; et al.: Laser splicing of end caps: process requirements in high power laser applications, Proc. SPIE 7202, 720205 (2009).
- |4| Schmidt, O.; et al.: 1.1 kW nanosecond fiber amplifier based on spectral beam combination, CLEO/Europe and EQEC (2009).
- |5| Wirth, C.; et al.: 2 kW incoherent beam combining of four narrow-linewidth photonic crystal fiber amplifiers, Opt. Express 17, 1178–1183 (2009).

- 3 *Dielektrisch beschichtetes Reflexionsgitter auf Kieselglas.*
- 3 *Dielectric reflection grating on a fused-silica substrate.*

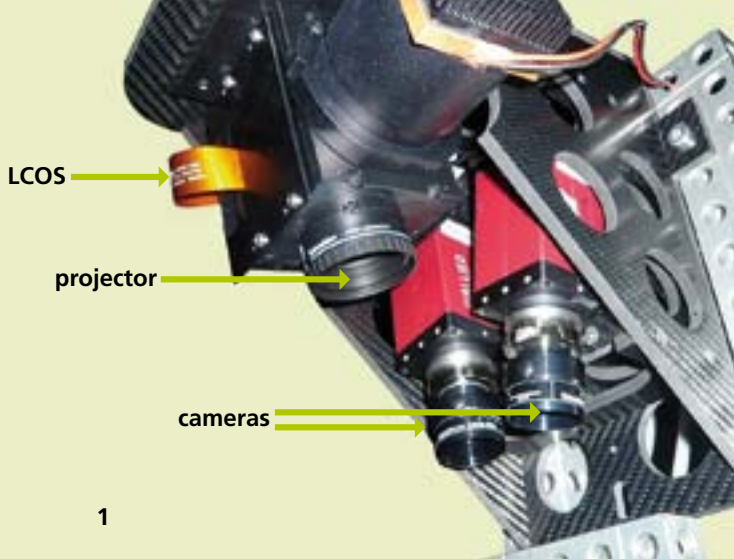
AUTHORS

*Thomas Peschel
Christian Wirth
Miroslaw Rekas
Steffen Böhme
Thomas Schreiber
Ernst-Bernhard Kley¹
Ramona Eberhardt*

*¹ Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena;
Fraunhofer IOF*

CONTACT

*Dr. Thomas Peschel
Phone +49 3641 807-335
thomas.peschel@iof.fraunhofer.de*



HIGH SPEED-HIGH RESOLUTION-SENSOR FÜR DIE LEITERPLATTENINSPEKTION

HIGH SPEED-HIGH RESOLUTION SENSOR FOR CONDUCTOR BOARD INSPECTION

Bei der Leiterplattenherstellung kann die Bestimmung von Höhe und Volumen der aufgetragenen Lotpaste zur Qualitätskontrolle verwendet werden. Zusammen mit einem mittelständischen Unternehmen für Prüftechnik in der Elektronikindustrie wurde ein streifenprojektionsbasierter Sensor entwickelt, mit dem Leiterplatten innerhalb des Fließbandprozesses vermessen werden können. Durch den Sensor wird die Bestimmung der Höhe des Lotpastenauftrags bzgl. des Leiterplattensubstrats und seines Volumens realisiert.

Der Sensor besteht aus einem Streifenprojektor und zwei hochauflösenden Kameras (Abb. 1) und wurde in das Inspektionssystem für die Leiterplatten integriert. Er befindet sich annähernd senkrecht über der waagrecht liegenden Leiterplatte und wird für die Realisierung unterschiedlicher Messpositionen durch ein mechanisches Führungssystem auf zwei waagerechten Achsen bewegt. In einer Messposition wird jeweils ein 50 mm × 40 mm großer Ausschnitt einer Leiterplatte vermessen. Dann wird der Sensor durch das Führungssystem in ca. 140 ms weiterbewegt, und ein neuer Leiterplattenausschnitt wird analysiert. Je nach Größe der Leiterplatte werden so ca. 8 bis 20 Messpositionen realisiert.

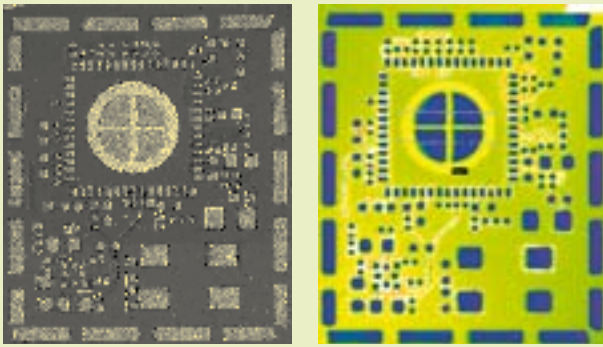
The measurement of wet soldering paste is used in the quality control of the production of conductor boards. Together with a medium-sized business for test engineering in the electronics industry, a sensor based on fringe projection technique was developed at the Fraunhofer Institute of Applied Optics and Precision Engineering. It allows the measurement of conductor boards within the production line process. The measurement of the height and volume of the soldering paste according to the substrate is realized by the sensor.

The sensor consists of a fringe projector and two high resolution cameras (Fig. 1) and was integrated into the inspection system for the conductor board. It is arranged approximately perpendicular over the horizontally aligned conductor boards. For realization of different measuring positions, it is moved by a mechanical moving system on two horizontal axes.

One measuring position covers a 50 mm × 40 mm area of the conductor board by projection and observation. The sensor is moved by the guide system in approximately 140 ms to the next position, where a new section of the conductor board can be analyzed.

1 Sensor (Laboraufbau).

1 Prototype of the sensor.



2

Bei der Verfahrensbewegung ist der Sensor sehr hohen Beschleunigungen ausgesetzt, was an die mechanische Belastbarkeit besondere Anforderungen stellt. Diese mechanische Stabilität des Sensors wird durch die Verwendung eines Gestells aus Karbon, an das die Sensorkomponenten verschraubt und verklebt wurden, erreicht.

Die Oberfläche einer zu inspizierenden Leiterplatte ist sehr inhomogen. Die nur auf den metallischen Flächen aufgebrachte Lotpaste reflektiert das projizierte Licht zum größten Teil diffus, was Voraussetzung für eine bestimmte Messgenauigkeit des Streifenlichtsensors ist. Im Gegensatz dazu besitzt das Leiterplattensubstrat meistens eine sowohl reflektierende als auch transluzente Oberfläche, was zu systematischen und zufälligen Messfehlern führt. Diese werden eliminiert, indem der Einfallswinkel des projizierten Lichts so groß gewählt wird, dass die auftretenden Reflexionen nicht mehr in den Kamerabildern abgebildet werden. Der systematische Fehler durch das Eindringen des Projektionslichts in die Leiterplattenoberfläche wird durch experimentell bestimmte Korrekturwerte beseitigt. Abbildung 2 zeigt eine Leiterplatte und das Messergebnis.

Um die geforderte Prüfgeschwindigkeit zu erzielen, mussten gegenüber den bisher entwickelten Systemen deutliche Verkürzungen der Bildaufnahmezeit und eine Beschleunigung der Berechnungen erreicht werden. Dies wurde durch eine Reihe neuer Algorithmen realisiert. So wurde der Algorithmus zur Phasenberechnung für beliebige Phasenschritte erweitert. Praktische Anwendung finden im System der 8- und der 6-Phasen-Algorithmus [1].

Depending on the size of the conductor board, between eight and 20 measuring positions can be realized. During movement, the sensor is exposed to very high accelerations, which places special demands on the mechanical resistance. The mechanical solidity of the sensor is attained by using a construction consisting of carbon, on which the sensor components were bolt and glued.

The surface of a conductor board to be analysed is very inhomogeneous. The soldering paste, which is only applied to metallic surfaces, reflects the projecting light mostly diffusely, which is pre-condition for a specific sensor measurement accuracy. By contrast, the conductor board substrate has mostly both reflecting and translucent surfaces. This leads to systematic and random measurement errors. These errors are eliminated by choosing an angle of incidence of the projecting light such that the occurring reflection will no longer be projected on the camera images. The systematic error, which appears because of the penetration of the projecting light into the conductor board surface, is compensated by correction values which are determined experimentally. Figure 2 shows a conductor board and the measurement result.

In contrast to previously developed systems, strict reduction of the picture recording time and accelerated computing had to be reached in order to achieve the requested testing velocity. This was realized by implementation of a series of new algorithms. The phase determination algorithm was expanded for any phase steps. The eight- and the six-phase algorithm, respectively, are used in the system [1].

2 Foto Leiterplatte (links), Messergebnis, Höhenwerte farbcodiert (rechts).

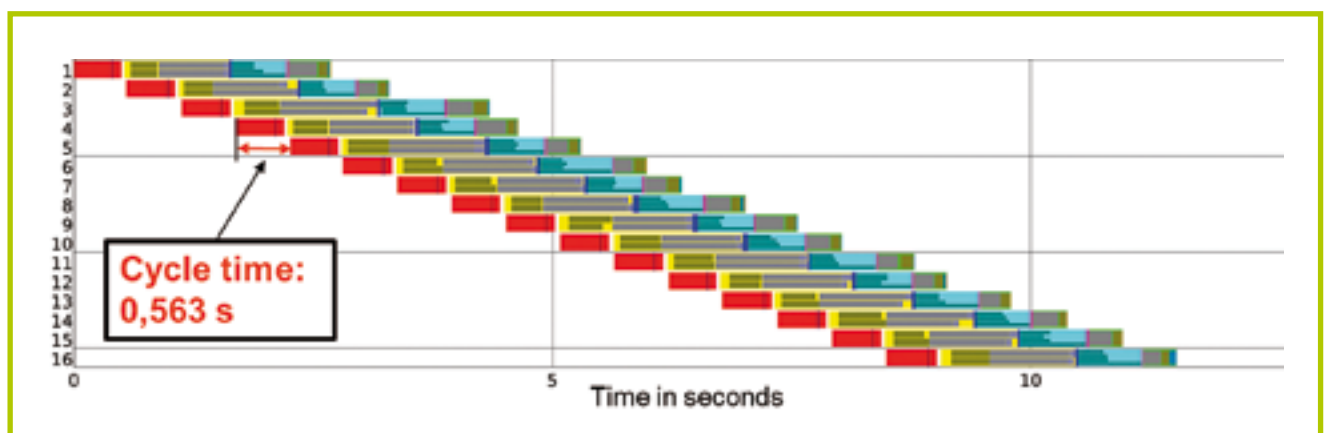
2 Conductor board (left), measurement result, values of height: color-coded (right).

Durch die Verwendung der Epipolargeometrie wurde die Anzahl der Bilder pro Sequenz halbiert. Die bisher durch den Gray-Code realisierte Verstetigung der Rohphasenwerte erfolgt nun durch die Anwendung eines neu entwickelten Algorithmus unter Ausnutzung der geometrischen Eigenschaften der Messobjekte (geringe Höhenausdehnung des Messvolumens). Dadurch wird eine weitere Verkürzung der Bildsequenzen realisiert [2].

Projektion und Bildaufnahme durch die verwendeten High-resolution-Kameras mit 5 Megapixel erfolgen mit 15 Hz Bildwiederholfrequenz. Die örtliche Messauflösung beträgt 20 µm (mittlerer Pixelabstand im Objektraum). Die Auswertung der extrem großen Datenmengen bis zum Erhalt eines niveauekorrigierten Höhenmappings des Lotpastenauftrags in der geforderten Geschwindigkeit wird durch eine Parallelisierung von 16 Berechnungs- und Auswertebläufen erreicht (Abb. 3).

By using epipolar geometry, the number of images per sequence was set to the half. The unwrapping of the phase values, which was previously realized by the Gray code, is now carried out by a special new algorithm with utilization of the geometrical features of the measuring objects (low height expansion of the measurement volume), thereby attaining a further reduction of the image sequence length [2].

Projection and image recording by the high resolution cameras with 5 megapixels are done at a 15 Hz image frame rate. The local measurement resolution is 20 µm (average pixel distance in object space). The analysis of the extreme amounts of data required before the level-corrected height mapping of the soldering paste in the requested velocity is achieved, is effected by parallelization of 16 computing and analysis processes (Fig. 3).



3 Parallele Datenverarbeitung bei 16 Messungen in 12 s Gesamtzeit: Ein Balken entspricht einer vollständigen Messung inkl. Bildaufnahme, Speicherung, Operatorkette, 3D-Punktberechnung und Ergebnisspeicherung, rot = Bildaufnahme, gelb = Phasenberechnung, grau = Koordinatenberechnung, türkis = Ergebnistransformation, grau = Speicherung. | Parallel data processing with 16 measurements in 12 s total time: One bar equals a complete measurement, including image recording = red, phase computing = yellow, coordinate computing = grey, result transformation = turquoise, storage = grey.

Mit dem entwickelten Sensor wird die Vermessung des Lotpastenauftrags mit einer Prüfgeschwindigkeit von bis zu 35 cm²/s realisiert. Dies entspricht einer Messgeschwindigkeit von 8,9 Mio. Pixel/s. Die Zykluszeit für eine Messposition beträgt somit 0,563 s (Abb.3). Die Messunsicherheit des Systems ist < 8 µm.

Using the developed sensor, the measurement of the soldering paste with an inspection velocity up to 35 cm²/s was realized. This equals a measurement velocity of 8.9 megapixels/s. The cycle time for one measuring position is 0.563 s (Fig. 3). The measuring uncertainty of the system is < 8 µm.

Literatur/Referenzen

- |1| Creath, K: Comparison of phase-measurement algorithms. Surface characterization and testing. Proc. SPIE 680, pp. 19–28, 1986.
- |2| Bräuer-Burchardt, C.; Munkelt, C.; Heinze, M.; Kühmstedt, P.; Notni, G.: Fringe code reduction for 3D measurement systems using epipolar geometry. Proc. PCVIA, ISPRS, Vol. XXXVIII, Part 3A, 192–197, 2010.

AUTHORS

Christian Bräuer-Burchardt

Ingo Schmidt

Matthias Heinze

Peter Kühmstedt

Gunther Notni

CONTACT

Dr. Christian Bräuer-Burchardt

Phone +49 3641 807-235

christian.braeuer-burchardt@

iof.fraunhofer.de

Dr. Peter Kühmstedt

Phone +49 3641 807-230

peter.kuehmstedt@iof.fraunhofer.de



ORGANISCHE UV-SCHUTZSCHICHTEN FÜR DIE POLYCARBONATVERGLASUNG

ORGANIC UV-PROTECTION COATINGS FOR POLYCARBONATE GLAZING

In der Automobilbranche besteht ein großes Interesse, Teile der Außenverglasung durch Polycarbonatscheiben zu ersetzen. Von Vorteil sind dabei die Gewichtsersparnis sowie die hohe Bruchfestigkeit von Polycarbonat. Außerdem ermöglicht die Verwendung von Polycarbonatscheiben komplexere 3D-Geometrien und damit eine neue Designfreiheit, die mit Glas nicht realisierbar ist (Abb. 1). Polycarbonat ist allerdings ohne eine Beschichtung der Oberfläche nicht verschleißbeständig und unterliegt im Sonnenlicht einer photochemischen Degradation. Diese kann zu einer Verfärbung des Polymersubstrats und zum Verlust der Haftung zwischen Schicht und Kunststoff führen. Die bisher verwendeten Schutzschichten basieren auf nass-chemisch aufgetragenen Lacksystemen, deren Härte und UV-Schutzwirkung jedoch nicht optimal ist.

Im BMBF-Verbundprojekt »Minerva« [1] wird ein Vakuumbeschichtungsprozess zur Abscheidung einer kombinierten UV- und Verschleißschutzschicht auf Polycarbonat entwickelt. Die Herausforderung besteht darin, in einem Vakuumschritt homogene mehrere Mikrometer dicke Schichten auf großflächigen, gekrümmten Bauteilen abzuscheiden. Ein Modellschichtsystem ist in Abb. 2 zu sehen.

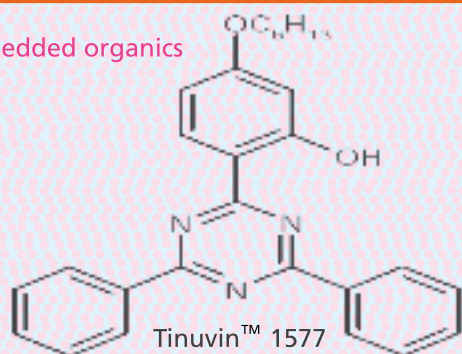
There is considerable momentum in the automotive industry to replace glazing parts with polycarbonate (PC). The advantages of PC include its light weight and high fracture strength. Additionally, complex 3D geometries and a new design freedom are achievable with the application of polycarbonate glazing parts instead of glass (Fig. 1) However, PC is not wear-resistant and undergoes solar photochemical degradation without an additional protection layer. The sunlight can initialize a yellowing of the polymer substrate and an adhesion loss between layer and polymer. To date, wet-chemically based lacquers have been used as protection coatings, but their hardness and UV protection is not sufficient.

The aim of the joint research project "Minerva" [1] is to develop a combined UV protective and scratch resistant PC coating deposited in a vacuum deposition process. The challenge is to deposit a several micrometer-thick homogenous layer on curved large-area substrates. A model layer stack is shown in Fig. 2.

1 Designstudie. © Volkswagen AG.

1 Design study. © Volkswagen AG.

embedded organics



PC-substrate

2

Die Basis bildet eine Gradientenschicht, die den Übergang vom weichen Polymersubstrat zur harten Kratzschuttschicht gewährleistet. In diese Schicht sollen organische UV-absorbierende Verbindungen integriert werden, die den UV-Schutz der Grenzfläche Schicht/Substrat übernehmen. Die oberste Schicht bildet eine harte kratzresistente Oxidschicht, die mit weiteren Zusatzfunktionen wie Heizbarkeit, Antenne oder easy-to-clean ausgestattet werden kann. Im Rahmen des Projekts konnten die Einzelkomponenten eines solchen Systems bereits hergestellt werden. Für einen industrietauglichen Prozess müssen alle Einzelprozesse in einer Anlage zusammengefasst werden. Hohe Abscheideraten und Substratgrößen bis hin zu Polycarbonatdachfenstern sind dabei zu realisieren.

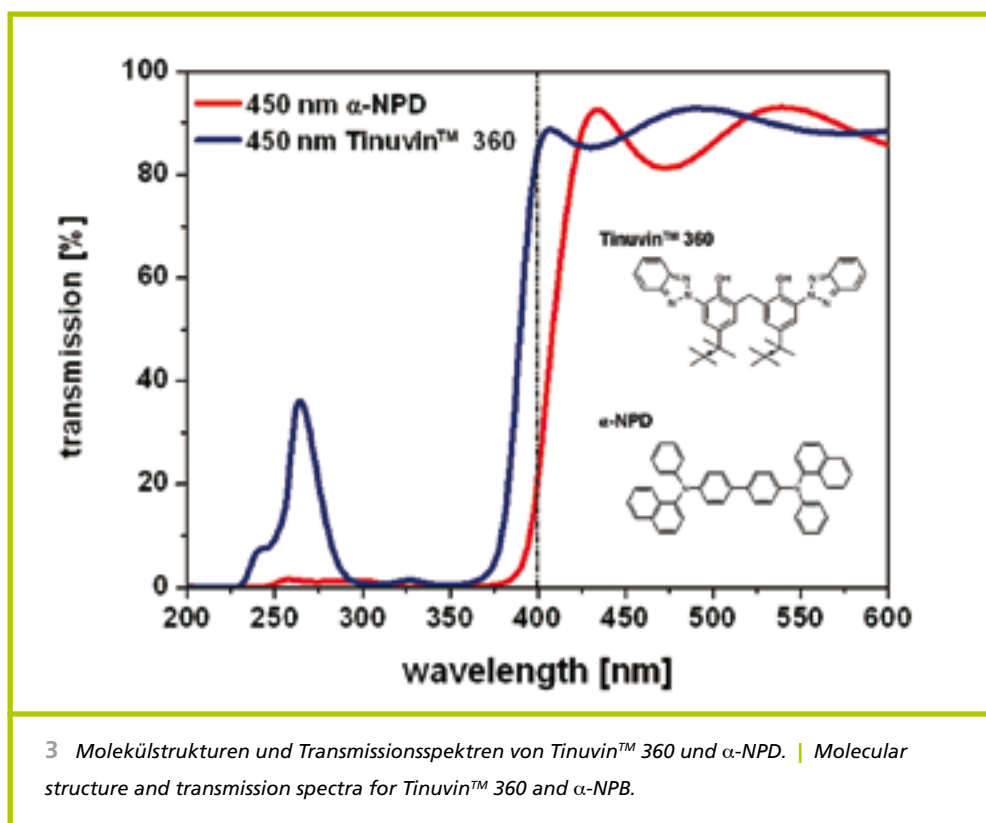
Das Fraunhofer IOF erforscht und entwickelt im Projekt insbesondere die auf organischen UV-Absorbieren basierenden UV-Schutzschichten. Zum Schutz der Polycarbonatoberfläche werden Verbindungen benötigt, die im Wellenlängenbereich von 290–400 nm die schädliche UV-Strahlung möglichst vollständig absorbieren. Besonders der Wellenlängenbereich nahe 400 nm ist schwierig zu blocken. Hier ist eine möglichst steile Absorptionskante gefordert, um einen ausreichenden UV-Schutz bis 400 nm zu gewähren, ohne einen Farbeindruck im sichtbaren Spektralbereich zu erzeugen. Geeignete Absorptionseigenschaften zeigen die Verbindungen Tinuvin™ 360, Tinuvin™ 1577 [2] oder das aus der OLED-Branche bekannte α -NPD [3]. Diese Verbindungen können in einem Vakuumprozess thermisch verdampft werden. Dabei bilden Tinuvin™ 360 und α -NPD transparente Einzelschichten mit geeigneten Absorptionskanten. (Abb. 3)

The base layer is a gradient layer which acts as transition zone between the soft polymer substrate and the hard scratch resistant layer. Organic UV-absorbing compounds have to be integrated in this layer to realize the UV protection of the layer/substrate interface. The top layer is realized by a hard oxide layer with optionally additional functional layers for heating, antenna or easy-to-clean. The single components of such a layer stack were realized in the context of the project. However, all the single processes have to be combined in one coating chamber for a process appropriate to industry.

In particular, the Fraunhofer IOF explores and develops the UV protection coating based on organic UV absorbing compounds. Therefore, organic compounds are needed which completely absorb the damaging UV radiation in the wavelength region of 290–400 nm. The wavelength region near 400 nm is especially hard to block. A steep absorption edge is required to obtain sufficient UV protection to 400 nm without any color impression in the visual spectral range. Suitable absorption behaviors are exhibited by the compounds Tinuvin™ 360, Tinuvin™ 1577 [2] or α -NPB, known from the OLED industry [3]. These materials can be thermally evaporated in a vacuum process. Tinuvin™ 360 and α -NPB are thereby deposited as a transparent single layer with an adequate absorption edge (Fig. 3).

In einem Schichtsystem müssen die organischen UV-Absorber in eine oxidische Matrix eingebettet werden. Durch eine Co-Verdampfung von SiO₂ und den organischen UV-Absorbern können solche Mischschichten hergestellt werden. Geeignet ist hier der Absorber Tinuvin™ 1577, der keine geeigneten Einzelschichten bildet, aber transparente Mischschichten. Damit eine solche Schicht im Automobilbau Anwendung findet, werden anspruchsvolle Umwelttests mit wechselnden Klimabedingungen bezüglich Temperatur und Feuchte, aber auch mit simulierter Globalstrahlung oder abrasiven Medien durchgeführt.

The organic UV absorbers have to be embedded in an oxide matrix for application in a layer stack. Such mixed coatings can be realized with a co-evaporation of silica and the organic UV absorbers. Tinuvin™ 1577 does not work as a transparent single layer, but is suitable for transparent mixed layers. Challenging environmental tests with changing climate conditions considering temperature and humidity, as well as simulated global radiation and abrasive media are carried out before such a coating is used on automotive glazing parts.



Die Schichten müssen dabei ihre optischen und mechanischen Eigenschaften über Tausende Stunden beibehalten und die Schichthaftung muss gewährleistet bleiben.

Erste Langzeituntersuchungen von SiO₂-Tinuvin™ 1577-Mischschichten auf Polycarbonat zeigten Haftungsbeständigkeit bis 1800 h UV-Bestrahlung, wo hingegen eine reine SiO₂-Schicht auf Polycarbonat bereits nach 50 h delaminiert. Im letzten Projektabschnitt bis Ende 2011 muss das komplexe Schichtsystem seine Anwendungstauglichkeit bezüglich der Automobilstandards beweisen.

Diese Arbeit wurde vom BMBF im Rahmen des Projekts »Minerva« (Multifunktionale intelligente Verscheibung für Automobil und Verkehr) unter FKZ 03 X 3028 E gefördert.

The layers have to retain their optical and mechanical properties as well as the layer adhesion for thousands of hours of testing time.

First long-term experiments using SiO₂-Tinuvin™ 1577-mixed-layers on polycarbonate show layer adhesion to 1800 h of UV radiation instead of 50 h for single SiO₂ layers. By the end of the project in 2011, the complex layer stacks will have to show their ability to fulfill automotive standards.

This work is funded by the BMBF in the context of the project "Minerva" (Multifunktionale intelligente Verscheibung für Automobil und Verkehr) under the code FKZ 03 X 3028 E.

Literatur/References

- [1] Verbundprojekt »Minerva« im Programm »Werkstoffinnovation für Industrie und Gesellschaft – (WING)« des BMBF, Thema »Funktionsintegrierter Leichtbau«, FKZ 03 X 3028 E.
Partner: Audi AG, Volkswagen AG, Applied Materials GmbH & Co. KG, plastic-design GmbH, Fraunhofer IST, Fraunhofer IOF.
- [2] Tinuvin™ 360 (2,2'-methylenebis(6-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenol) und Tinuvin™ 1577 (2-(4,6-Diphenyl-1,3,5-triazin-2-yl)-5-hexyloxy-phenol), BASF.
- [3] α-NPD (N,N'-Di(naphth-1-yl)-N,N'-diphenyl-benzidin), Sensient Imaging Technologies GmbH.

AUTHORS

Christiane Präfke

Ulrike Schulz

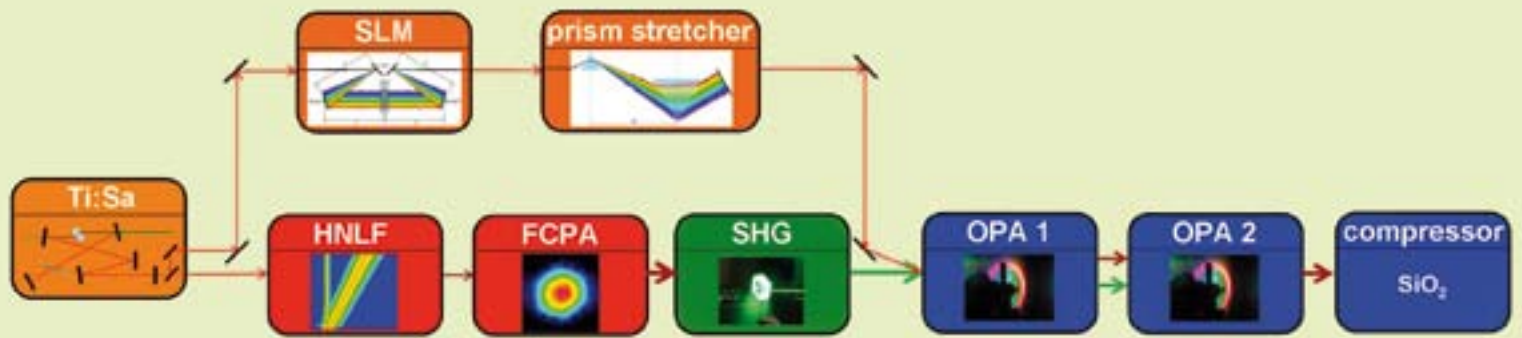
Norbert Kaiser

CONTACT

Christiane Präfke

Phone +49 3641 807-277

christiane.praefke@iof.fraunhofer.de



1

HOCHREPETIERENDE FEW-CYCLE-PULS-ERZEUGUNG FÜR HOCHINTENSITÄTSPHYSIK

HIGH REPETITION RATE FEW-CYCLE PULSE GENERATION FOR HIGH-FIELD PHYSICS

Hochintensive Laserpulse ultrakurzer Pulsdauer eröffnen die Möglichkeit der Erzeugung kohärenter kurzwelliger Strahlung im extremen Ultraviolettbereich. Aufgrund der besonderen Eigenschaften hat diese Strahlung das Potenzial zeitaufgelöste, 3-dimensionale Vorgänge in kleinsten Strukturen, z. B. Zellen, aufzulösen [1]. Diese Strahlquellen, die typischerweise auf einem Labortisch Platz finden, stellen damit für gewisse Anwendungen eine ressourcenschonende Alternative zur Erzeugung von EUV-Strahlung in Hochenergiebeschleunigern dar. Allerdings ist die Anwendbarkeit bisher dadurch begrenzt, dass die verwendeten Lasersysteme in ihren Wiederholraten beschränkt sind.

Kombiniert man das Faserlaserkonzept mit dem Konzept der optisch parametrischen Verstärkung, werden ultrakurze, hochintensive Pulse bei bisher nicht erreichten hohen Wiederholraten möglich [2]. Dazu verwendet man einen Titan-Saphir-Oszillator, dessen Ausgang in zwei Teile aufgespalten wird (Abb. 1). Einen Teil kann man über eine nichtlineare Wechselwirkung in einer photonischen Kristallfaser zur Verstärkungswellenlänge der Faserverstärker schieben.

1 Schematischer Aufbau des optisch parametrischen Verstärkers zur Erzeugung von Few-cycle-Laserpulsen. Die eingebettete Abbildung zeigt die komprimierten Pulse.

High-intensity ultrashort laser pulses enable the generation of coherent radiation in the extreme ultraviolet region of the spectrum. Due to the remarkable properties of the radiation, it has the potential to be used for time-resolved, three-dimensional investigation of small structures, e. g. cells [1]. For specific applications these sources, that are of table-top size, constitute an resource-efficient alternative to generation of EUV radiation in high energetic accelerators. However, applicability was previously limited due to the restricted repetition rate in the laser systems used.

Combining the fiber laser concept with the concept of optical parametric amplification, ultrashort, high-intensity pulses can be obtained at unprecedented repetition rates [2]. For this purpose, a titanium-sapphire oscillator can be used by splitting its output into two parts (Fig. 1). One part can be shifted to the gain wavelength of the fiber amplifiers by exploiting a nonlinear interaction in a photonic crystal fiber.

1 Schematic experimental setup of the few-cycle optical parametric chirped pulse amplification systems. The inset shows the compressed pulses.

Diese erhöhen die Pulsenergie zu 1 mJ bei etwa 700 fs Pulsdauer. Frequenzverdoppelung stellt dann die Pumppulse für den optisch parametrischen Verstärker zur Verfügung. Der zweite Teil des Oszillators durchläuft einen Pulsformer und einen Pulsstreckler, um die Dauer auf die etwa 700 fs Pumppulse anzupassen. In einer zweistufigen optisch parametrischen Verstärkung wird dann die Pulsenergie auf 135 μ J erhöht. Präzise Kompression mit Hilfe des Pulsformers ermöglichte eine Kompression nahe dem physikalischen Limit. Dadurch entstehen Sub-5 fs-Pulse mit 12 GW Pulsspitzenleistung bei 30 kHz Wiederholrate (Abb. 1).

The amplifiers increase the pulse energy to 1 mJ at a pulse duration of 700 fs. Frequency doubling is used to generate the pump pulses for the optical parametric amplifier. The second part of the oscillator traverses a pulse shaper and pulse stretcher to match the pump pulse duration of about 700 fs. A two-stage optical parametric amplifier increases the pulse energy to 135 μ J. Precise compression close to the physical limit is made possible by using a pulse shaper. In consequence, sub-5 fs pulses with 12 GW peak power are generated at 30 kHz repetition rate (Fig. 1).

Literatur/References

- [1] Raines, K. S.; Salha, S.; Sandberg, R. L.; Jiang, H.; Rodriguez, J. A.; Fahimian, B. P.; Kapteyn, H. C.; Du, J.; Miao, J.: Three-dimensional structure determination from a single view, *Nature* 463 (2010); 214–217.
- [2] Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Seise, E.; Krebs, M.; Tavella, F.; Willner, A.; Düsterer, S.; Schlarb, H.; Feldhaus, J.; Limpert, J.; Rossbach, J.; Tünnermann, A.: High average power few-cycle laser pulses delivered by fiber pumped OPCPA system, *Opt. Express* 18 (2010); 12719–12726.

AUTHORS

*Steffen Hädrich*¹
*Jan Rothhardt*¹
*Stefan Demmler*¹
*Christoph Jocher*¹
Jens Limpert^{1,2}

¹ *Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena*

² *Fraunhofer IOF*

CONTACT

Prof. Dr. Jens Limpert
Phone +49 3641 947-811
jens.limpert@iof.fraunhofer.de



3D-PHOTONIK FÜR ASTRONOMISCHE INTERFEROMETRIE

3D PHOTONICS FOR ASTRONOMICAL INTERFEROMETRY

Photonik spielt eine zentrale Rolle in der neuen Generation der boden- und weltall-basierten Instrumente für die Astronomie. Die moderne Photonik erlaubt, Licht auf der mikroskopischen Skala zu manipulieren [1].

Im Besonderen haben Faseroptikkomponenten die Qualität der optischen astronomischen Interferometrie beachtlich verbessert [2]. Dies ist eine Technik, welche durch die interferometrische Kombination von Sternstrahlen, die von mehreren voneinander entfernten Teleskopen zusammengefügt werden, hoch aufgelöste Bilder liefert (Abb. 1).

Mit heutigen Techniken ist die gleichzeitige Kombination von 3 bis 4 Teleskopen möglich. Allerdings würden interferometrische Bilder von besonderen astronomischen Ereignissen, wie exoplanetische Finsternisse oder Strahlungen rund um supermassive Schwarze Löcher, von der gleichzeitigen Kombination von 10 und mehr Teleskopen sehr profitieren.

Photonic technologies play a central role in new-generation ground- and space-based instruments for astronomy, due to their outstanding performance in manipulating light on a microscopic scale [1].

In particular, fiber optics components have considerably improved the quality of optical astronomical interferometry [2], a technique delivering high resolution images through interferometric combination of starlight beams collected by several distant telescopes (Fig. 1).

While simultaneous combination of 3 to 4 telescopes is possible today, interferometric imaging of fast astronomical events such as exoplanet transits or flares around supermassive black holes would greatly benefit from the simultaneous combination of tens of telescopes, as is currently possible in radioastronomy.

1 *Astronomische Interferometer, wie das Very Large Telescope Interferometer (VLTi) in Cerro Paranal in Chile, liefern Bilder mit einer Auflösung eines 100-Meter-Durchmesser-Teleskops, bei Verwendung einer Anzahl kleinerer Teleskope (Durchmesser: 1,8 m oder 8 m).*

1 *Astronomical Interferometers such as the Very Large Telescope Interferometer (VLTi) at Cerro Paranal in Chile deliver images with the resolution of a telescope of 100 meter diameter, by means of a few smaller telescopes (diameters: 1.8 m or 8 m).*

Die existierenden planaren photonischen Schaltungen können jedoch nicht einfach stufenweise bis zur gleichzeitigen Kombination von mehr als 8 Teleskopen gesteigert werden. Dies würde eine komplette dreidimensionale (3D) Schaltungsgeometrie erfordern.

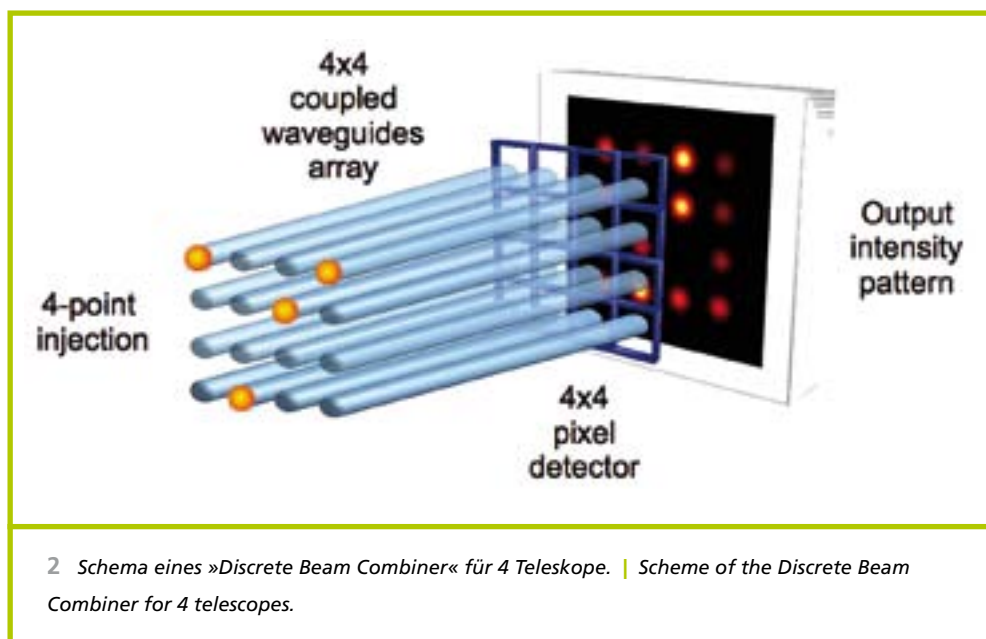
In unserer Arbeit haben wir das Potenzial dreidimensionaler photonischer Komponenten untersucht, um eine Interferometrie-Kombination von vielfachen Strahlen auf einem Chip zu realisieren. Wir konnten demonstrieren, dass eine zweidimensionale Matrix von gekoppelten Wellenleitern geeignet ist, um die wechselseitigen Kohärenzbeziehungen von bis zu vier Feldern annahmefrei zu bestimmen [3]. Das Schema (auch Discrete Beam Combiner – DBC genannt) basiert auf den Eigenschaften der Lichtausbreitung in zweidimensionalen Anordnungen von Wellenleitern (optische Raster). Wegen der evaneszenten Feldkopplung verteilt sich das Licht, das in die Wellenleiter des Gitters eingekoppelt wurde, in die benachbarten Wellenleiter. Dieser Effekt kann mit dem Formalismus der diskreten Beugung beschrieben werden [4]. Wenn ausgesuchte Positionen des Arrays simultan angeregt werden, führt die interferometrische Überlagerung der Eingangssignale zu einer bestimmten Intensitätsverteilung am Ausgang, welche einzig mit dem wechselseitigen Zusammenhang der Kohärenzeigenschaften des eingekoppelten Lichts in Verbindung gebracht werden kann. Im DBC (Abb. 2) wird das Licht, das von bis zu vier Teleskopen eines astronomischen Interferometers gesammelt wird, eingekoppelt und in einem optischen Wellenleiterarray mit 16 Positionen kombiniert. Dies erlaubt eine akkurate Rekonstruktion der Kohärenzparameter für alle möglichen Kombinationen der eingekoppelten Felder.

However, existing planar photonic circuits cannot be easily scaled up to simultaneous combination of more than 8 telescopes, which would require full three-dimensional (3D) circuit geometry.

In our work, we investigated the potential of 3D photonic components to deliver scalable interferometric combination of multiple beams on a single chip. We found numerically that even a simple two-dimensional array of coupled waveguides can be used to uniquely determine the mutual coherence properties for up to four, suitably injected fields [3]. The scheme (named Discrete Beam Combiner, or DBC) is based on the properties of light propagating in two-dimensional arrays of waveguides (optical lattices). Because of the evanescent field coupling, light injected in a waveguide of the lattice will leak to the neighboring waveguides (sites). This effect can be described with the formalism of discrete diffraction [4]. If selected sites of the array are excited simultaneously, interferometric mixing of the input signals will occur upon propagation and generate an output intensity pattern which can be uniquely related to the mutual coherence properties of the injected light. In DBCs (Fig. 2), the light collected by the 4 telescopes of an astronomical interferometer is injected and combined in an optical lattice featuring 16 sites, thus allowing the accurate retrieval of the coherence parameters for all possible combinations of the injected fields.

Wenn man das von uns vorgeschlagene Schema mit bisherigen Strahlenkombinierern vergleicht, so verteilt der DBC Licht über einem minimalen Set von Pixeln, was potenziell die Beobachtung von sehr lichtschwachen Objekten gestattet. Der DBC besitzt die Vorteile der integrierten photonischen Strahlenkombination (z. B. thermomechanische Stabilität) und ist bisherigen Ansätzen in Bezug auf die Verwertung der Messbarkeit von Interferometer-Kombinationen einer großen Zahl von Teleskopen überlegen. Dabei nutzt der DBC das Potenzial der 3D-integrierten Photonik vollständig aus und zeigt eine Strategie für die Kombination einer willkürlichen Zahl von Teleskopen auf.

As compared to other beam combiners, the DBC distributes light over a minimal set of pixels, thus potentially enabling the observation of fainter targets than possible today. The DBC shares the advantages of integrated photonic beam combiners (i. e. thermo-mechanical stability) but is superior in terms of scalability to interferometric combination of a large number of telescopes. In fact, the DBC fully exploits the potential of 3D integrated photonics, allowing a straightforward roadmap for the combination of an arbitrary number of telescopes.



Aktuell untersuchen wir experimentell das DBC-Schema mit lasergeschriebenen Quadratrastern von Wellenleitern [5] und berechnen den Einfluss unterschiedlicher Gittergeometrien sowie verschiedener technologischer Realisierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Einführung des DBCs in reale astronomische Geräte.

We are currently testing the DBC scheme experimentally on laser-written square arrays of waveguides [5] and evaluating the impact on performance of different lattice geometries and technological platforms, in view of the implementation of DBCs in real astronomical instruments.

Literatur/References

- [1] Bland-Hawthorn, J.; Kern, P.: Astrophotonics: a new era for astronomical instruments, *Opt. Exp.* 17, 1880 (2009).
- [2] Berger, J. P.; et al.: Integrated optics for astronomical interferometry – IV. First measurements of stars, *A&A* 376, L31 (2001).
- [3] Minardi, S.; Pertsch, T.: Interferometric beam combination with discrete optics, *Opt. Lett.* 35, 3009 (2010).
- [4] Lederer, F.; et al.: Discrete solitons in optics, *Phys. Rep.* 463, 1 (2008).
- [5] Pertsch, T.; et al.: Discrete diffraction in two-dimensional arrays of coupled waveguides in silica, *Opt. Lett.* 29, 468 (2004).

AUTHORS

*Stefano Minardi*¹

*Thomas Pertsch*¹

¹ *Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena*

CONTACT

Dr. Stefano Minardi

Phone: +49 3641 947-848

stefano.minardi@uni-jena.de

Prof. Dr. Thomas Pertsch

Phone: +49 3641 947-840

thomas.pertsch@uni-jena.de



BESCHICHTUNG GROSSER SUBSTRATE FÜR DIE PRÄZISIONSOPTIK

COATING OF LARGE SUBSTRATES FOR PRECISION OPTICS

Die Vergütung optischer Komponenten mit Dünnschichtsystemen ist eine wesentliche Voraussetzung für Innovationen in den optischen Technologien. Eine Vielzahl komplexer optischer Systeme wird durch präzise Beschichtungen erst ermöglicht. Anwendungsgebiete wie die Biomedizin, Astronomie, Sicherheit, Femtonik und Plasmonik verlangen nach innovativen Beschichtungskonzepten um ständig wachsenden Ansprüchen gerecht zu werden. Auch die Größe der zu vergütenden optischen Komponenten nimmt beständig zu. Dabei stößt die Beschichtungstechnologie, die standardmäßig in der optischen Industrie eingesetzt wird, an ihre Grenzen.

Am Fraunhofer IOF wurde daher eine Beschichtungstechnologie etabliert, die die präzise Vergütung von optischen Komponenten bis zur Größe von $500 \times 500 \text{ mm}^2$ erlaubt. Dabei sind neben Planoptiken auch gekrümmte Substrate homogen beschichtbar. Die dazu eingesetzte Technologie des Magnetronspüterns bietet eine hohe Flexibilität bei der Auswahl der verfügbaren Schichtmaterialien und wird zugleich hohen Anforderungen an die Schichtqualität und die Reproduzierbarkeit der Beschichtung gerecht. Metallschichten werden bevorzugt mittels DC-Sputtern, dielektrische Schichten mittels reaktivem MF-Sputtern abgeschlossen.

1 *Metallspiegel für Weltraumanwendungen, die mit hochreflektierenden geschützten Silberschichten vergütet wurden.*

The coating of optical components with thin films is an essential prerequisite for innovations in the field of optical technologies. A multitude of complex optical systems is only possible with the application of coatings. Fields of application like medical sciences, astronomy, security, femtonics, and plasmonics demand innovative coating concepts to meet steadily growing requirements. At the same time, the size of the optical components to be coated is increasing continuously. In this process, the coating technology which is standard in the optical industry is approaching its limits.

Against this background, a coating technology was established at Fraunhofer IOF which makes the precise coating of optical components up to a size of $500 \times 500 \text{ mm}^2$ possible. Besides planar optics, curved substrates can also be coated homogeneously. The technology applied is magnetron sputtering. This guarantees a large choice of available coating materials and at the same time allows for a fulfillment of high demands on the coating quality and reproducibility of the coating. Metal layers are deposited preferably by DC-sputtering, dielectric layers by reactive MF-sputtering.

1 *Metal mirrors for space applications, coated with a high-reflective protected silver coating.*

Dabei ist es möglich, Metalle bei extrem geringem Restgasdruck räumlich getrennt von den dielektrischen Schichten aufzubringen, die in einer Reaktivgasatmosphäre abgeschieden werden. So lassen sich neben Metallschichten und dielektrischen Wechselschichten auch metall-dielektrische Schichtsysteme auf große Substrate aufbringen. Anwendungen dieser Schichten liegen in den Bereichen Lithographie, Astronomie, Weltraumtechnik und Lasertechnik/Materialbearbeitung. Eine spezielle Anwendung ist die Vergütung von Metalloptiken, die im Fraunhofer IOF mittels Ultrapräzisionsbearbeitung hergestellt werden und in Spiegelsystemen für Erdbeobachtung und Umweltmonitoring eingesetzt werden (Abb. 1).

Generally, metals are deposited at extremely low residual gas pressure, spatially separated from the dielectric layers, which are deposited in a reactive-gas atmosphere. This way, in addition to metal films and dielectric coatings, metal-dielectric coatings can be deposited onto large substrates. These coatings are applied in lithography, astronomy, space-technology, and laser-technology/materials processing. A special application is the coating of metal optics which are manufactured by ultra-precision machining at Fraunhofer IOF and are applied in mirror systems for earth observation and ecological monitoring (Fig. 1).

AUTHORS

Mark Schürmann

Paul-Johannes Jobst

Thomas Müller

Michael Scheler

Norbert Kaiser

CONTACT

Dr. Mark Schürmann

Phone +49 3641 807-322

mark.schuermann@iof.fraunhofer.de



INFORMATION UND SICHERHEIT

LÖSUNGEN MIT LICHT ...
... VERBESSERN INFORMATIONSTECHNIK
UND ERHÖHEN SICHERHEIT.

INFORMATION AND SAFETY

SOLUTIONS WITH LIGHT ...
... IMPROVE INFORMATION TECHNOLOGY
AND INCREASE SAFETY.



Informations- und Kommunikationstechnologien sind wegweisend für Unternehmen, Mensch und Gesellschaft. Das Internet ist die Basis für zahlreiche Geschäftsmodelle und aus dem modernen Leben nicht mehr wegzudenken. Dabei ist das Licht eine der entscheidenden Komponenten, sowohl wenn es um die Erfassung, Verarbeitung und Übertragung als auch die Visualisierung von Informationen geht. Nur mit Licht können die anfallenden Datenmengen bewältigt werden. Bereits jetzt werden über 90 % aller Informationen mit Hilfe von Licht transportiert.

Photonische Technologien sind entscheidend für die Herstellung der zukünftigen Generation von Computerchips mit Strukturbreiten kleiner als 20 nm. Dies garantiert die Einhaltung des Mooreschen Gesetzes, das die Verdopplung der Zahl der Transistoren pro Chip alle zwei Jahre in Aussicht stellt.

Darüber hinaus sind Bilderfassung und Visualisierung Domänen der Photonik. Moderne, äußerst kompakte, energieeffiziente und zugleich kostengünstige Systeme unterstützen den gesellschaftlichen Trend zur Mobilität und Ubiquität von Informationen. Ein Beispiel sind Head-Mounted Displays zur Verknüpfung virtueller und realer Informationen – die sogenannte »augmented reality«.

Eine wichtige Triebkraft für Bilderfassung und Visualisierung ist das Bedürfnis der Menschen nach Sicherheit. Sowohl bei der Gefahrstofferkennung, der Überwachung von Infrastrukturen und Großveranstaltungen als auch bei der Verkehrsüberwachung. Leistungsstarke und intelligente photonische Sensoren bieten adäquate Lösungen zur Erhöhung der Sicherheit im Alltag und im Kampf gegen globale Bedrohungen.

Lösungen mit Licht stehen für eine effiziente Informationstechnik und eine Erhöhung der Sicherheit.

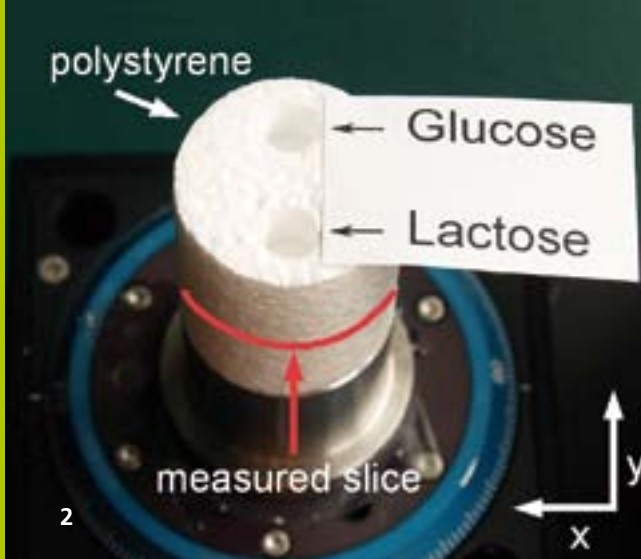
Information and communication technologies play a key role for business, man and society. The internet is the foundation for numerous business models and is now an indispensable part of modern life. Light is one of its key components with regard to the acquisition, processing, transmission and visualization of information. Only with light can the huge amounts of data be managed. Today, over 90 % of all information is already transported with the help of light.

Photonic technologies are crucial for the production of future generations of computer chips with feature sizes below 20 nm. This ensures compliance with Moore's law, which sees a doubling in the number of transistors per chip every two years.

In addition, image acquisition and visualization are domains of photonics. Modern, highly compact, energy-efficient and simultaneously affordable systems support the societal trend toward mobility and ubiquity of information. One example are head-mounted displays for linking virtual and real information – so-called "augmented reality".

An important driving force for image acquisition and visualization is man's need for safety, in detecting hazardous substances, monitoring infrastructures and major events and in traffic surveillance. Powerful, intelligent photonic sensors offer suitable solutions for increasing safety in everyday life and in the fight against global threats.

Solutions with light represent efficient information technology and an increase in safety.

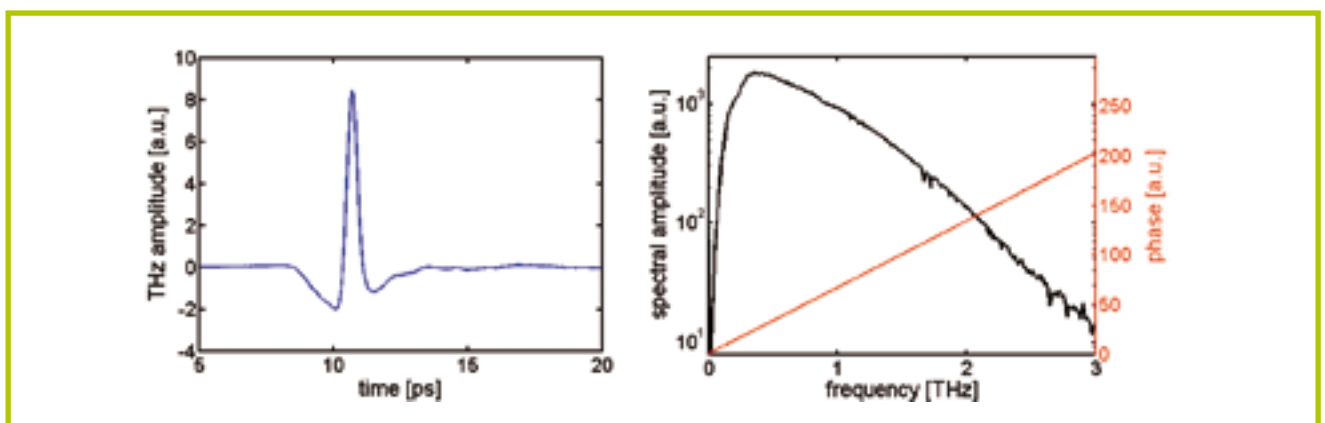


THz-TOMOGRAPHIE FÜR DIE RÄUMLICHE IDENTIFIKATION CHEMISCHER SUBSTANZEN

THz TOMOGRAPHY FOR THE SPATIAL IDENTIFICATION OF CHEMICAL SUBSTANCES

Terahertz (THz)-Strahlung (30 μm bis 3 mm, 10^{11} bis 10^{13} Hz) ist elektromagnetische Strahlung im Frequenzband zwischen Mikrowellen- und Infrarot-Strahlung. Sie durchdringt die meisten Kunststoffe, Keramiken, Papier, Kleidung und trockene Hölzer. Bezüglich Wasser besitzt THz-Strahlung eine hohe Sensitivität, ebenso für viele organische Substanzen (wie z. B. Medikamente, Drogen, Sprengstoffe), die anhand ihrer charakteristischen Absorptionsspektren im THz-Bereich identifiziert werden können.

Terahertz (THz) radiation (30 μm till 3 mm, 10^{11} till 10^{13} Hz) is electromagnetic radiation in the frequency range between the microwave and infrared band. THz radiation penetrates the majority of plastics, ceramics, paper, clothing, and dry wood. It is highly sensitive to water as well as many organic substances (e. g. medication, illicit drugs, explosives) which can be identified by their characteristic absorption spectra in the THz range.



1 Links: Terahertz-Puls mit einer Schwingung der elektromagnetischen Feldstärke, rechts: Spektrum eines THz-Pulses mit zugehöriger Phaseninformation. | Left: terahertz pulse as an oscillation of the electromagnetic field; right: spectrum of the THz pulse with relevant phase information.

Dies eröffnet ganz neue Anwendungen auf den Gebieten der Sicherheitstechnik, der Qualitätskontrolle, Produktionsüberwachung und Identifikation, wie beispielsweise in der Lebensmittel- oder Chemisch-Pharmazeutischen Industrie [1].

Ein Forschungsschwerpunkt des Fraunhofer IOF ist die Tomographie mit ultrakurzen THz-Pulsen. Dabei handelt es sich um ein bildgebendes Verfahren, welches die räumliche Verteilung einer physikalischen Größe innerhalb eines Körpers visualisiert. Durch die kohärente Messung von ultrakurzen THz-Pulsen können im Vergleich zur Tomographie mit Röntgenstrahlung nicht nur die Informationen der Absorption für Rekonstruktionsrechnungen verwendet werden, sondern auch Phasen- und spektrale Informationen der THz-Pulse (Abb. 1) [2]. Nur wenige Algorithmen können seitens der Computer-Tomographie mit Röntgenstrahlung für die THz-Tomographie verwendet werden.

Für die Verwertung von zusätzlichen Informationen wie Phase und Spektrum müssen neue Algorithmen und Verwertungsstrategien erforscht werden. Dem Fraunhofer IOF ist es erstmalig gelungen, die kompletten spektralen Informationen der tomographischen Messdaten zu verarbeiten und anhand dieser verdeckte Substanzen innerhalb eines Körpers nicht nur zerstörungsfrei zu lokalisieren, sondern auch zu identifizieren [3].

Abbildung 2 zeigt einen Probekörper aus Styropor, der mit Glukose- und Laktose-Pulver gefüllt wurde.

This allows completely new applications in the fields of security industry, quality control, production monitoring, and identification, such as in the food, chemical, or pharmaceutical industries [1].

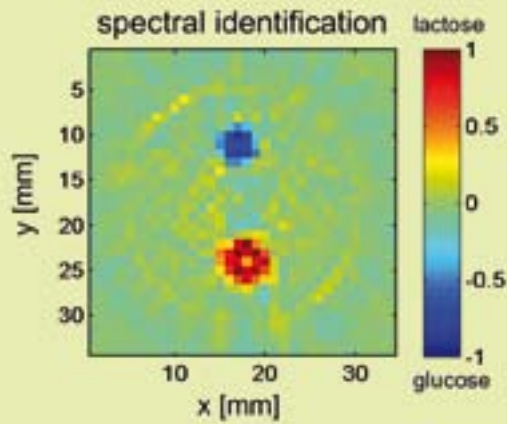
One focus of the Fraunhofer IOF is tomography with ultra-short THz pulses. The matter of our concern is an imaging technique which visualizes the spatial distribution of a physical quantity within a body. By the coherent measurement of one THz pulse, it is possible to detect not only amplitude information but also the phase and spectra (see Fig. 1) [2]. X-ray tomography reconstruction gives information about absorption data that is obtained from amplitude values, whereas THz tomography allows new attractive applications due to additional information about the phase and spectrum of THz pulses. The computer tomography with X-rays uses just a few algorithms for the THz tomography.

New algorithms and reconstruction strategies must be developed to utilize both phase and spectrum information. The Fraunhofer IOF succeeded not only in processing complete spectral information of the tomographic measurement and non-distractive localization of substances hidden in the sample, but also in identifying the substance itself [3].

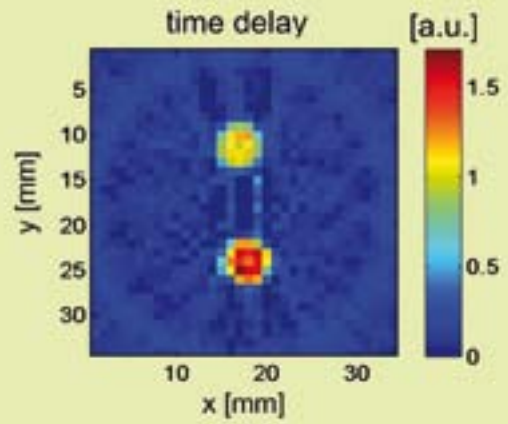
Figure 2 shows an example of a polystyrene sample filled with glucose and lactose powder.

2 Präparierter Probekörper für die tomographische Messung einer Schicht.

2 Sample prepared for the tomographic measurement of a layer.



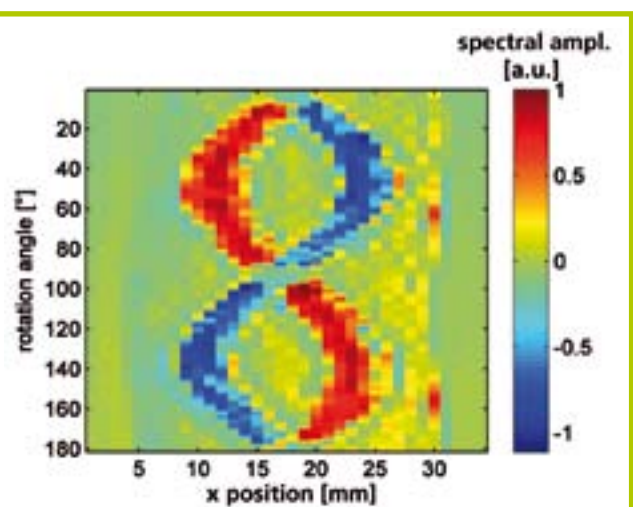
4a



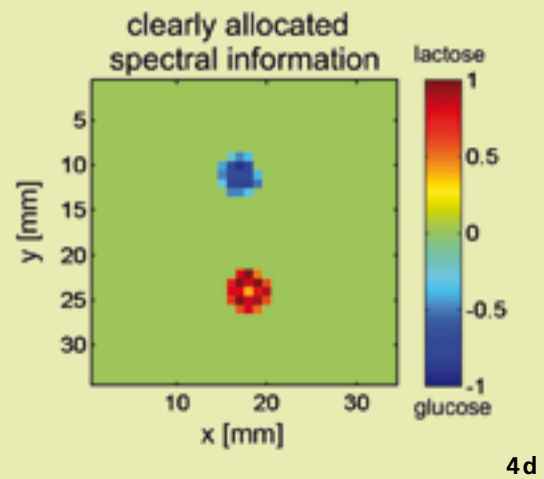
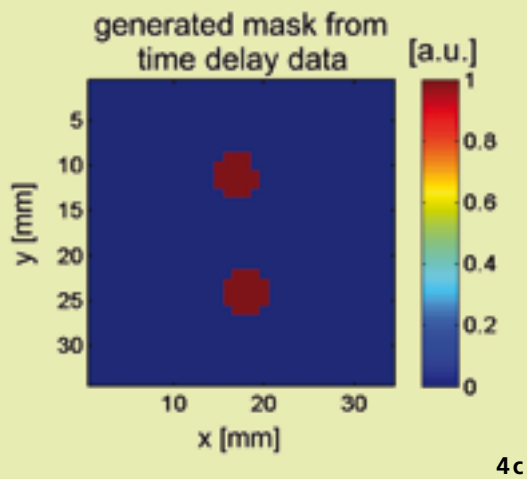
4b

Die Ergebnisse der tomographischen Messung einer Schicht der Probe über dem Rotationswinkel ergeben die in Abb. 3 gezeigte Zuordnung (Sinogram). Jedem einzelnen Bildpunkt kann ein Spektrum zugeordnet werden, das sich mit einer Datenbank vergleichen lässt. Im Ergebnis entsteht ein Wahrscheinlichkeitswert, der eine Aussage über die Zugehörigkeit von Substanzen trifft. Hierbei steht der Wert von »1« für eine 100-prozentige Übereinstimmungswahrscheinlichkeit mit der Substanz Laktose und »-1« für eine 100-prozentige Übereinstimmung mit Glukose. Die Umrechnung dieser in einem Sinogram vorliegenden Projektionsdaten erfolgt mit speziellen Transformations-Algorithmen. Das Ergebnis ist in Abb. 4a dargestellt und präsentiert die rekonstruierte Schicht des Probekörpers mit eindeutiger Lokalisation und Identifikation der Substanzen Laktose und Glukose. Mittels geeigneter Masken (Abb. 4c), die beispielsweise aus Phaseninformationen gewonnen werden können (Abb. 4b), ist eine Filterung von Rekonstruktionsfehlern, die sich aus Rechenalgorithmen ergeben, realisierbar (Abb. 4d).

The result of the tomographic measurement of one sample layer at a rotation angle is arranged in a sinogram (presented on Fig. 3). A spectrum, which can be compared to a database, can be assigned to every single pixel. The result is a probability value that determines the affiliation of a substance. The value of 1 hereby corresponds with 100 % matching probability to lactose and -1 with 100 % matching probability to glucose. Processing the projection data into a sinogram can be realized with special transformation algorithms. The result shown in Fig. 4a presents a reconstructed sample layer with clear localization and identification of lactose and glucose substances. Reconstruction errors that arise from the processing algorithm (Fig. 4d) can be filtered out with appropriate masks (Fig. 4c) determinable from the phase information (Fig. 4b).



3 *Spektrales Sinogram einer Schicht der Polystyrol-Probe. | Spectral sinogram of a polystyrene sample layer.*



Literatur/References

- [1] Riehemann, S.; Pradarutti, B.; Notni, G.: Kompakte THz-Imaging Systeme unter Nutzung von fs-Faserlasern, *Optik und Photonik*, Vol. 1 (2007) S. 39–43.
- [2] Pradarutti, B.; Matthäus, G.; Riehemann, S.; Notni, G.; Nolte, S.; Tünnermann, A.: Advanced analysis concepts for terahertz time domain imaging, *Opt. Commun.* Vol. 279 (2007) S. 248–254.
- [3] Brahm, A.; Kunz, M.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A.: Volumetric spectral analysis of materials using terahertz-tomography techniques, *Appl. Phys. B*. Vol. 100 (2010) S. 151–158.

AUTHORS

Anika Brahm^{1,2}

Martin Kunz^{1,3}

Stefan Riehemann¹

Gunther Notni¹

Andreas Tünnermann^{1,2}

¹ Fraunhofer IOF

² Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena

³ Institut für Physik, Technische
Universität Ilmenau

CONTACT

Dr. Gunther Notni

Phone +49 3641 807-217

gunther.notni@iof.fraunhofer.de

M. Eng. Anika Brahm

Phone +49 3641 807-237

anika.brahm@iof.fraunhofer.de

4 *Rekonstruktion einer Schicht der Polystyrol-Probe: a) Originalrekonstruktion, b) Phaseninformation, c) generierte Maske für eine Filterung, d) gefilterte Rekonstruktion.*

4 *Reconstruction of a polystyrene sample layer: a) original reconstruction, b) phase information, c) generated mask for the filtering, d) filtered reconstruction.*



FLUORREAKTIVE PRÄPARATION VON FLUORID- UND OXIFLUORIDSCHICHTEN FÜR DAS UV

METAL FLUORIDE AND OXIDE EVAPORATION WITH FLUORINE GAS FOR UV COATINGS

Klassische Fluoridschichten zeigen bei der Herstellung bei hohen Temperaturen (300 °C) ausgezeichnete Eigenschaften. Insbesondere ist die Packungsdichte hoch und die Transmission vom UV- bis in den IR-Bereich exzellent. Daraus resultieren die vielfältigen Anwendungen sowohl in Massenprodukten, wie einfachen Entspiegelungsschichten, als auch in Hochtechnologien, wie in Excimerlaser-Optiken und Schichten für die UV-Lithographie in der Mikroelektronik.

Bei reduzierter Beschichtungstemperatur wird die Packungsdichte geringer und die Klimastabilität der Schichten ist nicht mehr ausreichend. Durch die Kontamination der Schichten mit Kohlenwasserstoffen und Wasser steigen die Absorptionsverluste im UV und IR stark an. Durch ionengestützte Beschichtung kann die Schichtstruktur und Packungsdichte optimiert werden. Dabei erzeugt man durch den Beschuss der Schichtbildungszone mit Ionen (60–150 eV) Defekte in der Kristallstruktur. Die Absorptionswirkung des Fluordefizits kann durch Metallcluster modelliert werden. Um dieses Fluordefizit zu verringern, wird dem Ionenstrahl der APS (Advanced Plasma Source) F_2 -Gas zugemischt.

Standard metal fluoride coatings deposited at high temperatures (300 °C), are of outstanding quality. They are particularly excellent with respect to the packing density and the transmission in the region from UV to IR. There are many resulting applications from mass products like AR coatings to high end equipment such as excimer laser optics and coatings for UV lithography tools in microelectronics.

Lowering the coating temperature, the packing density is reduced and the coating will fail in climatic tests. The contamination of the layers with hydrocarbons and water lead to a major increase in UV and IR absorption losses. With IAD (ion assisted deposition) the packing density and structure of the coating can be optimized. Bombarding the coating formation zone with ions (60–150 eV) generate defects in the crystal structure. Thus, fluorine deficit leads to absorption in the coating which can be modeled by metal clusters. To reduce the fluorine deficit, we add fluorine gas to the ion beam of the APS (advanced plasma source).

1 FIAD-Beschichtungsanlage.

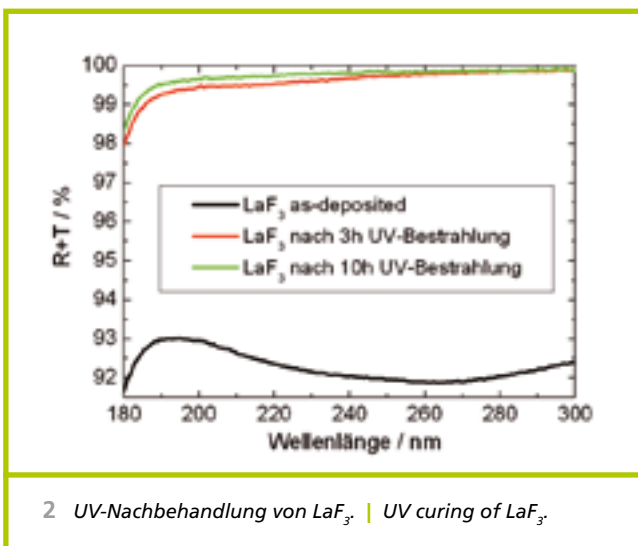
1 FIAD coating equipment.

Die so erzeugten Fluoridschichten zeigen immer noch Absorptionsverluste. Durch UV-Anregung können die Fluorionen mobilisiert werden und die Defekte wandern an die Korngrenzen. Dort reagieren die ungesättigten Bindungen mit Sauerstoff oder Wasser. Im Zuge dieser UV-Nachbehandlung kommt es zu einer extremen Reduzierung der Absorptionsverluste in den Schichten.

Die mit der FIAD-Technologie (fluorreaktive ionengestützte Beschichtung) hergestellten Schichten zeigen vergleichbare Gebrauchseigenschaften (Laserlebensdauer, Klimastabilität, UV-Transmission) wie die klassischen heißen Fluoridschichten. Außerdem lassen sich mit dieser Technologie Oxifluoridschichten mit neuen Gebrauchseigenschaften herstellen.

The created coatings still exhibit absorption losses. Mobilization of the fluorine ions by UV excitation displaces the defects to the grain boundaries. Here unsaturated bindings can react with oxygen and water with the result that the absorption loss of the layers is highly reduced.

With FIAD (fluorine added ion assisted deposition) coated components have similar qualities (laser lifetime, climatic stability, UV transmission etc.) to standard hot evaporated metal fluorides. Furthermore, oxyfluoride coatings with new qualities can be produced by using FIAD technology with the deposition of oxides.



AUTHOR

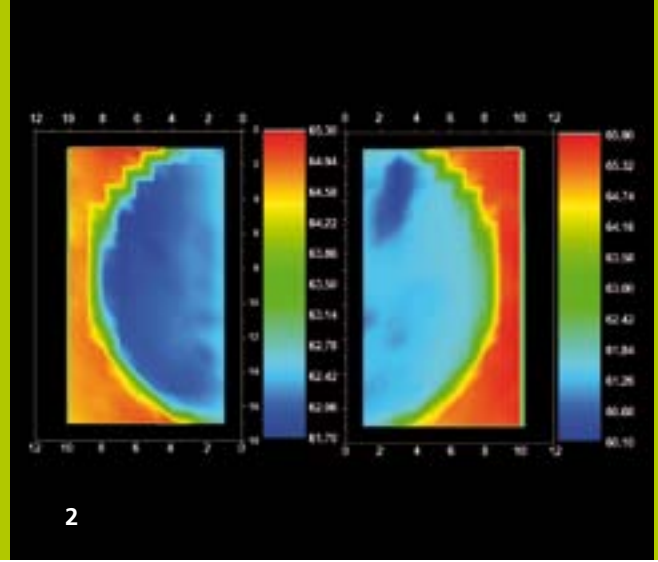
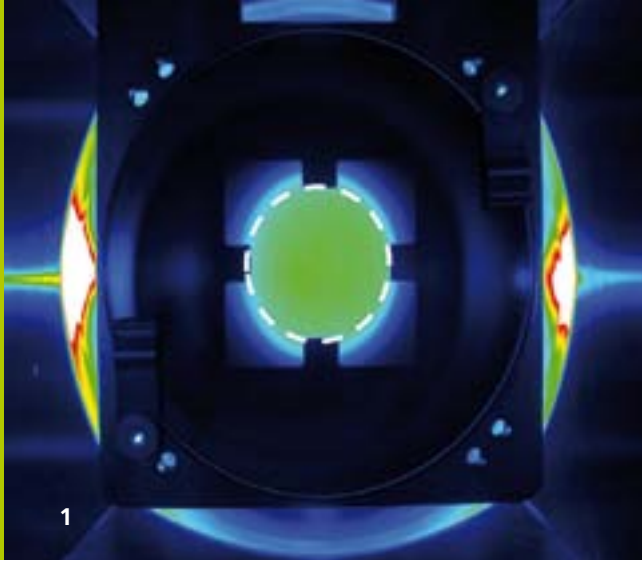
Dipl.-Phys. Dieter Gäbler

CONTACT

Dipl.-Phys. Dieter Gäbler

Phone +49 3641 807-346

dieter.gaebler@iof.fraunhofer.de



LEBENSDAUER VON EUV-OPTIKEN

LIFETIME OF EUV OPTICS

Die Lebensdauer und die Kontamination der Optiken sind eine der größten Herausforderungen für die EUV-Lithographie. In Zusammenarbeit mit den Firmen Intel und Xtreme technologies wurden Lösungsansätze zur Verbesserung der Optiklebensdauer – wie die Optimierung von Capping-Schichten und die Entwicklung effizienter Reinigungstechniken – erarbeitet. Zum Vergleich der Lebensdauern von Mo/Si-Multilayerschichten mit verschiedenen Capping-Schichten (Ru, TiO₂, ...) wurde ein neuer EUV-Teststand (ETS) aufgebaut. Dieser basiert auf einer gepulsten EUV-Quelle, die eine EUV-Leistung $\geq 50\text{W}/2\pi$ liefert. Er ermöglicht die gleichzeitige Bestrahlung von bis zu vier Spiegeln (Abb. 1) mit Intensitäten von 25–100 mW/cm² für vergleichende Untersuchungen. So wurden die strahlungsinduzierte Kohlenstoffkontamination und -reinigung auf Mo/Si-Spiegeln mit Ru- und TiO₂-Capping-Schichten untersucht. Kohlenstoffkontaminationen mit Dicken $>5\text{ nm}$ wurden durch Bestrahlung mit geringen EUV-Dosen in einer Tert-Butyl-Benzol-Atmosphäre erzeugt (Abb. 2, links). EUV-Bestrahlung in verschiedenen Atmosphären wurde für die In-situ-Reinigung der so kontaminierten Spiegel genutzt (Abb. 2, rechts). Die gleichen Mo/Si-Spiegel wurden in Umgebungsbedingungen mit hohem Wasserpartialdruck Synchrotronstrahlung mit hoher EUV-Intensität bis zu $8 \times 10^3\text{ mW}/\text{cm}^2$ ausgesetzt (Abb. 3).

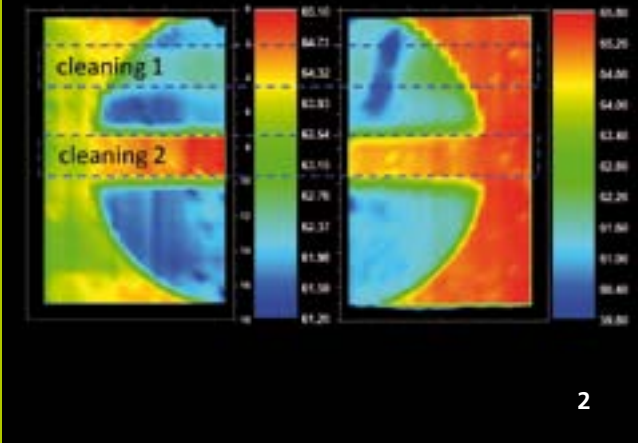
The lifetime and contamination of optics is one of the major challenges in extreme ultraviolet (EUV) lithography. In collaboration with Intel Corporation and Xtreme technologies, several potential solutions towards an improvement of optics lifetime such as the optimization of capping layers and the development of efficient cleaning techniques have been developed. In order to compare the lifetime of Mo/Si multilayer coatings with different capping layers (Ru, TiO₂...), a new Exposure Test Stand (ETS) using a pulsed EUV source operated at a total power of $\geq 50\text{W}/2\pi$ was developed. The capability for uniform exposure of up to four mirrors (Fig. 1) with an intensity of 25–100 mW/cm² provides ideal conditions for comparative studies. Radiation-induced carbon contamination and removal experiments on Ru- and TiO₂-capped Mo/Si mirrors have been conducted at the ETS. Carbon contamination layers with thickness of $>5\text{ nm}$ were created by low-dose exposure of the mirrors in a tert-butyl-benzene atmosphere (Fig. 2, left). EUV exposure in different atmospheres was used for the in-situ cleaning of the contaminated mirrors (Fig. 2, right). The same Mo/Si multilayer mirrors were exposed to synchrotron radiation in high-water environmental conditions with high-intensity EUV up to $8 \times 10^3\text{ mW}/\text{cm}^2$ (Fig. 3).

1 EUV-Bestrahlung von vier Mo/Si-Multischichtspiegeln im ETS.

1 EUV exposure of four Mo/Si multilayers at ETS.

2 Kontaminierte (links) und gereinigte (rechts) Mo/Si-Spiegel mit Ru und TiO₂-Capping-Schichten.

2 Contaminated (left) and cleaned (right) Ru- and TiO₂-capped Mo/Si mirrors.



2

Dabei zeigte sich bei Mo/Si-Spiegeln mit Ru-Capping-Schicht und einer anfänglichen Reflexion von 67,2 % ein Reflexionsverlust von ~ 6,0 % nach einer Bestrahlung mit einer Dosis von $1,5 \times 10^5$ J/cm². Hingegen zeigten Spiegel mit Nb₂O₅- und TiO₂-Capping-Schichten und einer anfänglichen Reflexion von 67,0 % keinen Reflexionsverlust.

Die Autoren bedanken sich bei der Intel Corporation für die finanzielle Unterstützung der FuE Arbeiten und persönlich bei Roman Caudillo und Gilroy Vandentop für fruchtbare Diskussionen.

It was shown that Ru-capped Mo/Si mirrors with an initial reflectivity of 67.2 % presented a reflectivity loss of ~ 6.0 % after an irradiation dose of 1.5×10^5 J/cm². No reflectivity loss was found for Nb₂O₅ and TiO₂ capped Mo/Si mirrors with initial peak reflectivity of 67.0 %.

The authors acknowledge the financial support for this R&D work by Intel Corporation and personally thank Roman Caudillo and Gilroy Vandentop for fruitful discussions.

AUTHORS

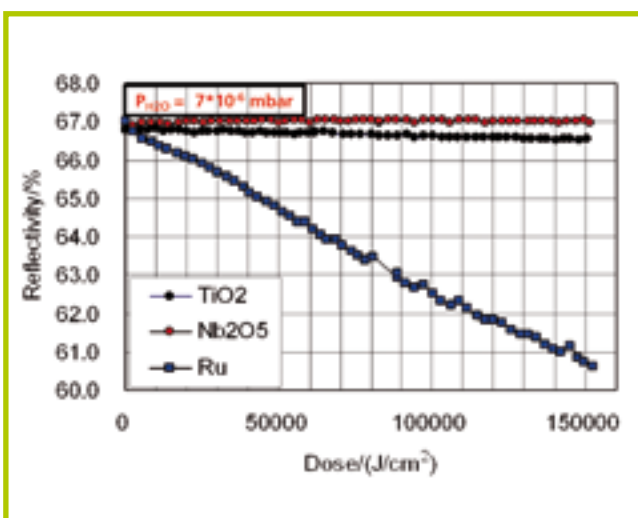
Sergiy Yulin
Mark Schürmann
Viatcheslav Nesterenko
Max C. Schürmann¹
Boris Tkachenko¹
Mitsunari Shuichi²
Torsten Feigl
Norbert Kaiser

¹ Xtreme technologies GmbH,
Deutschland

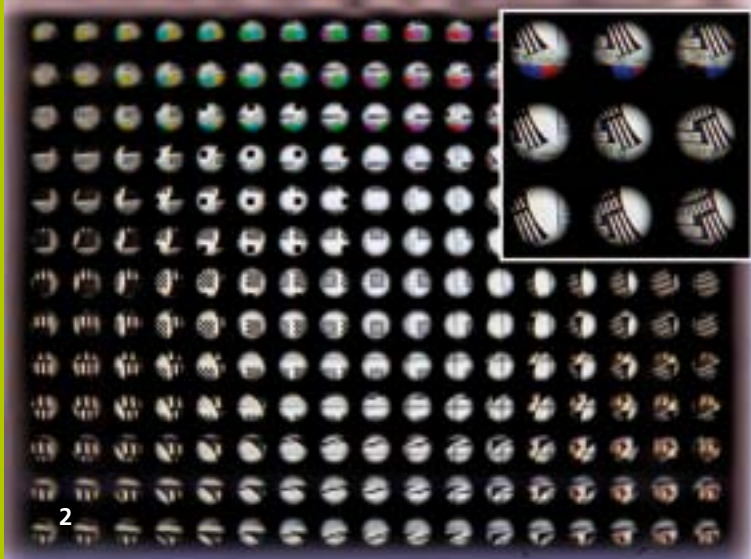
² Nikon Corporation, Japan

CONTACT

Dr. Sergiy Yulin
Phone +49 3641 807-241
sergiy.yulin@iof.fraunhofer.de



3 Reflexion von Mo/Si-Multilayerspiegeln mit verschiedenen Capping-Schichten unter Synchrotronstrahlung. | Reflectivity evolution of differently capped Mo/Si mirrors under synchrotron exposure.

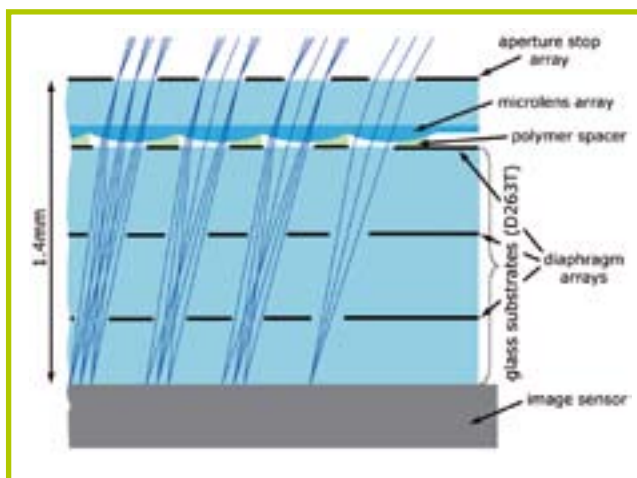


ULTRA-DÜNNNE KAMERA MIT VGA-AUFLÖSUNG

ULTRA-THIN CAMERA WITH VGA RESOLUTION

Die Verwendung von miniaturisierten Kamerasystemen in mobilen Endgeräten (z. B. Mobiltelefone, Laptops und Automobil-Kameras) bedarf sowohl der Verkleinerung von opto-elektronischen und elektronischen als auch von optischen Komponenten. Die Grundvoraussetzungen dafür sind eine kurze Brennweite sowie eine geringe Anzahl an optischen Komponenten der Abbildungsoptik. Des Weiteren entsteht durch die Miniaturisierung Bedarf an einem erhöhten bildseitigen Auflösungsvermögen und erhöhter Lichtempfindlichkeit (bzw. numerischer Apertur).

The application of miniaturized camera systems in mobile devices (e. g. mobile phones, laptops, and automotive cameras) demands not only the shrinking of opto-electronic and electronic but also of optical components. A short focal length as well as a low number of components of the imaging optics are the basic requirements to achieve that goal. Furthermore, the miniaturization gives rise to additional demands such as increased image resolution and light sensitivity (in terms of numerical aperture).



1 Schematischer Schnitt durch den Schichtaufbau eines elektronischen Clusterauges. | Schematic section of the layered structure of an electronic cluster-eye.



Für die kleinsten konventionellen Objektive haben sich Herstellungsmethoden der Mikrosystemtechnik (speziell: die UV-Abformung von ultra-präzisionsbearbeiteten Mastern sowie Wafer-Stapeln und Bonden) bereits durchgesetzt. Allerdings ist die sogenannte Wafer-Level-Optik (WLO) aufgrund der Schrumpfung bei der Abformung von Linsen mit großen Pfeilhöhen und Problemen bei der Einstellung exakter Schichtdicken im Falle von Einzelaperturoptiken bisher auf Auflösungsvermögen bis maximal VGA begrenzt.

Wir haben ein ultra-dünnes VGA-Kameramodul gemäß eines alternativen Systemansatzes realisiert: ein mikrooptisches Modul, welches verschiedene Teile des Gesichtsfeldes in getrennten optischen Kanälen erfasst (Abb. 1 und 2). Die verschiedenen Mikrobilder werden mittels Software digital zu einem Gesamtbild des kompletten Gesichtsfeldes von $58^\circ \times 45^\circ$ zusammengefügt (Abb. 3). Die Aufteilung des Gesichtsfeldes entkoppelt den Zusammenhang zwischen Brennweite und Gesichtsfeldgröße und ermöglicht somit die Realisierung einer gegenüber Einzelaperturoptiken etwa halben Baulänge des optischen Aufbaus. Inspiriert von den Facettenaugen der Insekten, erlaubt dieses Prinzip ein VGA-Objektiv mit einer Baulänge von 1,4 mm auf einem Bildsensor mit einer Pixelgröße von $3,2 \mu\text{m}$ (Abb. 4) [1]. Eine kurze Brennweite und ein kleines Gesichtsfeld pro Kanal eröffnen obendrein die Möglichkeit, einfache optische Komponenten wie Mikrolinsen mit geringen Pfeilhöhen einzusetzen, wie sie durch das Schmelzen von Photoresist erzeugbar sind.

2 Bild eines CCTV-Testmusters, wie es durch den Bildsensor des Demonstrators mit einer vollen Auflösung von 3 MP aufgenommen wurde. Der Rahmen zeigt einen vergrößerten Bereich der 17×13 Mikrobilder.

3 Außenansicht des Instituts, aufgenommen mit dem elektronischen Clusterauge.

Fabrication methods known from microsystems technology (especially UV-molding of ultra-precision machined masters as well as wafer stacking and bonding) have already been established for the tiniest conventional imaging systems. However, so-called wafer level optics (WLO) is limited to resolutions up to VGA for single aperture optics so far, because the molding of lenses with high sags suffers from polymer shrinkage and insufficient layer thickness control.

We realized an ultra-thin VGA camera module with an alternative system approach using a microoptical module which captures different portions of the object field of view within separated optical channels (see Figs. 1 and 2). These different micro-images are joined together digitally by software to form a total image of the full field of view of $58^\circ \times 45^\circ$ (Fig. 3). The segmentation of the full field of view decouples focal length from the size of the field of view and thus half of the total track length may be realized for the optical setup when compared to single aperture optics. This concept, which is inspired by the insect compound eye, allows fitting a VGA lens in a total track length of 1.4 mm on an image sensor with $3.2 \mu\text{m}$ pixel pitch (Fig. 4) [1]. A short focal length and a small field size per channel additionally enable the application of simple optical components such as microlenses with small sag, as can be created by reflow of photoresist.

2 Image of a CCTV test chart as it is recorded by the image sensor of the prototype with a full resolution of 3 MP. The inset shows a magnified section of the 17×13 micro-images.

3 A snapshot view on the institute captured by the electronic cluster-eye.



4

Die entsprechenden Module wurden durch etablierte Verfahren der Mikrooptik wie UV-Lithographie, Reflow und UV-Abformung im Wafermaßstab hergestellt. Der Linsen- und der Spacerwafer wurden getrennt voneinander prozessiert und im Wafermaßstab miteinander verbunden – wobei der Linsenwafer mittels Polymer-Abstandshaltern kopfüber auf dem Spacerwafer aufgesetzt wurde.

Im Gegensatz zu früheren Entwicklungen [2, 3] verwendet ein solches elektronisches Clusterauge mehrere Pixel pro Kanal, um eine effektivere Nutzung der aktiven Siliziumfläche und eine höhere Bildauflösung zu erreichen. Zusätzlich dient eine Echtzeit-Bildverarbeitung dazu, die Verzeichnung der einzelnen Mikrobilder zu korrigieren und diese optimal zu einem Gesamtbild zu fusionieren. Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem optischen Design geben Grund zur Annahme, dass mikrooptische Abbildungssysteme geeignet sind, um in naher Zukunft Bildauflösungen im Megapixel-Bereich bei einer Baulänge von weniger als 2 mm zu realisieren.

Die Autoren bedanken sich für die Förderung durch das BMBF im Projekt »Insekten-inspirierte Abbildungssysteme« (FKZ: 01RB0705A), welches im Rahmen der BIONA-Initiative durchgeführt wird.

Hence, such modules were fabricated on wafer level with well-established microoptical fabrication techniques such as UV-lithography, reflow, and UV-molding. Lens and spacer wafers were generated separately and subsequently bonded together on wafer level – the lens wafer with polymer stand-offs was placed upside down on the spacer wafer.

In contrast to former developments [2, 3], such an electronic cluster-eye uses multiple pixels per channel in order to achieve a more efficient use of the active silicon area and a higher resolution. Additionally, we implemented real-time image processing in order to correct the distortion of the individual micro-images and optimally fuse them into a complete image. Optical design data raises the hope that these types of microoptical imaging systems may be suitable for achieving megapixel image resolution with a total track length of less than 2 mm in the near future.

The authors acknowledge the financial support from the BMBF-funded project "Insect-inspired imaging systems" (FKZ: 01RB0705A) which is part of the BIONA initiative.

4 Prototyp des elektronischen Clusterauges (rechts) im Vergleich zu einem konventionellen Objektiv einer Webcam mit VGA-Auflösung (links).

4 Prototype of an electronic cluster-eye (right) in comparison to a conventional lens of a webcam with VGA resolution (left).

Literatur/References

- [1] Brückner, A.; Duparré, J.; Leitel, R.; Dannberg, P.; Bräuer, A.; Tünnermann, A.: Thin wafer-level camera lenses inspired by insect compound eyes, *Opt. Express* 18 (24), p. 1–16 (2010).
- [2] Brückner, A.; Duparré, J.; Dannberg, P.; Bräuer, A.; Tünnermann, A.: Artificial neural superposition eye, *Opt. Express* 15 (19), p. 11922–11933 (2007).
- [3] Brückner, A.; Duparré, J.; Dannberg, P.; Bräuer, A.; Hoffmann, C.: Ultra-compact vision system for automotive applications, *Proceedings 4th EOS Topical Meeting on Advanced Imaging Techniques*, Jena, Germany (2009), p. 166–167.

AUTHORS

Andreas Brückner

Peter Dannberg

Robert Leitel

Alexander Oberdörster

Frank Wippermann

Andreas Bräuer

CONTACT

Dr. Frank Wippermann

Phone +49 3641 807-437

frank.wippermann@iof.fraunhofer.de



FREIFORMPRISMA FÜR HEAD-MOUNTED DISPLAY

FREEFORM PRISM FOR HEAD-MOUNTED DISPLAY

Die visuelle Überlagerung der Wahrnehmung der realen Umwelt mit eingespiegelten Informationen, bezeichnet als »augmentierte Realität«, kann in einer Vielzahl von Anwendungsfeldern wie Fremdenverkehr, Sicherheitstechnik und zur Unterstützung für Service-Ingenieure genutzt werden.

Head-mounted Displays (HMD) mit Durchsichtfunktion sind Schlüsselkomponenten für den Einsatz augmentierter Realität. Wichtige Komponenten eines solchen HMD sind ein Mikrodisplay und die HMD-Optik. Aktive OLED-Displays sind attraktive Kandidaten für das Mikrodisplay auf Grund ihrer geringen Größe und Masse. Um diese Vorteile zu nutzen, benötigt man kleine und leichte Optiken mit geringer F-Zahl und großem Gesichtsfeld. Freiformprismen, die den optischen Pfad falten und mehrere optische Funktionsflächen in einem Element kombinieren, sind ein vielversprechender Lösungsansatz. Ein wesentliches Problem von HMDs mit OLEDs ist die geringe Systemtransmission auf Grund der Lambert-ähnlichen Abstrahlung des Mikrodisplays. Die Erhöhung der OLED-Luminanz ist deshalb ein wichtiger Punkt für die zukünftige Systementwicklung.

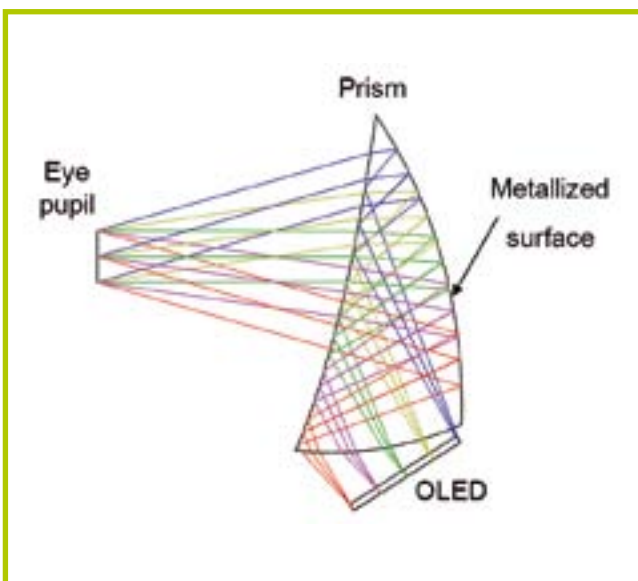
Visual superposition of the real-world environment and displayed information, known as augmented reality, can be used in a multitude of applications ranging from tourist guidance to surveillance applications and support for service engineers.

See-through head-mounted displays (HMD) are a key technology for utilization of augmented reality. Basic components which form such an HMD are the microdisplay and near-to-eye projection optics. Active OLED displays are attractive candidates for the microdisplay because of their small physical dimensions and low mass. To make these advantages effective, small and lightweight projection optics with a low f-number and large field-of-view are required. Thus freeform prisms, which fold the optical path and combine a number of surfaces with optical power in a single element, are a promising approach. A major problem of HMDs with OLED microdisplays is the low system throughput due to the Lambertian-like emission characteristics of the microdisplay. OLED luminance enhancement is therefore an important task for future system development.

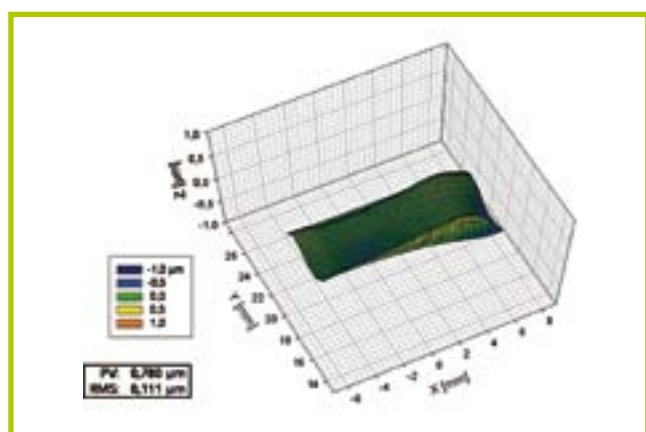
1 Prototyp der Datensichtbrille auf einem Modellkopf. | Prototype of the head-mounted display on a dummy head.

Das optische Design eines solchen Freiformelements basiert auf Raytracing durch stark dezentrierte und verkippte Flächen, die als kartesische Polynome beschrieben werden (Abb. 2). Die Optimierung ist durch die große Zahl von Variablen, die die Oberflächen und die Koordinatentransformationen beschreiben und voneinander nicht unabhängig sind, erschwert. Wichtige optische Parameter sind ein großes Gesichtsfeld von $32^\circ \times 24^\circ$, RGB-VGA-Auflösung und ein Verzeichnung $< 2\%$. Nach der Optimierung wird das optische System zur Überführung zum Rapid-Prototyping in ein mechanisches Konstruktionsformat übersetzt. Der Herstellungsprozess des Prismas beginnt mit der Definition von Montagefeatures zur Justage des Teils in eine Klemmfassung. Nach der Justage werden das Teil und die Aufnahme während der Bearbeitung und der Vermessung nicht mehr getrennt.

The optical design of a freeform element is based on sequential raytracing through strongly decentered and tilted surfaces described as cartesian polynomials (Fig. 2). Optimization is complicated by a large number of variables describing freeform surface profiles and coordinate transformations which are not independent of one another. Important optical specifications are a large field of view of $32^\circ \times 24^\circ$, RGB VGA resolution, and distortion of about 2% – which can be furthermore reduced using pre-distorted images. After optimization, the optical layout is translated into a mechanical design description for transfer to rapid prototyping. The process of element realization starts with definition of leading edges for adjustment of the part in a clamping fixture. Once adjusted, part and fixture remain as one unit during manufacturing and measurement.



2 *Optikdesign des Freiformprismas.* | *Optical design of the freeform prism.*



4 *Tastschnittmessung einer Freiform.* Nach Unterdrückung von Ausreißern und Glättung durch einen gleitenden Mittelwertfilter wird die Freiform mit $0,3\ \mu\text{m}$ PV Formfehler gemessen. | *Tactile measurement of one freeform surface.* After eliminating runaway values and applying a moving average filter, the freeform surface is measured with $0.3\ \mu\text{m}$ p.-v. shape deviation.

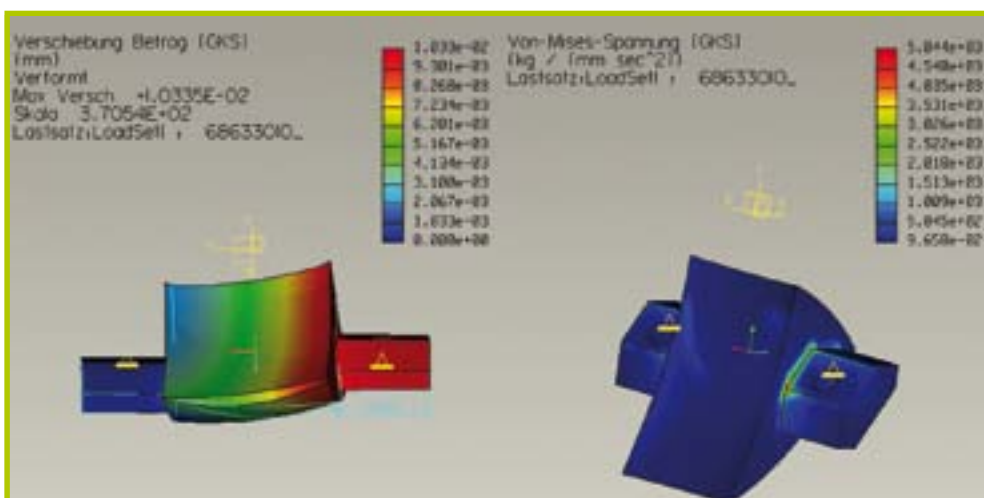


Referenzen für beide Prozesse können problemlos an der Aufnahme eingearbeitet werden. Geringe Toleranzen zwischen den Montageelementen und den optischen Flächen sind eine Vorbedingung für die erfolgreiche Bearbeitung. FEM-Simulationen der Schneidkräfte und der an der Befestigung auftretenden Spannungen sind die Voraussetzung für die Berechnung der Werkzeug-Trajektorie durch ein CAM-System (Abb. 3).

Die Prismen werden durch eine Kombination von direktem Diamantdrehen und -hobeln in PMMA auf einer Precitec FF700 Ultrapräzisions-Freiformmaschine hergestellt. Die geometrische Vermessung erfolgt auf einem 2½ D taktilem Messsystem UA3P von Panasonic (Abb. 4). Bei der Überführung des Prüflings von der Herstellung zur Vermessung geht die Referenzierung der Lage der Freiformen verloren.

References for both processes can be machined easily on the fixture itself. It is clear, that tight tolerances between leading edges and optical surfaces are the pre-condition for good systems. The correct tool path is calculated by CAM software (Fig. 3) using FEM simulations of cutting forces and clamping strains.

The prisms are realized using a combination of diamond turning and shaping into PMMA on a Precitec FF700 ultra-precision freeform machine. Geometrical characterization of the manufactured element is carried out with a 2½ D tactile measurement system UA3P von Panasonic (Fig. 4). Transferring the prototype to the measurement machine means losing the position of the freeform surfaces.



3 Die FEM-Simulation zeigt die Aufnahme einer Irregularität von 10 µm an einer Referenzfläche durch die Klemmung in einer »perfekten« Haltevorrichtung. | FEM simulation showing how an irregularity of 10 µm at one of the reference and clamping elements is absorbed from both elements during clamping in a "perfect" fixture.

Um die neuen Positionen zu erkennen, wurden drei Sphären nahe der optischen Flächen eingearbeitet, um so geringe Lagetoleranzen zwischen Funktionsfläche und Referenzmarke zu erzielen. Aus der Vermessung der Lage der Sphären kann die Position der Funktionsflächen berechnet werden.

Nach der Ultrapräzisionsbearbeitung werden die Elemente teilweise mit Aluminium metallisiert. Die Montage des Freiformprismas (Abb. 5) erfolgt in einem Metallrahmen, der dann an einer kommerziellen Sonnenbrille befestigt wird (Abb. 6). Im nächsten Entwicklungsschritt ersetzt eine teiltransparente Beschichtung das Aluminium. Das Einspiegelprisma wird weiter durch ein Kompensationsprisma ergänzt, welches dann die visuelle Überlagerung der realen Umwelt und des eingespiegelten Bildes erlaubt.

Design und Herstellung des Freiformprismas ist Teil des von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Projekts »iSTAR«.

To identify the new positions, three spheres acting as reference marks were manufactured together with the measurement object ensuring tight tolerance between reference and optical surface. By knowing the positions of these spheres, it is easy to calculate the position of the freeform surface.

After ultra-precision manufacturing, the elements are partially coated by aluminum. The freeform prism (Fig. 5) is mounted in a metallic cage which is then applied to commercial sports sunglasses (Fig. 6). In the next development step, the aluminum coating is replaced by a semi-transparent layer and the setup is accomplished with a compensating prism, which enables visual superposition of near-to-eye projection and the real world environment.

Design and prototyping of the freeform prism is part of the "iSTAR" project funded by the Fraunhofer-Gesellschaft.

5 *Freiformprisma. | Freeform prism.*

6 *Freiformprisma, montiert an einer Sonnenbrille. | Freeform prism mounted on sunglasses.*

AUTHORS

Peter Schreiber

Kirill Sokolov †

Ralf Steinkopf

Marcel Sieler

CONTACT

Dr. Peter Schreiber

Phone +49 3641 807-430

peter.schreiber@iof.fraunhofer.de



RICHTUNGSSELEKTIVE STREUSCHIRME

ANGULAR SELECTIVE DIFFUSION PANEL

Optische Bauelemente mit einem Transparenzverhalten, das sich in Abhängigkeit des Einfallswinkels des Lichts ändert, sind von großem Interesse, z. B. für die Beschränkung des Sichtfeldes bei der Betrachtung von Bildschirmen.

Dafür ist ein optisches Element notwendig, welches eine richtungsselektive Transparenz aufweist. Einfallendes Licht aus einer bestimmten Richtung soll das Element möglichst ungehindert passieren, Licht aus anderen Richtungen hingegen nicht. Dieses Licht aus unerwünschten Richtungen kann z. B. absorbiert oder gestreut werden, wobei die Streuung vorzuziehen ist, da dabei kein Energieverlust auftritt.

Die Streuwirkung wird häufig durch die Verwendung einer rauhen Oberfläche, eines Streuschirmes, realisiert. Hierbei wird die Wellenfront des eintreffenden Lichts durch die Höhenstruktur der Oberfläche in ihrer Phase so verändert, dass das Licht in Richtungen abgelenkt wird, die nicht im eintreffenden Licht enthalten sind. Das eintreffende Licht wird gestreut. Bei weiterer Ausbreitung des Lichts in große Entfernungen erhält man so die gewünschte Streuwirkung.

Kurz hinter der streuenden Oberfläche ist die Phasenverteilung des Lichts durch die Geometrie der Oberfläche bestimmt.

Optical elements with a transparency which changes its characteristic depending on the angle of incoming light are of considerable interest, e. g. for the restriction of the field of view of screens.

The optical element must feature a direction selective transparency. Incoming light from a specific direction should pass the element unhindered, in contrast to light from another direction. The light from the other directions can be absorbed or diffused, for instance, whereby diffusion has to be preferred because no energy loss occurs.

The diffusion effect is often realized by the use of a rough surface, a diffusion panel. Here, the wave front of the incoming light is altered in its phase by the height profile of the surface, so the light is scattered in directions not contained in the incoming light. The incoming light is diffused. Ongoing propagation of the light at large distances results in the desired diffusion effect.

Just behind the diffusion surface, the phase distribution of the light is defined by the geometry of the surface.

1 Foto einer Winterlandschaft. Links: Aufnahme senkrecht durch das Bauelement, rechts: Bauelement ist um 10° gekippt.

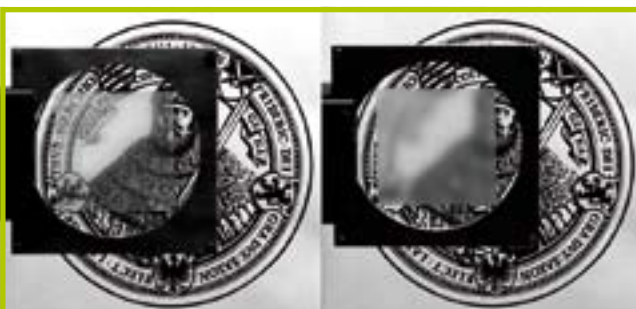
1 Photo of a winter landscape. Left: exposure perpendicular through the element, right: element is tilted 10°.

Bis zu einer bestimmten Entfernung hinter dem Streuschirm kann man die Lichtverteilung, für aus einer bestimmten Richtung kommendes Licht, durch ein angepasstes Bauelement wieder zu einer glatten Phasenverteilung zurück transformieren und somit die Streuwirkung der ersten – rauhen – Oberfläche aufheben. Dadurch entsteht ein optisches Bauelement, welches in Abhängigkeit der Richtung des einfallenden Lichts eine Streuwirkung besitzt oder transparent ist. Die Stärke der Streuwirkung sowie der Winkelakzeptanzbereich für die Transparenz können durch die Geometrieparameter der beiden Oberflächen und deren Abstand zueinander gezielt verändert werden.

Up to a certain distance from the diffusion panel, the light distribution can be transformed back to an even phase distribution by a matched element for a defined incoming light direction. The diffusion effect of the first – rough – surface is neutralized. This creates an optical element which has a diffusion effect or is transparent, depending on the direction of the incoming light. The magnitude of the diffusion effect as well as the angular acceptance range of the transparency can be adjusted by the geometric parameters of both surfaces and the distance between them.

Literatur/References

- [1] Kämpfe, T.; Reinhold, J.; Kley, E.-B.: Patent DE (eingereicht)
Anordnung zur Erzeugung winkelselektiver optischer Transparenz.



2 Foto des Logos der Friedrich-Schiller-Universität Jena, der Abstand zwischen Bauelement und Logo betrug 2 cm. Links: Aufnahme senkrecht durch das Bauelement, rechts: Bauelement ist um 10° gekippt. | Photo of the logo of the Friedrich Schiller University Jena. Distance between element and logo was 2cm. Left: exposure perpendicular through the element, right: element is tilted 10°.

AUTHORS

Holger Hartung¹
Ernst-Bernhard Kley^{1,2}

¹ Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena

² Fraunhofer IOF

CONTACT

Dr. Ernst-Bernhard Kley
Phone +49 3641 947-830
ernst-berhard.kley@uni-jena.de



GESUNDHEIT UND MEDIZINTECHNIK

LÖSUNGEN MIT LICHT ...

... LIEFERN INNOVATIONEN FÜR DIAGNOSTIK UND THERAPIE.

HEALTH AND MEDICAL ENGINEERING

SOLUTIONS WITH LIGHT ...

... PROVIDE INNOVATION FOR DIAGNOSTICS AND THERAPY.



Steigende Lebenserwartung und niedrige Geburtenraten führen zu einer zunehmend alternden Gesellschaft in Deutschland und den meisten Industriestaaten. Waren 2007 etwa 8 % der Weltbevölkerung über 65 Jahre alt, werden es im Jahr 2030 bereits 13 % sein. Unterdessen wächst der Anspruch der Menschen an Lebensqualität, Gesundheit, Vorsorge und Frühdiagnostik. Optische Technologien können dabei entscheidende Beiträge leisten, sei es zur Prävention, Diagnostik oder Therapie.

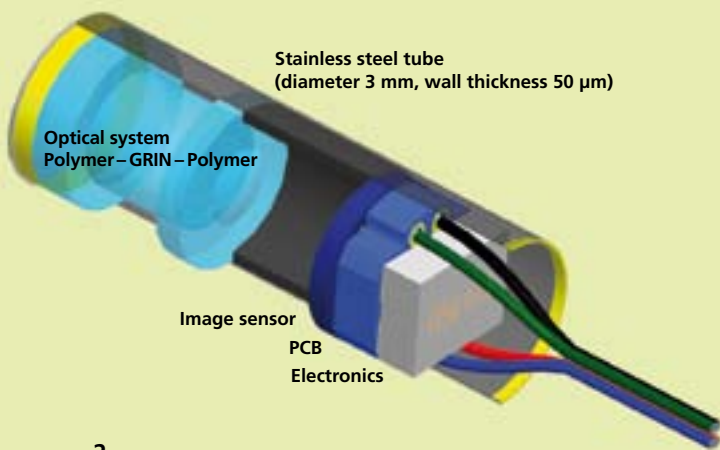
Innovative optische Verfahren im Bereich der Mikroskopie und Endoskopie erlauben es, Lebensprozesse genauer zu untersuchen, Krankheiten besser zu verstehen, zu erkennen und wirkungsvolle Therapiemöglichkeiten zu finden. Lasersysteme werden für die höchst präzise und zugleich schonende Behandlung von Gewebe eingesetzt, sowohl in der Augenheilkunde als auch in der Dermatologie, Chirurgie und Dentaltechnik. Gleichzeitig haben photonische Verfahren das Potenzial zur Entwicklung minimalinvasiver und damit patientenschonender Diagnose- und Therapieverfahren für eine Vielzahl von Einsatzgebieten. Innovative optische Technologien eröffnen Möglichkeiten für großflächiges Screening von Gewebeoberflächen.

Lösungen mit Licht verbessern den Nachweis von Krankheits-erregern, erlauben den Blick in die Zelle und ermöglichen die Entwicklung schonender Behandlungsmethoden.

Rising life expectancy and low birth rates will lead to an increasingly aging society in Germany and the majority of industrialized nations. Where 8 % of the world's population was over 65 years of age in 2007, the figure in the year 2030 will have increased to 13 %. At the same time, man's demand for quality of life, health, prevention and early diagnosis is growing. Optical technologies can make a key contribution here, whether in prevention, diagnostics or therapy.

Innovative optical technologies in the field of microscopy and endoscopy enable more precise examination of vital functions, a better understanding and detection of illnesses and the discovery of effective therapy options. Laser systems are used for the ultra-precise and simultaneously gentle treatment of tissue, in ophthalmology as well as in dermatology, surgery and dental technology. At the same time, photonic technologies have the potential to develop minimally-invasive and thus more patient-friendly diagnostic and therapy methods for a multitude of application fields. Innovative optical technologies open up opportunities for large-scale screening of tissue surfaces.

Solutions with light improve the detection of pathogens, enable a view of the cell and make possible the development of gentle treatment methods.



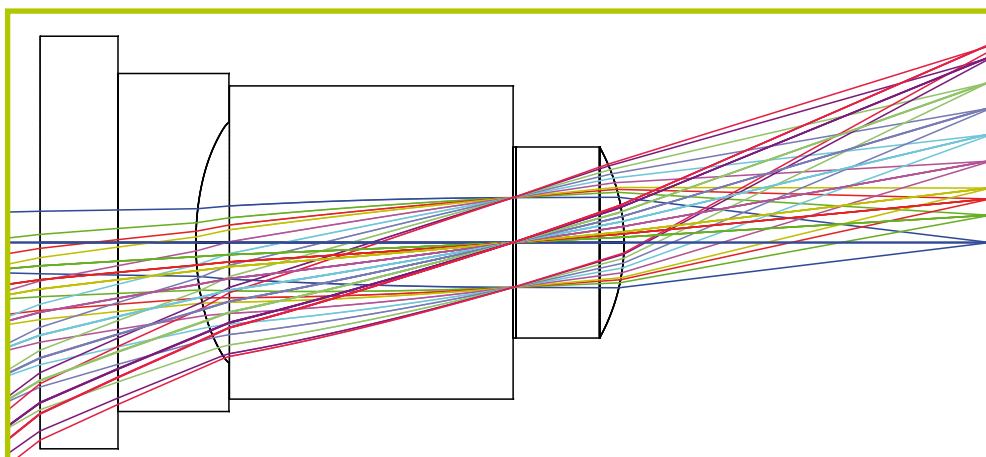
2

CHIP IN THE TIP – ULTRAKOMPAKTE ENDOSKOPKAMERA MIT VGA-AUFLÖSUNG

CHIP IN THE TIP – ULTRA-COMPACT CAMERA FOR ENDOSCOPY WITH VGA RESOLUTION

Eines der wichtigsten Hilfsmittel für den Arzt in der medizinischen Diagnostik ist die Visualisierung des Gewebes, um krankhafte Veränderungen der Organe frühzeitig zu erkennen und heilende Maßnahmen einzuleiten. Für die minimalinvasive Chirurgie mit Endoskop-Werkzeugen sind abbildende Kamerasysteme mit minimalen Abmessungen bei guter Auflösung eine der Voraussetzungen für den Operationserfolg.

Visualization is still the most important tool in medical diagnostics to allow for the physician, in combination with their medical knowledge, to detect diseases within the human body and choose healing treatments in order to enable recovery. For minimal invasive surgical operations that use endoscopic tools, imaging camera modules that have both a small volume and a good resolution are necessary to ensure the success of the surgical treatment.



1 *Optisches Design des Kameramoduls mit Geradeaussicht und 75° Gesichtsfeldwinkel. | Optical design of the camera module with straight forward 75° field of view.*

Moderne Technologien der Mikrosystemtechnik ermöglichen, Optik und Bildsensorik in einem System an der Spitze des Endoskops zu integrieren. Abbildung 1 zeigt das optische Design eines ultrakompakten Kameramoduls [1] mit VGA-Auflösung und einem Gesichtsfeldwinkel von 75°. Das Endoskopobjektiv verfügt (von links nach rechts) über ein planparalleles Frontfenster, das hermetisch dicht und langzeitstabil mittels Laserstrahllöten im Endoskoptubus fixiert wird. Das zweite Element, eine einseitig plane Polymerasphäre, wird mittels Diamantdrehen prototypisch und später mittels Spritzguss massentauglich gefertigt. Drittes Element ist eine Gradientenindexlinse (GRINTECH GmbH), die einen bezüglich der optischen Achse rotationsymmetrischen Brechzahlverlauf aufweist und deshalb bei beidseits planen Endflächen eine fokussierende Wirkung generiert. Das abschließende Element der Abbildungsoptik ist eine Polymerlinse mit sphärischem Profil, die durch Diamantdrehen bzw. alternativ durch das Dosieren von UV-härtbarem Polymer in einem Drop-on-Demand-Verfahren hergestellt werden kann. Das hochminiaturisierte Objektiv besitzt eine Baulänge (Abstand erste Planfläche bis zur Bildebene) von 6,4 mm.

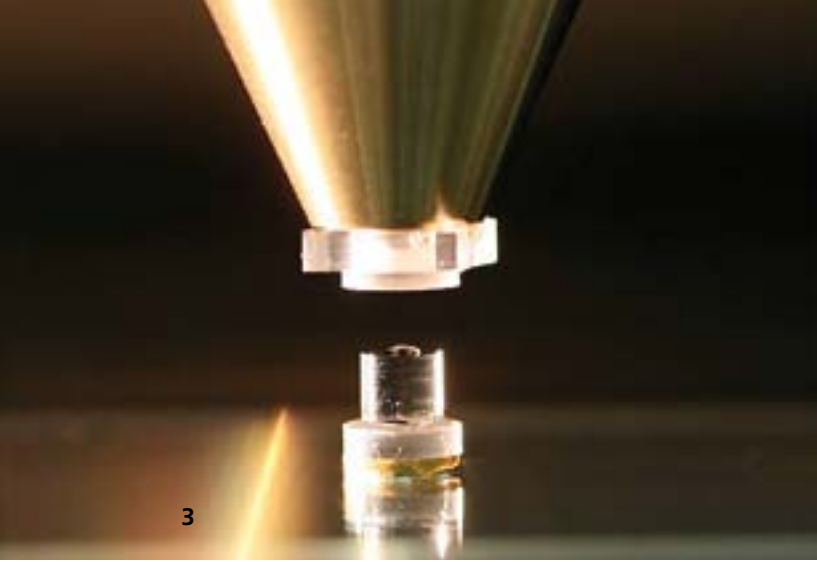
Abbildung 2 zeigt die opto-mechanisch integrierte Gesamtbaugruppe. Eine Besonderheit ist der miniaturisierte Bildsensor mit VGA-Auflösung (X-FAB Semiconductor Foundries AG). Runde Außenkonturen des Sensors und Through-Silicon-Durchkontaktierungen zu dessen Rückseite für die Anbindung an eine keramische Leiterplatte (VIA electronic GmbH) ermöglichen die effektive Belegung der Sensorfläche mit bildgebenden Pixeln bei einem Außendurchmesser des Moduls von 3 mm.

2 Integrierte Gesamtbaugruppe mit Objektiv, Bildsensor, keramischer Leiterplatte und Twisted-Pair-Anschluss.

Microsystem technologies now allow for the direct integration of imaging optics and sensors in a system. Figure 1 shows the optical design of such an ultra compact imaging camera system [1] that has VGA resolution and a field of view of 75°. The endoscope objective contains (from left to right) a plan-parallel front window that is used for hermetic encapsulation by laser beam soldering. The second element is plan-concave aspherical polymeric lens that is manufactured directly by diamond turning e. g. in PMMA or later using mass replication technologies such as injection moulding. The third element is a gradient index lens (GRIN-lens) manufactured by GRINTECH GmbH. In contrast to classical lenses with refraction based on surface profiles, such GRIN-lenses have a rotational symmetric refractive index gradient and thus even focus with planar surfaces. The final element is a spherical polymeric lens that can be manufactured by diamond turning again or, alternatively, by the drop-on-demand deposition of a precise volume of UV-curable optical polymer on an area with a defined boundary condition. The whole objective within its specifications has an overall length (distance between front window and image plane) of 6.4 mm.

Figure 2 illustrates the opto-mechanical integration of the whole assembly. The highlight is the miniaturized image sensor with VGA resolution manufactured by X-FAB Semiconductor Foundries AG. A round outer contour of the sensor and through-silicon vias to its backside for the connection to a ceramic printed circuit board (manufactured by VIA electronic GmbH) allow for an efficient arrangement of pixels within an overall diameter for the module of 3 mm.

2 Opto-mechanical integration of the whole assembly with objective, image sensor, ceramic PCB and twisted-pair-wiring.



Mit einer Pixelgröße von $2,8 \mu\text{m}$ und 422 500 Pixel in einem Bildkreisdurchmesser von 2,6 mm lassen sich bis zu 190 Linienpaare/mm auflösen. Die Technologie der Außenkonturierung des Sensors ermöglicht beliebige Formen mit z. B. Freiräumen zum Vorbeiführen von Beleuchtungsfasern. Die auf dem Sensor integrierte Vorverarbeitung bereitet die Bildinformationen so auf, dass diese hinsichtlich des Kontrastes verstärkt und über Twisted-Pair-Leitungen als Video-Stream übertragen werden können.

Neben dem kompakten Design des Kameramoduls ist dessen kosteneffiziente und langzeitstabile, biokompatible Integration von Bedeutung für die Akzeptanz im Bereich der Medizintechnik. Unter Zuhilfenahme der planaren Funktionsflächen einzelner Komponenten kann die Abbildungsoptik mit Hilfe eines Pick&Place-Verfahrens (Abb. 3), bei dem die Außendurchmesser der einzelnen Komponenten coaxial zueinander ausgerichtet werden, ohne aktive Justage montiert werden [2]. Erst bei der Ausrichtung der Optik zum Bildsensor ist für die optimale Abbildung eine aktive Justierung notwendig. Die Abbildungsoptik wird in einem Edelmetalltubus montiert, der beispielhaft die Endoskopspitze repräsentiert. Da aus Gründen der Hygiene wieder verwendbare Endoskope mittels Autoklavieren dekontaminiert werden, ist das optische System geeignet zu verkapseln. Zum hermetischen Verschluss an der Schnittstelle Frontglas–Edelmetalltubus wurde erfolgreich ein spezielles Laserstrahlötverfahren, das Solderjet-Bumping [3], eingesetzt. Mit diesem Verfahren werden diskrete, aber überlappende Volumina der biokompatiblen Weichlotlegierung 80Au20Sn beim Fügen des Frontglases im Edelmetalltubus

With pixel dimensions of $2.8 \mu\text{m}$ and 422 500 pixels in an image diameter of 2.6 mm, the sensor has a resolution up to 190 line pairs/mm. Its free outer contour allows for the feed through e. g. of illumination fibers, while the integrated pre-processing enhances image contrast and sends the images as a video stream via twisted-pair-wiring.

Besides the compact design of the camera module, its cost efficient and long-term stable, bio-compatible integration is of importance for acceptance within the medical instrumentation market. Using the planar surfaces of the optical components, the imaging optics can be assembled by a simple pick&place technology (Fig. 3), where the outer diameters of the components are coaxially arranged to each other without using expensive active optical alignment [2]. Only when placing the already assembled imaging optics in front of the sensor is active alignment of up to 5 degrees of freedom necessary. The optics is mounted within a stainless steel tube that represents the tip of the endoscope. For reasons of hygiene, reusable endoscopes have to be decontaminated in autoclaves at high temperature and humidity. Therefore, to prevent functional degradation, the optical system has to be encapsulated sufficiently. For the demonstrated module, at the interface between the stainless steel tube and the front window the bio-compatible solder alloy 80Au20Sn was applied by the laser beam soldering technology of solderjet bumping [3]. Overlapping discrete volumes of the solder join the window to the tube (Fig. 4) and create a hermetically sealed assembly that has leakage rates of less than 10^{-8} mbar x l/s even after several autoclave cycles.

3 *Pick&Place-Montage der Abbildungsoptik.*

3 *Pick&Place assembly of the imaging optics.*

4 *Gelötetes Frontfenster im Edelmetalltubus.*

4 *Soldered front window within the stainless steel tube.*

appliziert (Abb. 4), so dass eine dichte Verbindung entsteht, die auch nach mehreren Autoklavierzyklen Heliumleckraten von $<10^{-8}$ mbar x l/s aufweist.

Das FuE-Projekt »HOKA« wird mit Mitteln des Freistaates Thüringen gefördert (FKZ 2008FE9175) und von der Thüringer Aufbaubank (TAB) betreut.

The R&D-project "HOKA" is funded by the Freistaat Thüringen (FKZ 2008FE9175) and administered by the Thüringer Aufbaubank (TAB).

Literatur/References

- [1] Wippermann, F. et al.: Disposable low cost video endoscopes for straight and oblique viewing direction with simplified integration. In: Proceedings SPIE 7556-03, Photonics West 2010.
- [2] Beckert, E. et al.: Autoclaveable miniaturized video endoscopes with simplified flip-chip assembly. In: Proceedings SPIE 7893-11, Photonics West 2011.
- [3] Burkhardt, Th. et al.: Parametric investigation of solder bumping for assembly of optical components. In: Proceedings SPIE 7202-03, Photonics West 2009.

AUTHORS

Erik Beckert
Frank Wippermann
Sarah Walther
Thomas Burkhardt
Bernhard Messerschmidt¹
Daniel Gäbler²
Thomas Barntitzek³

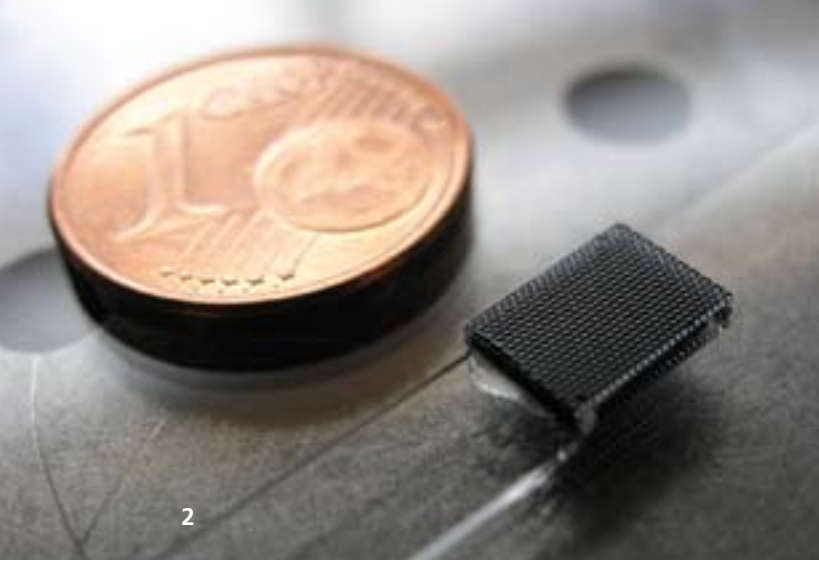
¹ GRINTECH GmbH, Jena

² X-FAB Semiconductor
Foundries AG, Erfurt

³ VIA electronic GmbH, Hermsdorf

CONTACT

Dr. Erik Beckert
Phone +49 3641 807-338
erik.beckert@iof.fraunhofer.de



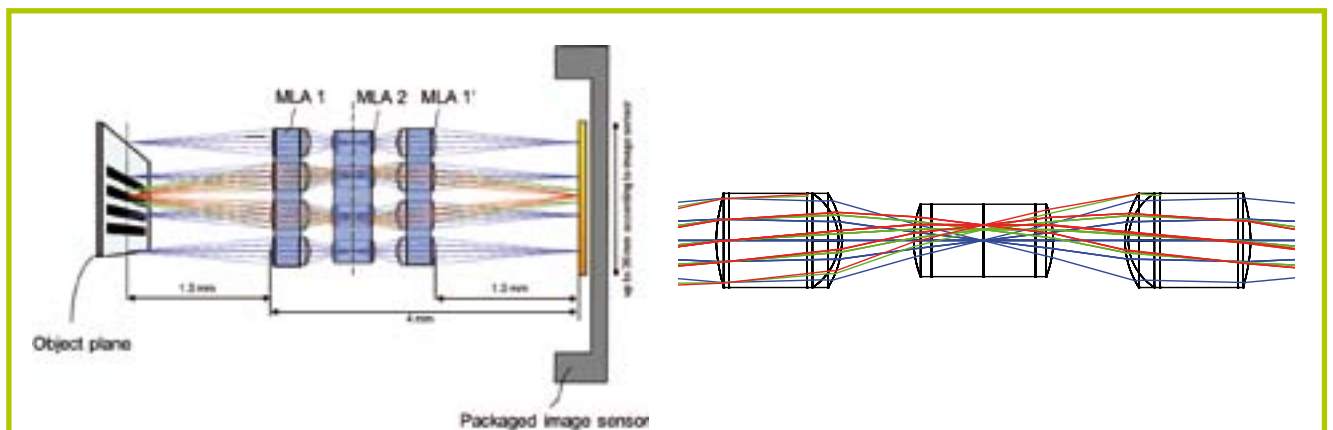
FLACHBAUENDES MIKROSKOP

ULTRA-THIN MICROSCOPE

Mikroskope sind abbildende optische Systeme zur Betrachtung kleiner Objekte und Strukturen, die dem menschlichen Beobachter mit unbewaffnetem Auge verborgen bleiben. Nicht zuletzt durch das Wirken in Jena agierender Pioniere der Mikroskopie wurde das Erscheinungsbild derartiger Instrumente geprägt: ein zylindrischer Tubus von etwa 150 mm Länge mit einem Objektiv an einem Ende, welches dem Objekt gegenübersteht, und einem Okular am gegenüberliegenden Ende, durch das der Betrachter mit seinem Auge blickt.

Microscopes are imaging systems used to visualize small objects and structures which cannot be seen by the naked human eye.

The appearance of the instrumentation was not least defined by the work of Jena-based pioneers of microscopy: a cylindrical tube of about 150 mm length with an objective at one end facing the object and an ocular at the distal end which is looked through by the examiner's eye.



1 Links: schematische Darstellung der Arrayanordnung der Abbildungskanäle des ultra-dünnen Mikroskops. Rechts: Detailansicht der Abbildungsoptik aus drei Substraten und insgesamt acht Mikrolinsenarrays. | Left: schematic drawing of the ultra-thin microscope consisting of an array of imaging channels. Right: detail of the imaging optics consisting of three substrates carrying in total eight microlens arrays.)

Das entwickelte flachbauende Abbildungssystem verfügt über eine grundlegend andere Morphologie, greift jedoch Ideen des konventionellen Aufbaus auf und verfolgt denselben Zweck eines μικρός (klein) σκοπεῖν (betrachten).

Entgegen konventionellen Systemen verfügt das ultra-dünne Mikroskop über eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten Abbildungskanälen, die jeweils einen Teilbereich des Gesamtobjekts mit einem Gesamtabbildungsmaßstab von 1 übertragen und aneinander lückenlos anschließende Teilbilder generieren [1, 2]. Das aus drei Komponenten bestehende System ist spiegelsymmetrisch zur Mittelebene, die gleichzeitig die Zwischenbildebene des Objektivs darstellt (Abb. 1). Folglich sind die erste und dritte Baugruppe identisch, wodurch sich der Herstellungsaufwand deutlich reduziert. In der Baugruppe finden mikrooptische Asphären und Achromaten Verwendung, um chromatische als auch monochromatische Abbildungsfehler zu korrigieren und hohe Auflösungen bei möglichst großem Wellenlängenbereich zu realisieren.

Die laterale Ausdehnung der Arrays aus Abbildungsoptiken ist prinzipiell nicht begrenzt, so dass quasi beliebig große Objektflächen mit hoher Ortsauflösung ohne Notwendigkeit einer zeitlich sequenziellen Bildaufnahme (Scannen) betrachtet werden können. Die Multiaperturanordnung erlaubt damit zum einen eine deutliche Reduzierung der optischen Baulänge auf 5,3 mm und zum anderen die simultane Beobachtung großer Objektfelder mit einer Ortsauflösung von 5 µm.

2 *Prototyp der Abbildungsoptik eines ultra-dünnen Mikroskops im Größenvergleich zu einer Ein-Eurocent-Münze.*

3 *Vollständig assemblierter Demonstrator des ultra-dünnen Mikroskops unter Nutzung eines Vollformatbildwandlers mit einem Objektfeld von 36 × 24 mm² und 16 Megapixeln.*

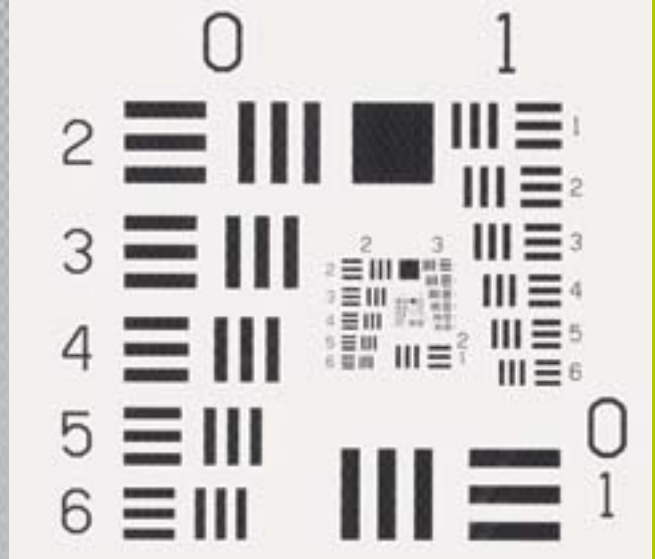
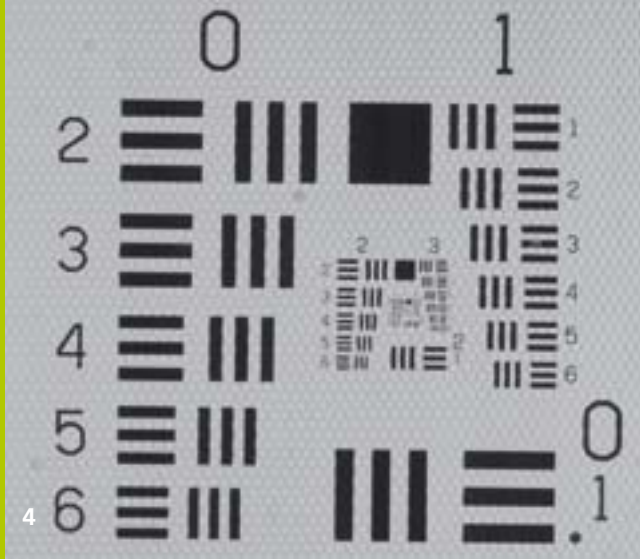
The newly-developed ultra-thin imaging system possesses a significantly different morphology but still uses principles of the conventional layout and is dedicated to the same goal of a μικρός (small) σκοπεῖν (watch).

In contrast to conventional systems, the ultra-thin microscope possesses a multitude of adjacently-placed neighboring imaging channels each transmitting a part of the overall object with unity imaging scale [1, 2]. The three-component setup has a symmetrical layout with respect to its intermediate image plane (Fig. 1). In consequence, the first and the third lens group are identical, leading to reduced fabrication costs. Micro-optical aspheres and achromatic doublets are used in the setup for correcting chromatic and non-chromatic aberrations in order to achieve high resolution at a broad wavelength spectrum.

Theoretically, the lateral extent of the array of imaging channels is not limited, allowing for examination of an almost arbitrary object field with high image fidelity and without the need for sequential imaging acquisition as in scanner optics. The advantages of the multi-aperture layout are thus twofold: first, it allows for a reduction of the total track length to 5.3 mm, and second, the simultaneous examination of large object field with a lateral resolution of 5 µm.

2 *Prototype of a completely assembled imaging optic of an ultra-thin microscope in comparison to a one-euro-cent coin.*

3 *Completely assembled demonstrator of the ultra-thin microscope using a full format image sensor with a light sensitive area of 36 × 24 mm² having 16 million pixels.*



Die Optimierung und Auslegung des Abbildungssystems erfolgte für Demonstratoren auf Basis eines Bildsensors mit einer aktiven Fläche von $6,6 \times 5 \text{ mm}^2$ (Abb. 2) und weiterhin eines Vollformatbildsensors mit einer aktiven Fläche von $36 \times 24 \text{ mm}^2$ (Abb. 3) [3]. Die sphärischen Linsen der Arrays wurden durch Reflow von strukturiertem Fotoresist und anschließender Abformung von UV-Polymeren unterschiedlicher Dispersion erzeugt. Die asphärischen Linsen wurden durch Ätztransfer mittels reaktiven Ionenätzens (RIE) in Kieselglas erzeugt und nachfolgend in UV-aushärtbare Polymere mittels wafer-basierter Replikationstechnik abgeformt. Abbildung 4 zeigt das Rohbild eines Testmusters nach Aufnahme mit dem ultra-dünnen Mikroskop. Es sind zwei Bereiche mit unterschiedlicher globaler Helligkeit zu erkennen, die durch eine fehlende Feinanpassung der Kameraelektronik an den Imagerchip hervorgerufen wird.

Weiterhin sind die einzelnen Kanäle der Abbildungsoptik an dem Abfall der Bildhelligkeit in jedem Kanal zu erkennen. Beide Effekte sind unabhängig vom betrachteten Objekt und können mithin durch einfache Bildnachbearbeitung eliminiert werden.

Die Möglichkeit, große Objekte mit hoher Ortsauflösung simultan abzubilden, sowie der geringe Bauraumbedarf eröffnen Anwendungsmöglichkeiten in Bereichen wie Medizintechnik, Oberflächen- und Dokumentenprüfung.

4 Links: Rohbild einer Teststruktur. Die unterschiedlichen Bildhelligkeiten zwischen rechter und linker Bildseite sind durch die Elektronik des Bildwandlers bedingt. Durch den Randabfall der Bildhelligkeit in jedem Kanal sind die Einzelkanäle des Aufbaus erkennbar. Rechts: Bild der Teststruktur nach einfacher Bildnachbearbeitung.

The optimization of the imaging system was done for two prototypes using imagers with a light sensitive area of $6.6 \times 5 \text{ mm}^2$ (Fig. 2) and a full format imager ($36 \times 24 \text{ mm}^2$, Fig. 3) [3].

Reflow of photo resist was used in order to fabricate spherical microlens arrays which were subsequently copied by UV-replication into polymer materials of different dispersion characteristics. The aspheric lenses were fabricated by transfer etching based on reactive ion etching (RIE) into silica and a subsequent wafer level based replication into UV-curing polymers. Figure 4 shows a raw image of a test chart imaged by the ultra-thin microscope. Two areas of different brightness can be recognized which are caused by the internal electronics of the imager.

Additionally, the individual channels can be identified due to the decreasing illumination at the margin of each imaging channel. Both effects can be completely eliminated using simple image processing software tools.

The opportunity for simultaneous image acquisition of a large object field with high spatial resolution in combination with an ultra-thin layout enables new applications in the fields of medical analysis, surface and document characterization.

4 Left: raw image of a test target. The areas of different brightness are caused by the internal electronics of the image sensor. The individual channels can be identified due to the decreasing illumination at the margin of each imaging channel. Right: both effects can be completely eliminated using simple image processing software tools.

Literatur/References

- [1] Hogle, W. B.; Dändliker, R.; Herzig, H. P.: Lens array photolithography, GB patent appl. 224080.3 (1992), U.S. pat. 08/114,732 (1993).
- [2] Völkel, R.; Eisner, M.; Weible, K. J.: Miniaturization of Imaging Systems, MST/MEMS for production engineering, mstnews 2/03.
- [3] Brückner, A.; Duparré, J.; Wippermann, F.; Leitel, R.; Dannberg, P.; Bräuer, A.: Ultra-compact close-up micro-optical imaging system, Proc. SPIE 7786, 77860A, 2010.

AUTHORS

Frank Wippermann

Andreas Brückner

Jacques Duparré¹

Robert Leitel

Wolfgang Buss

Bernd Höfer

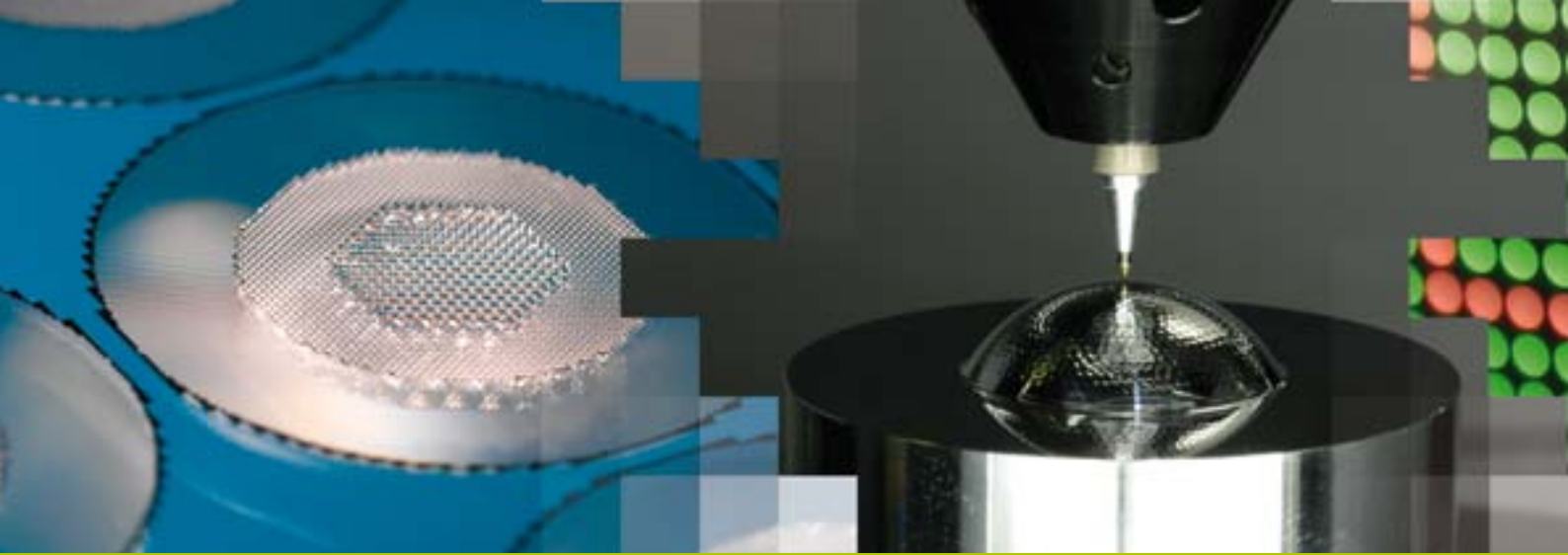
¹ *Pelican Imaging, Mountain View,
CA, USA*

CONTACT

Dr. Frank Wippermann

Phone +49 3641 807-437

frank.wippermann@iof.fraunhofer.de



TECHNOLOGIE

FÜR LÖSUNGEN MIT LICHT ...
... BEWÄHRTE PROZESSE VERBESSERN,
NEUE TECHNOLOGIEN ENTWICKELN.

TECHNOLOGY

ENHANCE PROVEN PROCESSES AND
DEVELOP NEW TECHNOLOGIES ...
... FOR SOLUTIONS WITH LIGHT.



Das Fraunhofer IOF und das IAP der FSU sind spezialisiert auf die industrienahe Entwicklung von Verfahren zur Funktionalisierung optischer Oberflächen, zur Fertigung optischer Komponenten, zur Integration optischer Systeme sowie für Bildgebung und Messtechnik.

Auf modernsten Maschinen und in Kombination mit neuester Messtechnik werden die technologischen Möglichkeiten erforscht, um den steigenden Anforderungen an optische Systeme Rechnung zu tragen. Ein Beispiel sind Streulicht-basierte Verfahren zur sensitiven, berührungslosen und prozessnahen Analyse von Oberflächen, Materialien und Beschichtungen.

Einen Schwerpunkt bildet die Ultrapräzisionsbearbeitung. Neben klassischen Produkten wie Spiegeln, Gittern oder Linsen können auch dreidimensionale mikrooptische Strukturen mit Diamantwerkzeugen in optischer Qualität geschnitten werden, z. B. auf Freiformoberflächen, wo lithographische Verfahren nur schwer einsetzbar sind.

Füge-, Montage- und Integrationstechnologien bilden die Basis für Funktionalität, Zuverlässigkeit und Präzision komplexer optomechanischer und opto-elektronischer Mikro- und Makrosysteme. Entsprechendes Know-how wird ständig weiterentwickelt, z. B. das Direct Bonding oder das Schweißen mittels ultrakurzer Laserpulse.

Für die Erzeugung komplexer und mehrlageriger mikrooptischer Module bestehen am Fraunhofer IOF herausragende Kompetenzen. Die Mikrooptik-Technologie beruht auf der wiederholten Verwendung lithografischer Strukturierung in Kombination mit Beschichtung und UV-Abformung.

Angepasste Entwicklungsplattformen, Technologien und Prozesse bilden die Basis für innovative Lösungen mit Licht.

The Fraunhofer IOF and the IAP at the Friedrich Schiller University specialize in the industry-oriented development of methods for the functionalization of optical surfaces, for the production of optical components, for the integration of optical systems as well as for imaging and measuring.

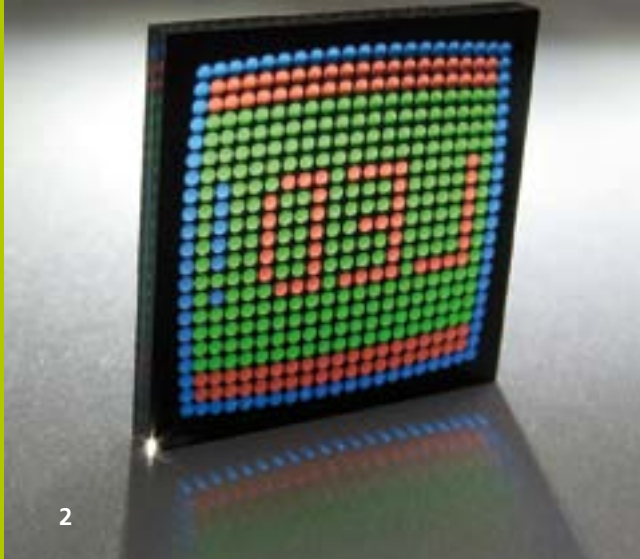
Technological possibilities are investigated and optimized on ultramodern machines and in combination with the latest metrology in consideration of the growing demands on optical systems. An example are procedures based on scattered light for the ultra-sensitive, contactless and process-oriented analysis of surfaces, materials and coatings.

One area of focus is the manufacture of optics components with the help of ultra-precision machining. Alongside traditional products such as mirrors, gratings or lenses, three-dimensional micro-optical structures can also be cut in optical quality with diamond tools, e.g. on freeform surfaces where lithographic procedures are difficult to use.

Joining, assembly and integration technologies form the basis for the functionality, reliability and precision of complex optomechanical and opto-electronic micro- and macrosystems. The required expertise is continuously augmented, e.g. direct bonding, a technology for joining flat solids by direct mechanical contact or welding with the use of ultra-short laser pulses.

Outstanding competence is available at the Fraunhofer IOF for the production of complex and multilayer micro-optical modules. The micro-optical technology is based on the repeated use of lithographic structuring in combination with coating and UV molding.

Adapted development platforms, technologies and processes form the basis for innovative solutions with light.



MULTILAGIGE MIKROOPTISCHE MODULE

MULTILEVEL MICRO-OPTICAL MODULES

Mit Massenanwendungen wie Mobiltelefon-Kameras ist Wafer-Level-Optik in den Fokus verstärkter Interessen gerückt; sie wird aber in verschiedenen Ausprägungen für viele weitere Anwendungen im Bereich Tele- und Datenkommunikation, Messtechnik/Sensorik, LED-Beleuchtung und Displays schon länger verfolgt. Eine am Fraunhofer IOF entwickelte Technologie zur Erzeugung zunehmend komplexer mehrlagiger Systeme [1] (Abb. 1) basiert auf der wiederholten Verwendung lithografischer Strukturierung in Kombination mit Beschichtung und UV-Abformung sowie auf der Kompatibilität dieser drei Schritte, wie im Folgenden erläutert wird.

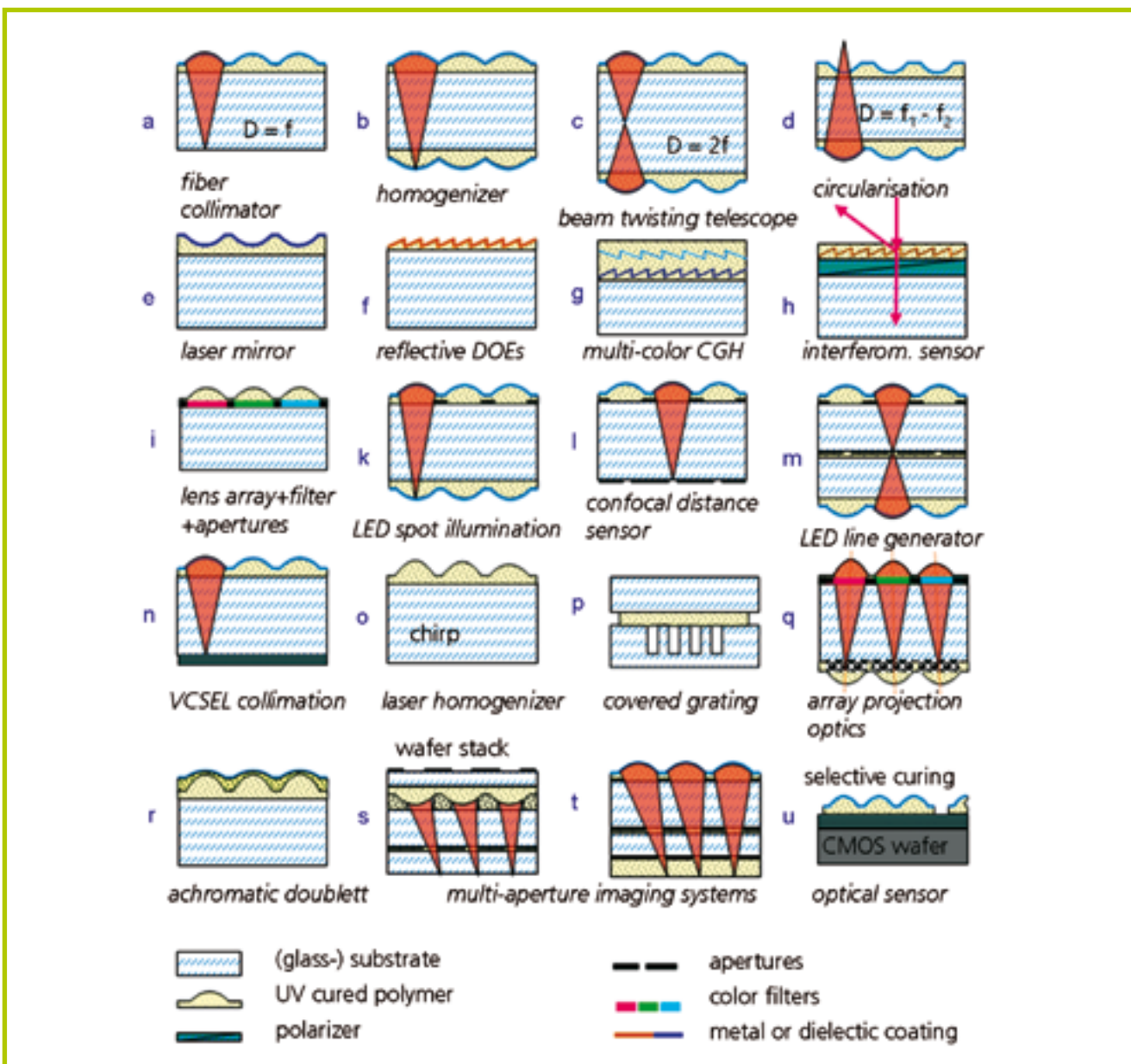
Lithographie wurde insbesondere für das Mastering optischer Funktionsflächen verwendet. Sie garantiert die präzise laterale Anordnung vieler Elemente auf einem Wafer, wie sie für gut zentrierte gestapelte Systeme unverzichtbar ist. Das Potenzial der UV-Abformung von Mikrolinsen und diffraktiven Elementen in dünnen Polymerschichten auf Glaswafern liegt in der hohen Präzision der erzeugten Oberflächen bei moderaten Kosten, der geringen lateralen thermischen Ausdehnung und der hohen Stabilität (z. B. Lötbarkeit). Mechanische Abstandhalter wurden ebenfalls durch UV-Abformung erzeugt.

Recently, high-volume applications like mobile phone cameras have sparked interest in wafer level optics; this technology, however, has been developing in different forms for a long time with a focus on application in telecoms and data communications, sensors and measurement, LED illumination, and displays. At Fraunhofer IOF, we developed a technology for the generation of increasingly complex multilevel systems (Fig. 1) based on coating, lithographic patterning, and UV molding, and on the compatibility of these steps, as shown in the following.

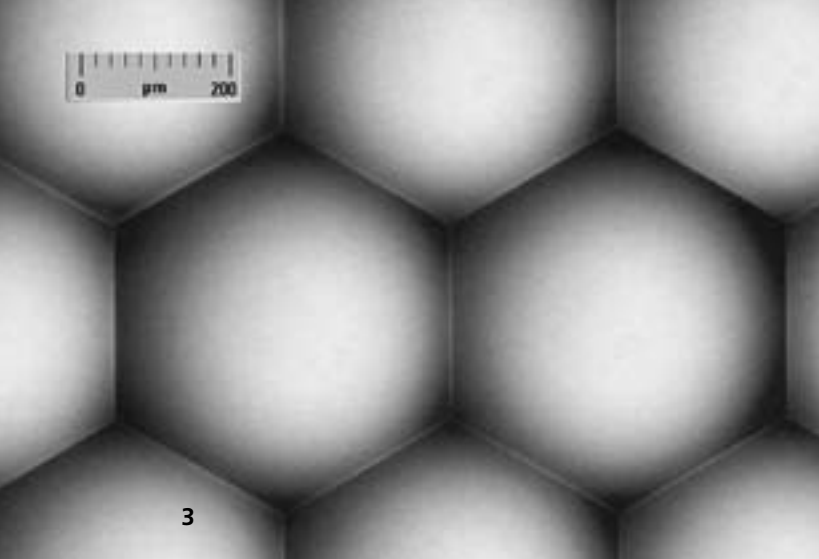
In our approach, we use lithography particularly for the mastering of optical functional surfaces. This assures the precise lateral position of a huge number of elements on a wafer, and thus the correct centering of each module. UV molding of microlenses or diffractive elements in a thin polymer layer on a glass substrate is characterized by high precision at moderate costs, low lateral CTE, and high stability (e. g. to reflow soldering). In addition, the process is capable of generating polymer spacers.

2 *Vereinzelt gechirptes Linsenarray mit Blenden und Farbfiltern für einen kompakten farbcodierten LED-Spot-Array-Generator.*

2 *Separated module consisting of a chirped lens array integrated with apertures and color filters for a color coded LED spot array generator.*



1 Beispiele realisierter mikrooptischer Module als schematischer Querschnitt. | Survey of realized micro-optical modules shown as schematic cross-section.



Die Einbeziehung von Blenden, Farbfiltern, Spiegeln und Entspiegungen in die Module erfolgte durch lithographisch strukturierte oder großflächige Metall-, dielektrische oder Polymerbeschichtungen. Beschichtungen und lithographische Strukturierung sind sowohl auf den Glassubstraten als auch auf den UV-gehärteten Polymerschichten möglich. Die Haftung der verschiedenen Schichten wurde über Materialauswahl, Silanisierung und Plasmaaktivierung sichergestellt. Durch die Verwendung eines Mask-Aligners (SUSS MA8e) für das Mastering von Linsenarrays, die Strukturierung der Beschichtungen sowie für die UV-Abformung und die Montage von Waferstapeln konnte eine der Photolithographie vergleichbare Präzision in allen Herstellungsschritten erreicht werden.

Abbildung 1 zeigt schematisch Beispiele für realisierte Module mit Angabe der jeweiligen Anwendung. Durch Photolithographie und Reflow erzeugte Mikrolinsenarrays konnten in vielfältigen Layouts realisiert werden, wobei für spezielle Anwendungen Position, Größe und Brennweite der Linsen unabhängig voneinander variiert wurden (statistische Arrays, »Chirp«, Abb. 1o, q, t, Abb. 2). Über spezielle Mastering-Technik wurden Linsenarrays ohne Totzonen (Abb. 3) oder hybride refraktiv-diffraktive Elemente generiert. UV-Abformung erlaubt das direkte Stapeln von Polymerebenen (achromatische Doublets, Abb. 1r) oder das Stapeln im Wechsel mit Beschichtung (RGB-Hologramm, Abb. 1g). Durch geeignete Wahl der Polymer- und Glaswaferdicken bei der Linsenabformung entstanden vergrabene Aperturblenden (Abb. 1k, l, m, s, t) oder ganze Blendenstapel zur Kanaltrennung in mehrkanaligen optischen Systemen (Abb. 1s, t).

3 *Mikroskopphoto eines lithographisch erzeugten Linsenmasters für LED-Beleuchtungsmodule.*

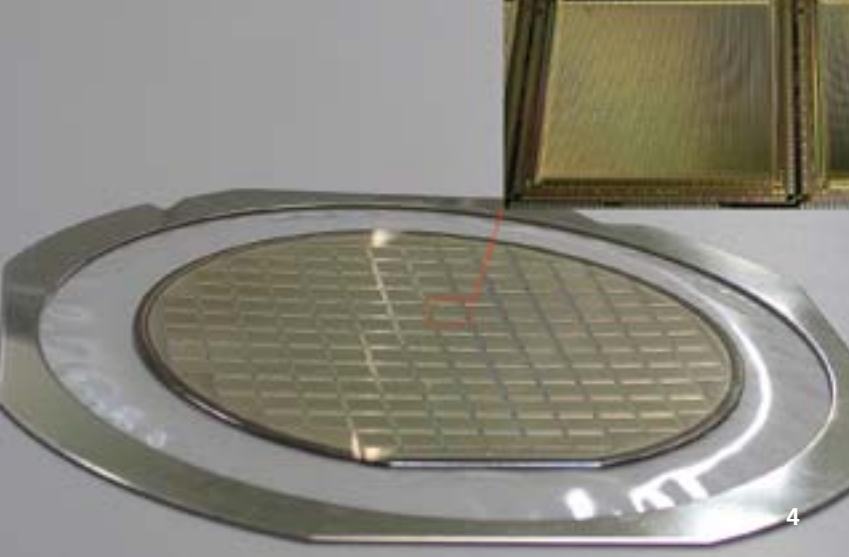
4 *Si-CMOS-Wafer mit UV-abgeformten Zylinderlinsenarrays zur Füllfaktorhöhung.*

The implementation of apertures, color filters, mirrors, and anti-reflection layers was realized by metal, dielectric, or polymer coatings. These films are possible on top of either the glass substrate or the molded polymer, either large-area or structured by means of lithography. Proper adhesion of layer stacks was assured by the choice of the different materials, and by silane or plasma treatment. A mask aligner (SUSS MA8e) was used in the mastering of lens arrays, in the patterning of coatings, and in the UV molding and the stacking of wafers, thus realizing a lateral and axial precision comparable to that of photolithography throughout the process.

A schematic cross-section of realized modules together with an indication of the application is shown in Fig. 1. Microlens arrays fabricated by photolithography and reflow were used in many different layouts. Size, position, and focal length of the lenslets were varied across the array for special applications ("statistical" arrangement, chirped arrays, Fig. 1o, q, t, Fig. 2). In addition, 100 % fill factor arrays (Fig. 3) and refractive-diffractive hybrids were generated in special mastering processes. UV-cured polymer layers can be stacked directly on top of each other (to generate achromatic doublets, Fig. 1r), or alternating with filter coatings (for RGB holograms, Fig. 1g). We generated buried apertures (Fig. 1k, l, m, s, t) or even stacks of diaphragms for channel separation in multi-aperture systems (Fig. 1s, t) by proper control of the polymer and glass thickness.

3 *Micrograph of a lens master for LED illumination generated by means of lithography.*

4 *Si CMOS wafer carrying UV-molded cylindrical microlens arrays for fill factor enhancement.*



Silizium- oder GaAs-Optoelektronik-Wafer konnten geeignet integriert werden (Abb. 1n, u), wobei durch selektive UV-Härtung Bondpads etc. freigehalten wurden (Abb. 4 und 1u). Beim Stapeln von Wafern mit Abstandshaltern aus UV-Polymer wurden Kavitäten im Inneren des Stapels erzeugt (Abb. 1s), z. B. für mehrlinsige Abbildungsoptiken. Eine Wafer-säge (Disco DAD3350) wurde erfolgreich eingesetzt, um am Ende der Herstellung separierte, auf Bluetape vorliegende Optikmodule zu erzeugen.

Zusammenfassend konnte anhand realisierter Beispiele die Integration mehrerer optischer Funktionen in lateral und axial sehr komplexen mehrlagigen mikrooptischen Modulen über Abformung im Wafermaßstab demonstriert werden. Aktuelle Anwendungsbeispiele sind LED-Beleuchtungsmodule und ultraflache Abbildungssysteme.

Literatur/References

- [1] Bräuer, A.; Dannberg, P.; Schreiber, P.: Wafer-level Technologie für multilagige Optikmodule, Photonik 3 (2010), S. 50–52.

Furthermore, silicon or GaAs optoelectronic wafer were implemented (Fig. 1n, u). Bond pads can be kept free of polymer in the process by selective UV-curing (Figs. 4 and 1u). Cavities within a wafer stack were created using UV-molded polymer spacers (Fig. 1s), which is essential in the wafer level generation of lens systems. Wafer stacks were successfully cut using a commercial wafer saw (Disco DAD3350), producing separated modules on blue tape for further processing.

In summary, we demonstrated the feasibility of our wafer scale replication approach for the generation of complex multilevel micro-optical modules. Current applications are in the field of LED illumination and ultra-thin imaging lenses.

AUTHORS

*Peter Dannberg
Antje Oelschläger
Sylke Kleinle
Simone Thau
Andre Matthes*

CONTACT

*Dr. Peter Dannberg
Phone +49 3641 807-420
peter.dannberg@iof.fraunhofer.de*



LOKALES SCHWEISSEN MIT ULTRAKURZEN LASERPULSEN

LOCAL WELDING USING ULTRASHORT LASER PULSES

Optische Bauelemente unterliegen heute vielfältigen Anforderungen, die oft nur durch eine hybride Integration erreicht werden können. Die verschiedenen Komponenten dabei langfristig stabil zu verbinden ist jedoch eine große Herausforderung. Techniken wie Ansprennen oder Bonden sind entweder nicht stabil genug oder erzeugen Probleme durch die notwendigen Temperschritte, wenn unterschiedliche Materialien gefügt werden sollen. Auch Zwischenschichten, wie beim Kleben oder Lötten notwendig, können Probleme bei der Langzeitstabilität oder der Hitzebeständigkeit aufweisen.

Eine neue Alternative bietet der Einsatz ultrakurzer Laserpulse, die zum lokalen Schweißen verwendet werden [1, 2]. Aufgrund der hohen Spitzenleistungen kommt es im Fokus zur nichtlinearen Absorption und damit zu einem definierten lokalen Energieeintrag [1]. Bei Einsatz hochrepetierender Lasersysteme kommt es durch den kurzen zeitlichen Abstand zwischen den Pulsen zur Wärmeakkumulation und damit zum lokalen Aufschmelzen des Werkstücks [2]. Dieser Schmelzprozess kann zum Schweißen genutzt werden, wenn der Laserfokus in die Grenzfläche zweier transparenter Werkstücke gelegt wird.

1 *Lokales Schweißen in Glas mittels ultrakurzer Laserpulse.*

2 *Glasbonden nach dem Fügeprozess.*

Today, optical elements have to fulfill versatile requirements which often can only be achieved by hybrid integration. The long-term stable bonding of these different components is a particular challenge. Techniques such as optical contacting or anodic bonding are either not stable enough or result in other problems due to the necessary annealing step. Even intermediate layers, as required by soldering or adhesive bonding, may induce problems with long-term stability or resistance to heat.

A new option is the application of ultrashort laser pulses applied for local welding [1, 2]. Due to the high peak power, nonlinear absorption occurs at the laser focus and leads to a defined local energy deposition [1]. By using high-repetition-rate laser systems, the short time between two subsequent pulses results in heat accumulation and hence in local melting of the material [2]. This melting process may be used as welding technique if the laser focus is placed at the interface between two transparent components.

1 *Local welding of glass with ultrashort laser pulses.*

2 *Bonded glass blanks after the laser welding.*



Durch die nur lokal auftretende Aufheizung des Materials im Fokusbereich werden thermische Spannungen im Material minimiert. Eine Bewegung des Fokus entlang vordefinierter Geometrien erlaubt einen maßgeschneiderten Fügeprozess, der potenziell auch gasdichte Verbindungen ermöglicht.

In bisherigen Untersuchungen an Kieselglas konnten wir Bruchfestigkeiten von bis zu 75 % des Volumenmaterials erreichen. Ebenso konnten feste Bindungen auch zwischen unterschiedlichen Gläsern realisiert werden. Dieses flexible, klebmittelfreie und anwendungsspezifische Fügeverfahren eröffnet damit neue Möglichkeiten in unterschiedlichen Bereichen wie Mikrooptik, Sensorik und Photovoltaik.

Literatur/References

- [1] Watanabe, W.; Onda, S.; Tamaki, T., Itoh, K.; Nishii, J.: Space-selective laser joining of dissimilar transparent materials using femtosecond laser pulses, *Appl. Phys. Lett.* 89, 021106/1-021106/3 (2006).
- [2] Miyamoto, I.; Horn, A.; Gottmann J.; Wortmann, D.; Yoshino F.: Fusion Welding of Glass Using Femtosecond Laser Pulses with High-repetition Rates, *J. Laser Micro. Nanoen.* 2, 57–63 (2007).

Due to only localized heating, thermal stress within the samples is minimized. A movement of the laser focus along specific routes allows tailored welding and the realization of potentially gas-proof bonds.

To date, we have been able to achieve a breaking stress of up to 75 % of the bulk material in fused silica. Furthermore, we realized strong welds even between different glasses. This flexible, adhesive-free, and custom-designed bonding method opens up new possibilities in different fields as microoptics, sensor technology, and photovoltaics.

AUTHORS

*Sören Richter*¹

*Sven Döring*¹

Stefan Nolte^{1,2}

Andreas Tünnermann^{1,2}

¹ *Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena*

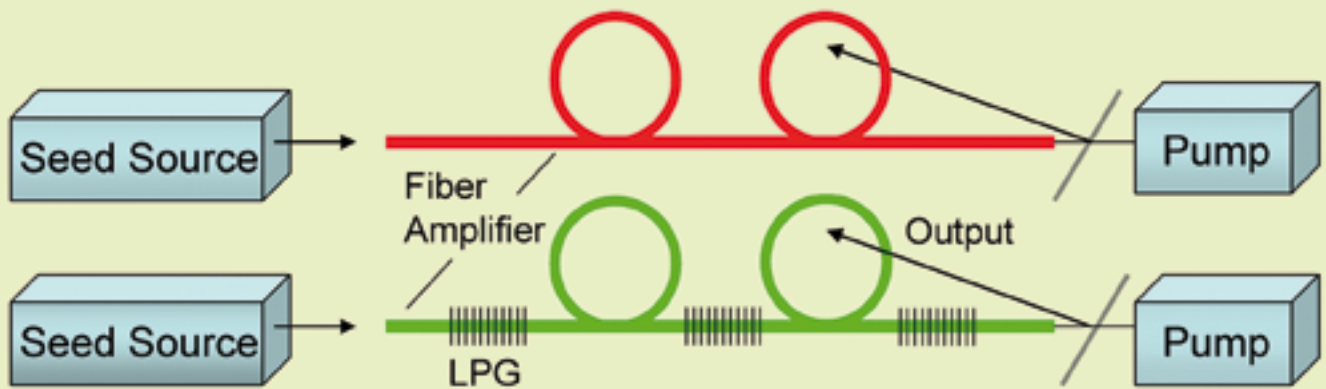
² *Fraunhofer IOF*

CONTACT

Prof. Dr. Stefan Nolte

Phone: +49 3641 947-820

stefan.nolte@uni-jena.de



1

UNTERDRÜCKUNG STIMULIERTER RAMAN-STREUUNG IN DC-FASERVERSTÄRKERN

SUPPRESSION OF STIMULATED RAMAN SCATTERING IN DC FIBER AMPLIFIERS

Master oscillator power amplifier (MOPA) Systeme basierend auf double clad (DC) Faserverstärkern sind zurzeit das Mittel der Wahl für die Erzeugung von beugungsbegrenzter Laserstrahlung hoher Durchschnittsleistung. Ein wesentliches Limit für weitere Leistungssteigerung ist die stimulierte Ramanstreuung (SRS). Die Möglichkeit, langperiodische Gitter (LPGs) entlang einer Faser anzuordnen, um die Stokes-Wellenlänge aus dem Kern in den Mantel zu koppeln, ist ein neuer und sehr vielversprechender Ansatz. Da eine Extinktion der Stokes-Wellenlänge von über 20 dB pro LPG recht einfach erzielt werden kann, würde ein LPG pro Meter Faser zu einer effektiven Dämpfung der Stokes-Wellenlänge von 20 dB/m führen. Das ist sehr viel mehr, als heutige beispielsweise spektral selektive Faserdesigns erreichen. Drei dieser LPGs wurden in einen DC-Faserverstärker integriert (Abb. 1). Abbildung 3 zeigt die Spektren, welche ohne und mit LPGs bei gleicher Ausgangsleistung aufgenommen wurden, wie in Abb. 1 beschrieben.

Master oscillator power amplifier (MOPA) systems based on double clad (DC) fiber amplifiers are the current source of choice for diffraction-limited laser systems with high average power. One of the main limits for further power scaling is stimulated Raman scattering (SRS). The possibility of lining up LPGs along a double-clad fiber amplifier to couple the Stokes wavelength out of the fiber core and into the cladding is a new and very promising approach. Since an extinction of more than 20 dB per LPG for the Stokes wavelength can be easily achieved, employing e. g. one LPG per meter in a fiber amplifier would result in an effective attenuation of the Stokes wavelength of 20 dB/m, which is much higher than that provided by any other spectrally selective fiber designs proposed to date. We have developed a setup to write LPGs in undoped double-clad fibers with low insertion losses at the signal wavelength by using a CO₂ laser. These LPGs were integrated into a DC fiber pulse amplifier (Fig. 1). Figure 3 shows the output spectra that were recorded without and with the LPGs as shown in Fig. 1.

1 *Schema des Testaufbaus für die Raman-Unterdrückung mit langperiodischen Gittern (LPGs).*

2 *Aufbau für das direkte Schreiben eines LPGs in eine Faser mit Hilfe eines CO₂-Lasers.*

1 *Scheme of test setup for Raman suppression with long period gratings (LPGs).*

2 *Setup for direct inscription of an LPG into a fiber by means of a CO₂ laser.*

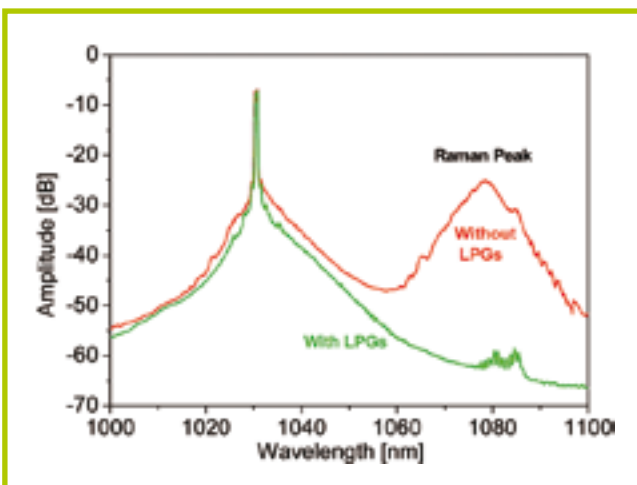


Die Spektren zeigen deutlich, dass der Leistungsanteil der Ramanstreuung mit Hilfe der LPGs bei gleicher Leistung beträchtlich reduziert werden konnte. Effektiv konnte die extrahierbare, Raman-freie Leistung des Faserverstärkers mit nur drei LPGs verdoppelt werden. Eine numerische Simulation zeigt exzellente Übereinstimmung mit dem experimentellen Befund. Aufgrund der geringen Signaldämpfung der LPGs ist die Verringerung der Verstärkereffizienz durch die LPGs vernachlässigbar.

LPGs stellen eine hochinteressante Möglichkeit zur Leistungssteigerung von Lasersystemen dar, die in naher Zukunft noch kompaktere und leistungsfähigere Hochleistungsfaserlaser für die industrielle Materialbearbeitung ermöglichen werden.

The spectra reveal clearly that the amount of power converted to the Raman wavelength could be reduced substantially at the same output power. We were able to effectively double the amount of extractable, Raman-free output power with this approach. A simulation solving the coupled rate equations for the amplifier setups shows excellent agreement with the experiment. The low signal insertion losses of the LPGs lead to a negligible decrease of amplifier efficiency.

LPGs are an interesting option for further power scaling of fiber laser systems, which will allow for even more compact and powerful highpower fiber lasers for industrial material applications in the near future.



3 Spektrum des gleichen Faserverstärkers ohne und mit LPGs bei gleicher Ausgangsleistung. | Output spectrum of the same fiber amplifier without and with LPGs at equal peak power.

AUTHORS

Dirk Nodop¹

Florian Jansen¹

Cesar Jauregui¹

Jens Limpert^{1,2}

¹ *Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena*

² *Fraunhofer IOF*

CONTACT

Prof. Dr. Jens Limpert

Phone +49 3641 947-811

jens.limpert@iof.fraunhofer.de



1

DIREKTES BONDEN: EINE »NEUE« BOND-TECHNOLOGIE FÜR GLAS

DIRECT BONDING: A "NEW" TECHNOLOGY FOR GLASS ASSEMBLY

»Direktes Bonden« beschreibt eine Technologie zum Fügen ebener Körper ohne Zusatzstoffe (Klebstoffe oder Lote), nur durch direkten mechanischen Kontakt. Das Verfahren – in Deutschland unter dem Begriff »Ansprenge« und in England als »fusion bonding« seit über 100 Jahren in der Optik bekannt – wurde oft als »Schwarze Kunst« angesehen, die stark von den handwerklichen Fähigkeiten des Ausführenden abhing und kaum zuverlässig funktionierte, also für die breite Anwendung nicht in Frage kam.

Systematische Untersuchungen an oxidierten Si-Wafern über die letzten zwei Jahrzehnte haben zu einem wesentlich besseren Verständnis der grundlegenden Bond-Mechanismen beigetragen und inzwischen zu einem reproduzierbaren Verfahren geführt [1]. Damit ist nun für das Fügen von Si-Wafern in MEMS-Anwendungen ein zuverlässiges Verfahren entstanden, in welchem eine möglichst geringe Rauheit der Oberflächen (besser als 1 nm RMS) und extrem ebene (oder passgenaue) Oberflächen der Bondpartner eine Schlüsselrolle spielen. Umfangreiche Reinigungs- und Aktivierungsprozesse gehen dem abschließenden Bondvorgang voraus, der gewöhnlich im Vakuum bei moderaten Temperaturen vollzogen wird.

"Direct Bonding" describes a technology of bonding planar mechanical parts without auxiliary materials (like glues or solders) just by mechanical contacting. The procedure – known for more than 100 years in optics as "Ansprenge" in Germany and "fusion bonding" in England – was often regarded as "black magic", strongly dependent on individual skills of opticians and barely reliable, i. e. not useful for consumer applications.

Systematic investigations with oxidized Si-wafers for around two decades have contributed to a better understanding of the basic mechanisms involved and a reproducible control of the bonding process [1]. Now, for Si-wafer bonding in MEMS applications, a reliable technology has emerged in which a low surface roughness (less than 1 nm Root-Mean-Square) and extremely flat (or otherwise conform) surface of the bonding partners play a decisive role. Extended cleaning and activation procedures now precede the final contacting step, which is generally executed in vacuum at moderate temperatures.

1 200-mm-Glas-Wafer auf massives Glas-Substrat gebondet.

1 200 mm glass wafer bonded to massive glass substrate.

Obwohl die oxidierten Oberflächen von Si-Wafern, die mit dieser Technologie erfolgreich gebondet werden, sich chemisch nicht wesentlich von Kieselglas (SiO_2 , fused Silica) unterscheiden, wird diese Technologie bisher kaum in der Optik angewandt. Dabei liegt ein großes Anwendungspotenzial vor:

- Verbindung von Einzelteilen mit »Endmaßgenauigkeit«,
- volle Transparenz (Bondfläche ist »unsichtbar«),
- kein Kriechen/Nachgeben unter mechanischer Spannung,
- kein Ausgasen bei erhöhter Temperatur und
- kein thermischer Verzug oder entspr. Verspannung bei Temperaturänderung (für identische Materialien).

In Vorbereitung auf anwendungsorientierte optische Systeme wurde zunächst das Direkte Bonden von dünnen (≤ 1 mm) SiO_2 -Wafern auf dicke (≤ 20 mm) SiO_2 -Substrate mit bis zu 200 mm Durchmesser untersucht. Wie Abb. 1 zeigt, konnten dabei hochwertige (transparente) Glas-Glas-Verbindungen mit nur geringem Fehleranteil (hauptsächlich am Rand, Fehlerfläche ≤ 3 %) erzielt werden. Auch eine beachtliche Bondfestigkeit ($\geq 0,6$ J/m²) wurde nachgewiesen [2].

Unsere Arbeiten werden vom BMBF/DRL unter dem Förderkennzeichen No. 50 YB 0814 unterstützt.

Literatur/References

- [1] Tong, Q.Y.; Gösele, U., Semiconductor Wafer Bonding, John Wiley & Sons, New York (1999).
- [2] Kalkowski, G.; Rohde, M.; Risse, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.: Direct Bonding of glass substrates, ECS Transactions 33 (2010) 349–355.

Although the oxidized surfaces of Si-Wafers successfully bonded with this technology are chemically not very different from fused silica (SiO_2 glass), use of this technology in optics is still unfamiliar, in spite of its great potential:

- bonding of individual parts "accurate to dimension",
- transparency (bonding area is "invisible"),
- no creep/weakening under mechanical stress,
- no out-gassing at high temperatures, and
- no thermal mismatch/stress with temperature (for identical materials).

In a first step toward application-related optical devices, direct bonding of thin (≤ 1 mm) SiO_2 wafers to thick (≤ 20 mm) SiO_2 substrates of diameter 200 mm was investigated. As can be seen in Fig. 1, high quality (visually transparent) glass-to-glass bonds were obtained with only minor defects (mainly at the edges, defect area ≤ 3 %). Further, considerable bonding strength (≥ 0.6 J/m²) was verified [2].

This work is supported by BMBF/DRL under contract No. 50 YB 0814.

AUTHOR

Gerhard Kalkowski

CONTACT

Dr. Gerhard Kalkowski

Phone +49 3641 807-337

gerhard.kalkowski@iof.fraunhofer.de



FREIFORMBEARBEITUNG VON MIKROOPTIKEN AUF GEKRÜMMTEN OBERFLÄCHEN

FREEFORM MANUFACTURING OF MICROOPTICS ON CURVED SURFACES

Die Herstellung akkurater Optikkomponenten für die Strahlformung, Abbildung und Beugung von Licht durch Ultrapräzisionsbearbeitung ist ein etabliertes Verfahren. Neben klassischen Produkten wie Spiegeln, Gittern oder Linsen können auch dreidimensionale mikrooptische Strukturen mit Diamantwerkzeugen hervorragend geschnitten werden. Viele Geometrien, die mit lithographischen Verfahren wie z. B. der Photo-, Grauton- oder Laserlithographie nur schwer oder gar nicht strukturierbar sind, können durch spanabhebende Verfahren mit kleinen Werkzeugen in optischer Qualität hergestellt werden [1].

Da diese dreidimensionalen Strukturen keine Rotationssymmetrie, sondern einen hochfrequenten asymmetrischen Anteil aufweisen, werden sie als Freiformgeometrien bezeichnet. Bei Abweichungen von der Rotationssymmetrie im Bereich einiger Mikrometer bis in den Millimeter-Bereich werden die optischen Flächen auf einer klassischen ultrapräzisen Drehmaschine mit einem zusätzlichen Hub des Bearbeitungswerkzeugs gefertigt. Das Diamantwerkzeug wird synchron zur Winkellage der späteren Freiformfläche gesteuert.

Accurate optical components for beam shaping, imaging, and diffraction of light are manufactured by established processes such as ultra-precision machining. In addition to fabrication of metal mirrors, lenses, or two-dimensional (2D)-gratings, diamond tools can also be engaged to create three-dimensional (3D) microoptical structures. As a result, geometries that are difficult or impossible to manufacture using 2½-D lithographic techniques such as photo-, gray tone or laser lithography might be fabricated using ultra-precision machining and small diamond tools with well defined cutting edges [1].

Since these 3D structures show no rotational symmetry but rather high frequency asymmetric features, they are sometimes called freeform geometries. The deviations from the rotationally symmetric reference features such as a sphere range from a few μm to mm or higher are manufactured on an ultra-precision lathe with additional strokes of the machining tool. The stroke of the diamond tool is synchronized to the angular position of the freeform surface in the machine's workpiece spindle.

1 *Optischer Freiformeinsatz für ein Spritzgusswerkzeug.*

1 *Optical free-form insert for an injection molding tool.*

Die Vor- und Rückbewegung erfolgt durch Ansteuerung der massiven Zustellachse selbst (Slow Tool Servo – STS), oder es wird eine zusätzliche redundante Kinematik mit geringem Massenträgheitsmoment (Fast Tool Servo – FTS) genutzt. Für hochfrequente Freiformanteile wird die FTS-Technologie bevorzugt eingesetzt.

Das in Abb. 1 dargestellte Linsenarray ist der Formeinsatz eines Spritzgießwerkzeugs, dessen abgeformtes Kunststofflinsenarray später als 3D-mikrooptisches abbildendes Element zum Transfer einer ebenen Maske auf eine gekrümmte Substratoberfläche mittels eines Lithographieprozesses dient [2]. Der Formeinsatz selbst enthält 1219 sphärische Einzellinsen, deren Scheitelpunkte auf einer gemeinsamen Kugeloberfläche angeordnet sind.

Um die 3D-Fläche mit dem hochfrequenten Freiformanteil in ein für die Bearbeitungsmaschine verständliches Format zu übertragen, wird die nicht stetig differenzierbare Oberfläche an 25,2 Millionen Punkten entwickelt. Anhand dieser Punktwolke wird eine Korrektur des Werkzeugradius vorgenommen, um der Schneidengeometrie Rechnung zu tragen. Unstetigkeiten des Schnittpfades aufgrund sprunghafter Änderungen des Anstiegs der Zielfläche werden durch eine Spline-Interpolation geschlossen. Die in Abb. 2 dargestellte Zustellung des FTS-Systems in Abhängigkeit von Winkel und Radius, überlagert von der gekrümmten Schnittbahn des rotations-symmetrischen Anteils, bildet so die Geometrieinformation zur Herstellung des mikrooptischen Bauteils.

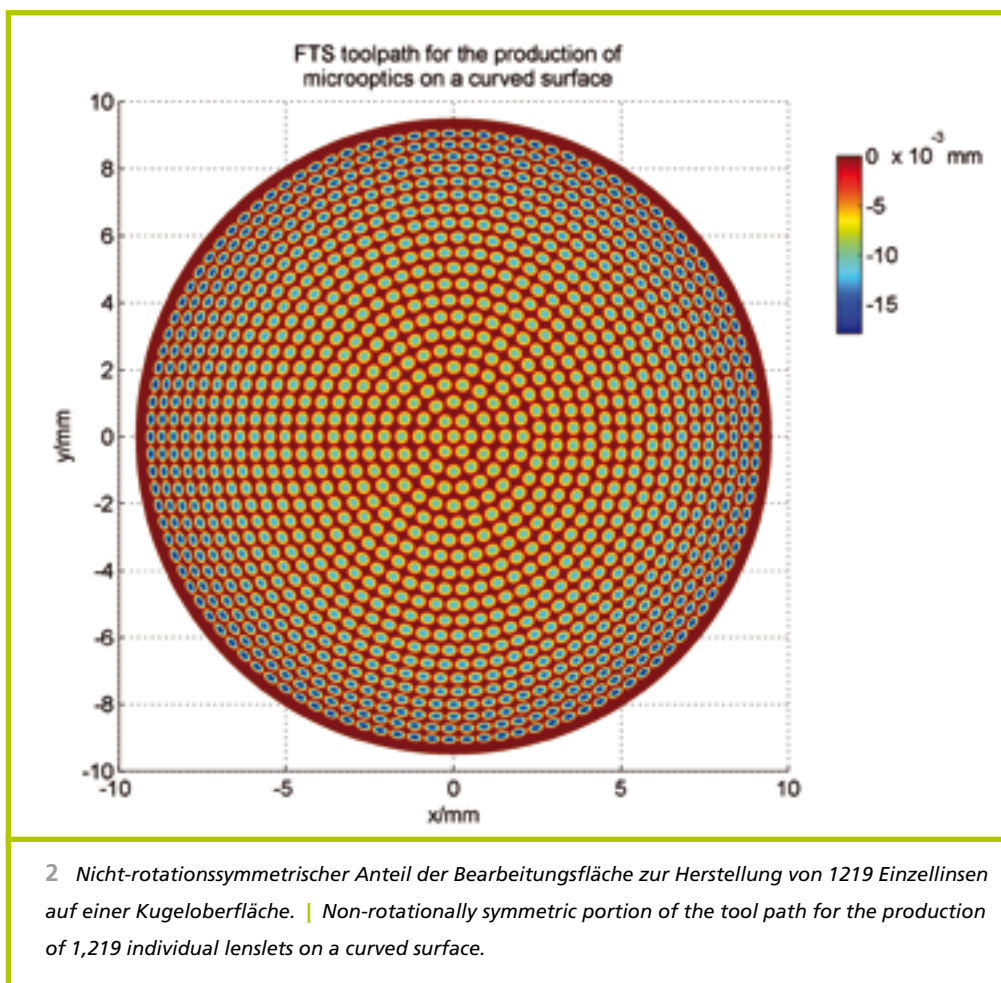
The forward and reverse motion is achieved either by the massive feed axis itself (Slow Tool Servo – STS), or an additional kinematics tool holder of low inertia (Fast Tool Servo – FTS). For high-frequency freeform geometries, the FTS technology is generally preferred.

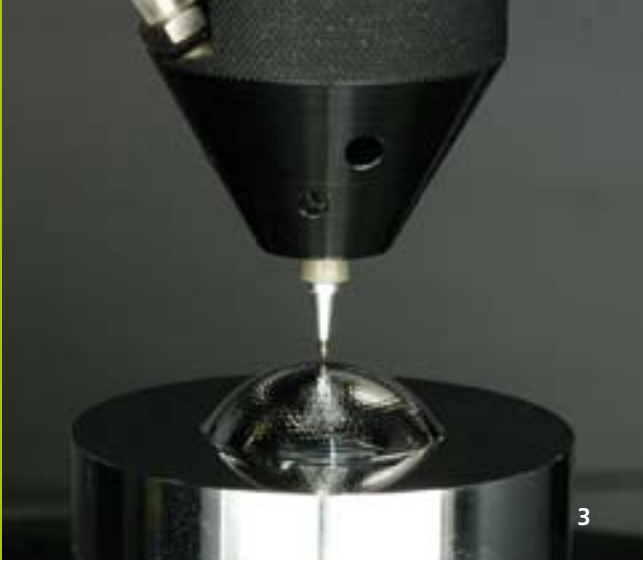
The lens array shown in Fig. 1 is a mold insert for an injection molding tool. The molded plastic lens array is used later as a 3D microoptical imaging element to transfer features from a plane mask onto a curved substrate using lithographic process [2]. The mold insert contains 1,219 single spherical lenslets whose vertices are arranged on a spherical surface.

To transfer the 3D surface data with the high-frequency freeform features into a numerical code for machining, the piecewise-differentiable surface is calculated on 25.2 million supporting points. Based on this point cloud, the tool radius correction is made to account for the cutting-edge geometry. Discontinuities of the cutting tool locations due to abrupt changes of the slope of the target surface are closed using a Spline interpolation. Superimposed with the curved trajectory of the rotationally symmetric portion the geometric information for the production of this microoptical component is established.

Die Bearbeitungszeit von nur 80 Minuten für einen Formein-
satz aus einer spritzgussfähigen Aluminiumlegierung sowie die
Oberflächenqualität von 4 nm (rms) zeigen die gute Einsetz-
barkeit des UP-Zerspanungsprozesses für die Strukturierung
dieser kleinen freiformbasierten Optiken. Die Replikation durch
Spritzgießen eröffnet die Möglichkeit der effizienten und
wirtschaftlichen Vervielfältigung der Geometrien.

The processing time of only 80 minutes for a high strength
Aluminum alloy injection-mold insert and the surface
quality of 4 nm (rms) show the good applicability of the
UP-machining process for the structuring of these small
free-form optics. Replication by injection molding opens up
the possibility to efficiently and economically manifold these
geometries.





Die Ultrapräzisionsbearbeitung schließt somit an den Grenzbereich verschiedener lithographischer Verfahren zum Strukturieren dreidimensionaler Mikrooptiken an. Die Arbeiten sind innerhalb einer Kooperation zwischen der Ohio State University und dem Fraunhofer IOF innerhalb des Programms »PROF.x²« entstanden.

Literatur/References

- [1] Scheiding, S.; Gebhardt, A.: Micro Lens Array Milling on Waferscale Using an Ultra Precision Lathe, OptoNet Workshop: Ultra Precision Manufacturing of Aspheres and Freeforms, 2010, Jena.
- [2] Yi, A.; Li, L.: Microfabrication on a curved surface using 3D microlens array projection, Journal of micromechanics and microengineering, 2009.

The ultra-precision machining thus is an adequate addition to lithography for structuring three-dimensional micro-optics. These solutions were developed within collaboration between the Ohio State University and the Fraunhofer IOF in the program "PROF.x²".

AUTHORS

Sebastian Scheiding
Allen Yi¹

¹ The Ohio State University
Industrial and Systems Engineering
USA

CONTACT

Dipl.-Ing. Sebastian Scheiding
Phone +49 3641 807-353
sebastian.scheiding@iof.fraunhofer.de

Dr. Ramona Eberhardt
Phone +49 3641 807-312
ramona.eberhardt@iof.fraunhofer.de

3 *Taktile Messung der Formabweichung des Freiformarrays mit einer UA3P von Panasonic. | Tactile form measurement of the microoptical lens array on a curved substrate with the UA3P from Panasonic.*



TABLE-TOP-MESSSYSTEM FÜR STREULICHT, R UND T – ALBATROSS-TT

TABLE TOP SYSTEM FOR R, T, AND LIGHT SCATTER MEASUREMENT – ALBATROSS-TT

Streulicht-basierte Verfahren sind berührungslos, robust sowie hochsensitiv und daher, neben Streuverlustmessungen, besonders zur effizienten Analyse von Oberflächen, Materialien und Beschichtungen geeignet. Aufgrund dieser Eigenschaften entstand ein dringender Bedarf an einem kompakten und hochsensitiven Table-Top-Messsystem für den prozessnahen Einsatz (Substrat Finishing, Beschichtung, etc.) in Forschung und Entwicklung.

Für dieses Applikationsfeld wurde am Fraunhofer IOF das Table-Top-System ALBATROSS-TT (3D Arrangement for Laser Based Transmittance, Reflectance and Optical Scatter Measurement – Table Top) konzipiert (Abb. 1), wobei es die wesentlichen Hauptmerkmale des komplexen Laborsystems ALBATROSS bei gleichzeitig kompakter Bauweise aufweist. In Kombination mit der vollständigen Hausung wird so der flexible Einsatz, geschützt vor möglichen externen Einflüssen wie Licht oder Kontaminationen aus dem Prozessumfeld, ermöglicht. Für ALBATROSS-TT wurde eine umfassende Mess- und Analysesoftware entwickelt. Hiermit werden automatische Messungen durchgeführt sowie die Ansteuerungen der Achsen zur Positionierung von Detektor und Einfallswinkel des Laserstrahls (532 nm) vorgenommen.

1 Streulichtmesssystem ALBATROSS-TT für ARS, BSDF (Bidirectional scattering distribution function), R und T.

Light scatter measurement is known to play an important role in optical metrology. Its capability is not only limited to scatter loss analysis but also represents a powerful quality assessment method for surfaces, materials, and coatings. Consequently, there is growing demand for highly sensitive and compact light scatter measurement instruments which can be operated in research and industry close to optical fabrication processes (substrate finishing, coating, etc.).

For this purpose, the table top system ALBATROSS-TT (3D Arrangement for Laser Based Transmittance, Reflectance and Optical Scatter Measurement – Table Top) was developed at the IOF (Fig. 1). We aimed at an instrument which is as compact as possible while largely maintaining most of the capabilities of our comprehensive but rather large laboratory system ALBATROSS. ALBATROSS-TT is completely housed to prevent the system from dust and light from possible nearby technological processes. The system is controlled by comprehensive software that allows automated measurements, flexible variation of the angle of incidence of the laser beam (532 nm), and positioning of the detection system.

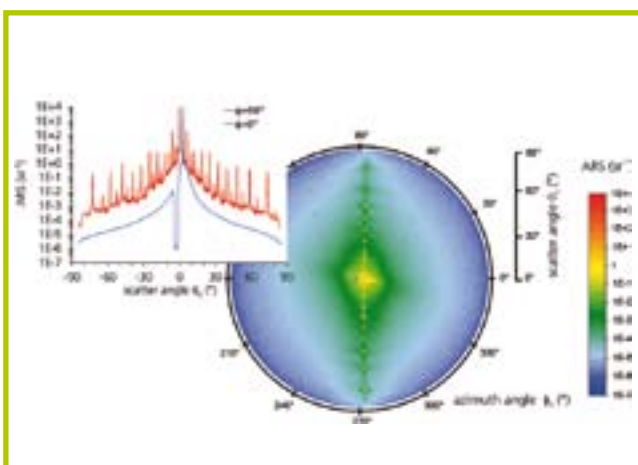
1 Measurement system ALBATROSS-TT for ARS, BRDF/BTDF (Bidirectional Reflectance/Transmittance Distribution Function).

Eine an die Messung angegliederte Auswahl zusätzlicher Analysefunktionen erlaubt die Berechnung des totalen Streuverlustes TS, des Leistungsdichtespektrums PSD oder der rms-Rauheit aus den gemessenen Daten. Der Dynamikbereich von 13 Größenordnungen und das niedrige ARS-Hintergrundlevel (Angle Resolved Scatter) von $3 \times 10^{-08} \text{ sr}^{-1}$ ermöglichen die Charakterisierung von technischen Oberflächen und Gittern bis hin zu optischen Schichten und superpolierten Oberflächen mit rms-Rauheiten $< 0,1 \text{ nm}$. ALBATROSS-TT wurde nach dem heutigen Stand der Technik mit einem 3D-Detektorpositioniersystem ausgestattet, das detaillierte Charakterisierungsmethoden wie Anisotropieanalyse von diamantgedrehten Oberflächen (Abb. 2) oder die Analyse komplexer Streuverteilungen von Gittern, Schichtsystemen oder Schmucksteinen ermöglicht.

Diese Arbeit wurde vom BMBF im Rahmen des Projekts »nanoreplica« gefördert (FKZ 03IP609).

Post-measurement analysis tools enable a deeper characterization like calculation of Total Scatter (TS), Power Spectral Density (PSD) function, or rms roughness. The dynamic range of 13 orders of magnitude combined with the low noise equivalent Angle Resolved Scatter (ARS) level of $3 \times 10^{-08} \text{ sr}^{-1}$ allows the characterization of a large variety of samples from rough technical surfaces, over gratings down to superpolished surfaces with an rms roughness of lower than 0.1 nm. The state-of-the-art 3D positioning system of the detector enables 3D-ARS measurements for anisotropy analysis of diamond turned surfaces (Fig. 2) or the characterization of rather complex light scatter distributions like gemstones, multilayer coatings, or gratings.

This work was supported by the BMBF within the project "nanoreplica" (FKZ 03IP609).



2 Streulichtverteilung eines diamantgedrehten Aluminiumsubstrats mit Nickelbeschichtung. | Scatter distribution of a diamond turned Al substrate with a Ni topcoat.

AUTHORS

Alexander von Finck

Matthias Hauptvogel

Angela Duparré

CONTACT

Dr. Angela Duparré

Phone +49 3641 807-216

angela.duparre@iof.fraunhofer.de



ENTSPIEGELUNG VON SAPHIRGLAS

ANTIREFLECTIVE COATINGS ON SAPPHIRE

Saphir weist eine hohe Härte auf und ist transparent in einem Spektralbereich von 250–5000 nm. Daher eignet er sich gut für medizinische Geräte und als Deckglas hochwertiger Uhren. Aufgrund des hohen Brechungsindex (1,77 @ 500 nm) reflektiert Saphir jedoch stärker als einfaches Mineralglas. Entspiegelungsschichtsysteme können die Reflexion verringern, müssen jedoch an die Umgebungsbedingungen der jeweiligen Anwendung angepasst werden.

Die Sterilität medizinischer Geräte wird durch Autoklavieren gewährleistet. Dieser Prozess führt bei Mineralglas bereits nach kurzer Zeit zu Glaskorrosion. Daher wird bei bildgebenden Geräten wie Endoskopen auf Saphir als Fenstermaterial zurückgegriffen. Zusammen mit der Firma Olympus Winter & Ibe GmbH wurde eine Entspiegelung für Saphir entwickelt und erfolgreich auf ihre Langlebigkeit beim Autoklavieren getestet. Im Rahmen des von der AiF geförderten Forschungsprojekts »Material- und Designoptimierungen für hochstabile AR-Schichten auf Saphirglas« [1] wurde in Zusammenarbeit mit mehreren Industriepartnern untersucht, wie sich die Kratz- und Abriebfestigkeit von Entspiegelungen auf Saphirsubstraten erhöhen lässt. Bereits die Abscheidungsparameter der einzelnen Schichtmaterialien beeinflussen das Systemverhalten. Eine Abscheidung bei starker Plasmastützung und niedrigen Abscheideraten brachte die besten Ergebnisse.

Sapphire is of high hardness and transparent in a spectral region from 250–5000 nm. This makes it well suited for medical equipment and high-grade watch glasses. Due to its high refractive index (1.77 @ 500 nm), sapphire has a higher reflection than ordinary mineral glass. Antireflective coatings can reduce the reflection, but they have to be modified to the ambient conditions of the specific application.

Autoclave treatment ensures the sterility of medical equipment. This process rapidly leads to glass corrosion in mineral glasses. Sapphire is therefore used as window material for imaging devices like endoscopes. In collaboration with Olympus Winter & Ibe GmbH, an antireflective coating on sapphire was developed and successfully tested for its longevity with regard to autoclave treatment. In collaboration with multiple industrial partners, research was conducted on how the scratch and abrasion resistance of antireflective coatings on sapphire can be improved. This research was done in the context of the project "Material- und Designoptimierungen für hochstabile AR-Schichten auf Saphirglas" [1] funded by the AiF. The deposition parameters for the different layer materials alone influence the behavior of the system. A deposition with strong plasma assistance and slow deposition rates yielded the best results.

1 *Glashütte Original Senator Chronometer.*
© *Glashütter Uhrenbetrieb GmbH.*

1 *Glashütte Original Senator Chronometer.*
© *Glashütter Uhrenbetrieb GmbH.*

Es konnte gezeigt werden, dass verschiedene hochbrechende Materialien trotz ähnlicher Werte für Härte und E-Modul deutlich unterschiedliche Kratzfestigkeiten im AR-System hervorrufen. Auch die Gesamtsystemdicke beeinflusst die Kratzfestigkeit erheblich. Für Systemdicken von rund 500 nm wurden hier die besten Werte erzielt. Bei bestimmten Materialkombinationen lässt sich die Kratzfestigkeit durch eine thermische Nachbehandlung weiter steigern. Für die Glashütter Uhrenbetriebe GmbH wurden im Rahmen des Projekts Demonstratoren beschichtet, deren Kratzfestigkeit die der bisher verwendeten AR-Systeme um 25 % übersteigt.

It could be shown that different materials, despite similar values regarding their hardness and elastic modulus, cause significantly different scratch resistances in the AR system. The total coating thickness also influences the scratch resistance considerably. The best results were obtained for thicknesses of about 500 nm. For specific material combinations, the scratch resistance could be increased by thermal annealing. In the course of the project, demonstrators were produced for Glashütte Uhrenbetriebe GmbH. These demonstrators surpassed the scratch resistance of the previously used AR coatings by 25 %.

Literatur/References

[1] Projekt MARS im Programm zur Förderung der »Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF)« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die AiF finanziert, AiF-FV-Nr. 15693 BR.

Partner: ASMEC GmbH, Cotec GmbH, Frank Optic Products GmbH, Fraunhofer IOF, Glashütte Uhrenbetriebe GmbH, Innowep GmbH, Layertec GmbH, Leybold Optics GmbH, Optics Balzers Jena GmbH, Sentronic GmbH.

AUTHORS

Christoph Gödeker

Ulrike Schulz

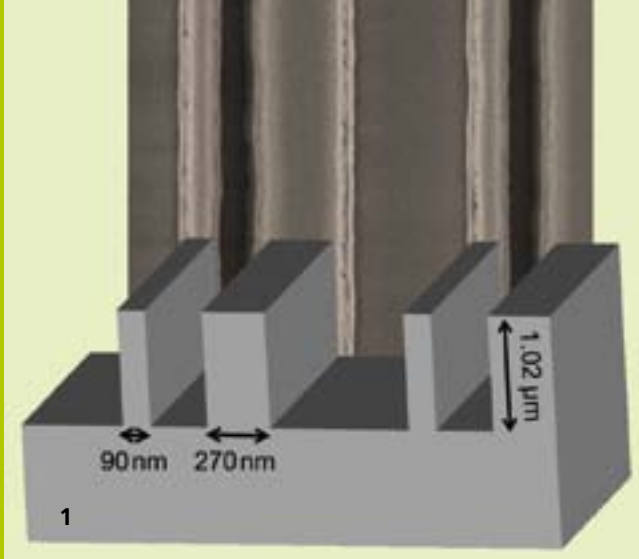
Norbert Kaiser

CONTACT

Christoph Gödeker

Phone +49 3641 807-374

christoph.goedeker@iof.fraunhofer.de



NEUE GITTER FÜR LASERANWENDUNGEN

NOVEL GRATINGS FOR LASER APPLICATIONS

Auch heute, knapp 200 Jahre nach den wegweisenden Experimenten von Joseph von Fraunhofer [1], haben optische Gitter nicht an Attraktivität verloren. Immer noch werden bei Gittern interessante Phänomene neu entdeckt und untersucht. Der Anwendungsbereich optischer Gitter ist daher äußerst breit und erstreckt sich von der Spektroskopie, über Strahlteiler bis hin zur Manipulation ultrakurzer Laserpulse. Beugungsgitter sind heute in einer Vielzahl industrieller Anwendungen vertreten. Triebfeder dieser anhaltenden Entwicklung ist die stetige Optimierung der Herstellungs- und Design-Möglichkeiten.

Die Entwicklung der modernen Elektronenstrahlithographie, besonders in Bezug auf Auflösung und Genauigkeit, ermöglicht heute den Einsatz effektiver Medien in Gittern für reale Anwendungen. Ein gutes Beispiel hierfür liefert das im Rahmen des EU-Projekts SMARTIEHS [2] realisierte Gitter (Abb. 1). Es dient der Lichteinkopplung in ein integriertes Laserinterferometer, wofür der einfallende Strahl definiert abgelenkt werden muss. Zur Erfüllung der Effizienzvorgaben ist ein Blaze der Gitterstruktur notwendig, welcher durch Anpassung des effektiven Brechungsindex einer binären Sub-Wellenlängen-Struktur realisiert wurde.

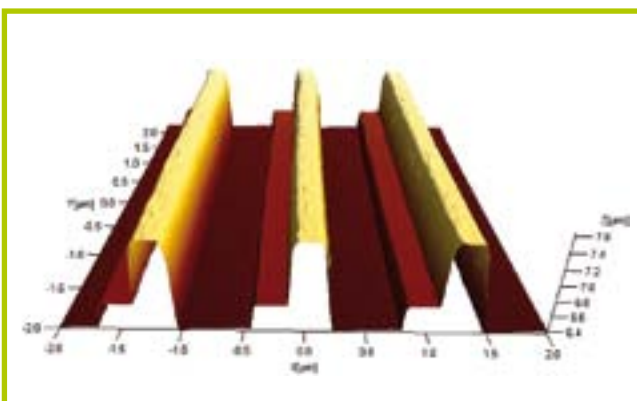
Almost 200 years after the pioneering experiments by Joseph von Fraunhofer, [1] optical gratings have not lost any of their attraction. Even today, exciting grating effects are being discovered and investigated. The field of grating applications stretches from dispersing elements in spectrometers via beam-splitting elements to pulse-compression gratings for the manipulation of ultrashort laser pulses. As a result, nowadays optical gratings can be found in a huge number of industrial applications. The ongoing development of this field is driven by the steady improvement of fabrication and design capabilities.

The developments in modern lithographic technologies, especially those concerning resolution and accuracy, paved the way for the use of effective media and their combination with gratings in real applications. This is readily demonstrated by the grating realized in the framework of the EU project SMARTIEHS [2], shown in Fig. 1. The grating serves as incoupling grating for an integrated laser interferometer for which the incident beam must be deflected by a specified angle. To meet the efficiency requirements, the grating structure requires a blaze which is realized by tailoring the effective refractive index by the use of binary sub-wavelength structures.

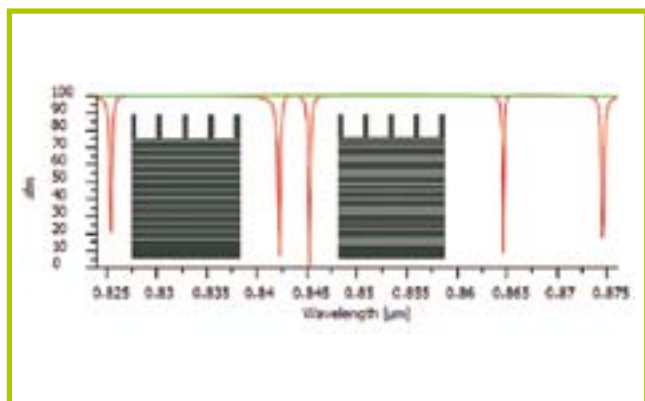
¹ Gitterstruktur und REM-Aufnahme des SMARTHIES-Einkoppelgitters. Zur Optimierung der Effizienz wurde ein Blaze mittels binärer Sub-Wellenlängen-Strukturen realisiert. | Grating structure and SEM picture of the incoupling SMARTHIES grating. For optimal efficiency a blaze was realized by the use of binary sub-wavelength structures.

Das Gitter besteht somit aus zwei Stegen unterschiedlicher Breite innerhalb der Periode von 1 μm . Der dünnere Steg ist dabei nur 90 nm breit, was in Kombination mit der erforderlichen Gittertiefe eine signifikante Herausforderung für die Fertigungstechnologie darstellt. Dank der am »Center for Advanced Micro- and Nano-Optics« (CMN-Optics) [3] zur Verfügung stehenden Technologien und Erfahrungen konnte das beschriebene Element erfolgreich mit einer Effizienz von 63 %, nur knapp unter der theoretischen Vorhersage von 65 %, realisiert werden.

The grating therefore consists of two ridges of different width within a 1 μm period. The optimal depth of the grating is about 1 μm , which – in combination with a width of only 90nm for the thinnest ridge – is very challenging from the technological point of view due to the very high aspect ratio of around 11. Thanks to the facilities and experiences combined at the "Center for Advanced Micro- and Nano-Optics" (CMN-Optics), [3] the element was successfully realized with an efficiency of about 63 %, approaching the theoretical estimate of 65 %.



2 AFM-Aufnahme eines mittels des am CMN-Optics entwickelten Prozesses zur Mehrfachstrukturierung realisierten Multilevel-Gitters. Das im Design angestrebte Profil wird nahezu perfekt reproduziert. | AFM scan of a blazed three-level grating manufactured using the modified multistep binary fabrication technology. The designed profile is almost perfectly reproduced.



3 Beugungseffizienzen der Gitter mit periodischem (rote Kurve) und aperiodischem Reflektordesign. In der Abbildung der Gitterstruktur symbolisieren hellgraue Bereiche SiO_2 , dunkelgraue Bereiche Ta_2O_5 -Schichten. | Diffraction efficiencies of the gratings with periodic (red) and optimized aperiodic reflector stack (green). In the insets light gray coloring indicates SiO_2 , dark gray coloring Ta_2O_5 layers.

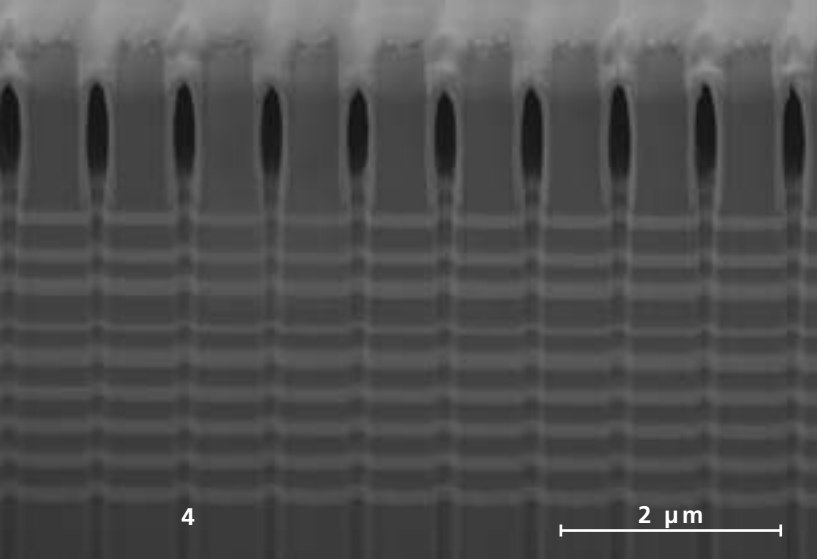


Abbildung 2 zeigt ein Blaze-Gitter mit drei Höhenstufen. Mit Hilfe eines am CMN-Optics entwickelten Ansatzes konnte das bei der Herstellung derartiger Multilevel-Strukturen auftretende Problem mangelnder Überdeckungsgenauigkeit der in zwei unabhängigen Strukturierungsschritten erzeugten Ebenen gelöst werden. Die vermessenen Beugungseffizienzen stimmen daher nahezu perfekt mit den Simulationen überein [4].

Für einige Anwendungen ermöglichen Reflexionsgitter als Kombination von Beugungsgitter und reflektierendem Element die Ausnutzung zusätzlicher Freiheitsgrade. Für eine möglichst hohe Beugungseffizienz sind dielektrische Spiegelschichtsysteme als Reflektor präferiert, da sie ohne nennenswerte Absorption gestaltet werden können. Nahe dem Littrow-Winkel können mit einem derartigen Aufbau Beugungseffizienzen von annähernd 100 % erreicht und zudem eine spektrale Bandbreite von einigen 10 nm zusammen mit einer von der Eingangspolarisation unabhängigen Funktion garantiert werden. Als problematisch erweist sich jedoch das Auftreten sogenannter guided-mode Resonanzen, welche sich, wie in Abb. 3 dargestellt, in Form scharfer Einbrüche der Effizienz an bestimmten Wellenlängen bemerkbar machen. Derartige Resonanzen können zwar zuverlässig durch eine signifikante Reduktion der Gitterperiode verhindert werden, allerdings ist dies oft nicht mit der Anwendung vereinbar. Als alternativen Ansatz nutzen wir daher die strukturellen Freiheitsgrade des Reflexionsschichtsystems aus und optimieren Gitter und Schichtstapel gemeinsam, wobei das Schichtsystem von der üblicherweise genutzten Struktur periodischer Doppelschichten abweichen darf.

Another example of a blazed nanostructure is the three-level grating shown in Fig. 2. For its fabrication, the standard process, i. e. multistep binary technology, has been modified in order to achieve greater accuracy in the final profile. The diffraction measurements are in perfect agreement with the simulation, i. e. the efficiency in the first order is about 86 %, [4] which is remarkable given the normal incidence and a wavelength to period ratio in the resonance domain.

Additional freedom for the design can be exploited by using the reflected diffraction orders generated by a grating-mirror combination. For the sake of efficiency, dielectric mirrors (Fig. 3) are preferred due to their low losses. Using such a setup, almost 100 % diffraction efficiency, a spectral bandwidth of several 10nm, and polarization-independent performance can be achieved. However, the design and application of multilayer dielectric gratings (MDG) are challenged by the occurrence of guided mode resonances (GMR) which become noticeable as singular drops in the diffraction efficiency (Fig. 3). While GMRs can be removed by a significant reduction of the grating period, such an approach is often incompatible with the application requirements. As a different approach, we therefore exploit all structural degrees of freedom by a combined optimization of grating and layer stack, going beyond the common design of stacked double layers.

Figure 3 shows the performance of the optimized MDG. Clearly, no GMR dips are present in the spectral range of interest, and a diffraction efficiency of more than 98 % is achieved independent of the incident polarization.

4 Querschnitt eines Reflexionsgitters mit aperiodischem Reflektordesign. Für die Präparation des Querschnitts mit Hilfe eines fokussierten Ionenstrahls wurde das Gitter mit Platin bedeckt. | Cross-section of a reflection grating with aperiodic reflector-stack layout. The grating was covered with platinum in order to prepare the cut using a focused ion beam.

Abbildung 3 demonstriert den Erfolg des gewählten Ansatzes, mit dessen Hilfe – unter Beibehaltung einer polarisations-unempfindlichen Beugungseffizienz von mehr als 98 % – die Resonanzen vollständig aus dem für die Anwendung relevanten Spektralbereich entfernt werden konnten. Abbildung 4 zeigt den Querschnitt eines Reflexionsgitters mit aperiodischem Reflektordesign. Vergleichbare Gitter wurden mit führenden Industriepartnern für verschiedene Anwendungen erfolgreich realisiert.

Figure 4 shows a cross-section of a reflection grating with aperiodic reflector-stack layout, prepared by a focused ion beam. Similar gratings have been successfully realized with various industrial partners for different applications.

Literatur/References

- |1| Fraunhofer, J.: Kurtzer Bericht von den Resultaten neuerer Versuche über die Gesetze des Lichtes, und die Theorie derselben. Ann. Phys. 74, 337–378 (1823).
- |2| Zeitner, U. D.; et al.: Nano-optical grating interferometer for SMART InspEction system High Speed and multifunctional testing of MEMS and MOEMS (SMARTIEHS), EOS Annual Meeting 2010 (EOSAM 2010).
- |3| www.cmn-optics.org.
- |4| Oliva, M.; et al.: Highly efficient three-level blazed grating in the resonance domain. Optics Letters 35, 2774 (2010).

AUTHORS

Frank Fuchs
Maria Oliva
Torsten Harzendorf
Tino Benkenstein
André Matthes
Dirk Michaelis
Ernst-Bernhard Kley¹
Uwe Detlef Zeitner

¹ *Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena;
Fraunhofer IOF*

CONTACT

Dr. Frank Fuchs
Phone +49 3641 807-434
frank.fuchs@iof.fraunhofer.de

Dr. habil. Uwe Detlef Zeitner
Phone +49 3641 807-403
uwe.zeitner@iof.fraunhofer.de



GRUNDLAGEN

FÜR LÖSUNGEN MIT LICHT ...
... NEUE MATERIALIEN ERFORSCHEN
UND NEUE PHÄNOMENE ENTDECKEN.

FUNDAMENTALS

INVESTIGATE NEW MATERIALS
AND DISCOVER NEW PHENOMENA ...
... FOR SOLUTIONS WITH LIGHT.



Grundlagenforschung im Bereich der Photonik beflügelt nicht nur die Phantasie, sondern verschiebt auch die Grenzen des Machbaren und ist langfristig die Basis für erfolgreiche Innovationen.

Ein Beispiel für die Verknüpfung von anwendungsorientierter Forschung und Grundlagenforschung ist die Entwicklung von Metamaterialien, künstlich hergestellten optischen Materialien mit besonderen optischen Eigenschaften wie sie in der Natur nicht vorkommen. Dies reicht von Farbeffekten durch plasmonische Resonanzen über maßgeschneiderte Ausbreitungseigenschaften des Lichts bis hin zu Metamaterialien mit negativem Brechungsindex.

Ultrakurze Laserpulse mit sehr hohen Pulsspitzenleistungen und Pulsdauern von weniger als einer Nanosekunde eröffnen neue Anwendungsgebiete für den Laser. So ist die Konturierung von Diamantwerkzeugen für die Ultrapräzisionsbearbeitung mittels ultrakurzer Laserpulse eine Alternative zu herkömmlichen aufwendigen mechanischen Aufbereitungsverfahren.

In der Beschichtung von optischen Komponenten haben sich Prozessplasmen als wertvolle Hilfsmittel für die Herstellung funktionaler Schichtsysteme erwiesen. Voraussetzungen dafür sind ein tiefgreifendes Verständnis von Schichtbildungsprozessen und die Erforschung der Plasmaeinwirkung auf die Schichteigenschaften.

Die enge Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer IOF und dem Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität sichert den wissenschaftlichen Vorlauf und schafft die Voraussetzung für zukünftige Lösungen mit Licht.

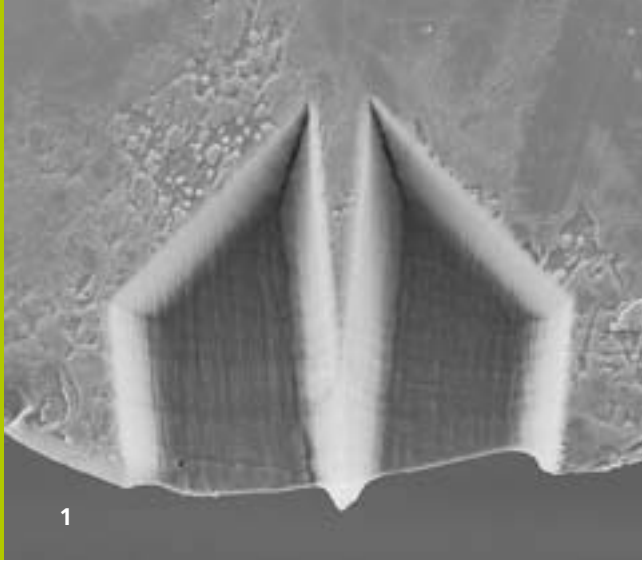
Basic research in the field of photonics does not just inspire the imagination but also pushes back the boundaries of the possible and in the long term is the basis for successful innovation.

One example for the linking of applied and basic research is the development of metamaterials, artificially created optical materials with special optical properties not found in nature. These range from color effects with plasmonic resonances via tailored light propagation properties all the way to metamaterials with a negative index of refraction.

Ultrashort laser pulses with very high peak pulse outputs and pulse lengths of less than one nanosecond open up new application areas for the laser. The contouring of diamond tools for ultra-precise machining with the use of ultra-short laser pulses is an alternative here to conventional, complex mechanical processing methods.

In coating optical components, process plasmas have proven to be a valuable aid in the manufacture of functional coatings. This requires an in-depth understanding of coat formation processes and the investigation of the effects of plasma on the coating properties.

The close cooperation between the Fraunhofer IOF and the Institute of Applied Physics at the Friedrich Schiller University ensures the scientific lead work and creates the precondition for future solutions with light.



LASERSTRUKTURIERUNG POLY- UND EINKRISTALLINER DIAMANTWERKZEUGE

LASERSTRUCTURING OF POLY- AND MONOCRYSTALLINE DIAMOND TOOLS

Seine hervorragende thermische Leitfähigkeit und die extreme Härte machen Diamant zum bevorzugten Werkzeugmaterial zur Ultrapräzisionsbearbeitung diverser Metalle, Metalllegierungen, Kunststoffe sowie Halbleitermaterialien. Diese Eigenschaften erschweren allerdings in ebengleicher Weise die Herstellung sowie Aufbereitung der Werkzeuge erheblich. So ist zum einen das Spektrum an Schneidgeometrien technologisch beschränkt, zum anderen bedarf es eines hohen Zeit- und Materialeinsatzes, die Werkzeuge mit herkömmlichen, abrasiven Verfahren schleifend herzustellen.

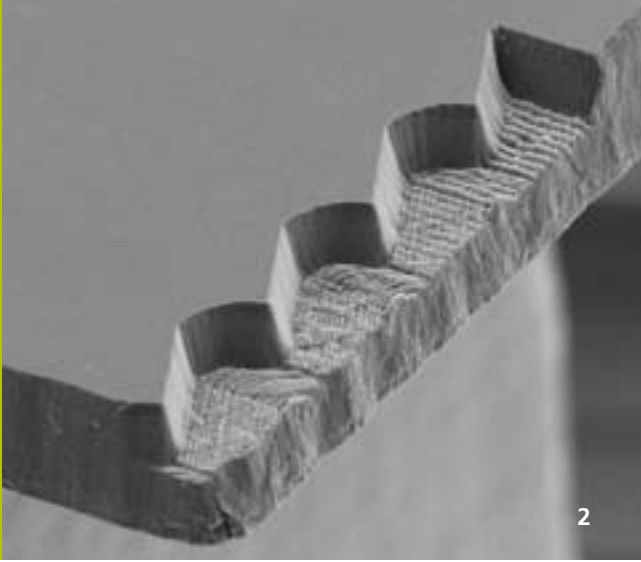
Eine Alternative dazu bietet die Konturierung und Bearbeitung mittels ultrakurzer Laserpulse [1]. Die Lasertechnologie erlaubt eine von der Kristallrichtung der Diamanten unabhängige und vor allem schnelle Bearbeitung in nahezu beliebigen Formen. Weiterhin erlaubt der Einsatz ultrakurzer Laserpulse eine hochpräzise Bearbeitung, bei der der Diamant aufgrund eines lokal und zeitlich begrenzten Energieeintrags nur geringstmöglich geschädigt wird [2].

Its outstanding thermal conductivity and mechanical hardness make diamond the preferred material for tools for ultra-precision manufacturing of metals, metal alloys, plastics and semi-conductors. However, in turn these properties make it hard to manufacture or to refurbish diamond tools. On the one hand, the spectrum of possible tool geometries is technologically limited. On the other, generating the tool tips with commonly used abrasive techniques like grinding, lapping and polishing is a time-consuming and material-intensive process.

Laser contouring and manufacturing by ultra-short laser pulses is a promising alternative technology to overcome some of these limitations [1]. This technique allows a fast processing of the diamond independent of its crystal orientation to generate almost every arbitrary shape. Furthermore, the application of energy within femtoseconds is confined both locally and temporary, reducing damage to the diamond to a minimum. This technique is therefore suitable for ultra-precision processing.

1 Prototyp eines Einstechwerkzeugs. Länge: 200 μm , Breite: 20 μm , Aspektverhältnis 1:10.

1 Prototype of a grooving tool, Length: 200 μm , width: 20 μm , aspect ratio 1:10.



Der Laserstrahl wird dazu mit oder ohne Strahlaufbereitung bzw. -formung mit einem Mikroskopobjektiv direkt auf den Diamanten fokussiert. Die extrem hohe Intensität führt zu einem ultraschnellen Materialabtrag innerhalb weniger Pikosekunden im Bereich des Laserfokus [3], so dass sich induzierte Wärme und mechanische Spannungen nahezu nicht ausbreiten können. Die dabei applizierte, geringe Pulsenergie im Nanojoulebereich minimiert zudem den Energieeintrag in den Diamanten und damit die Abtragsvolumina pro Laserpuls. Ein Laserpuls ablatiert so nur wenige Kubikmikrometer (μm^3) an Diamantmaterial.

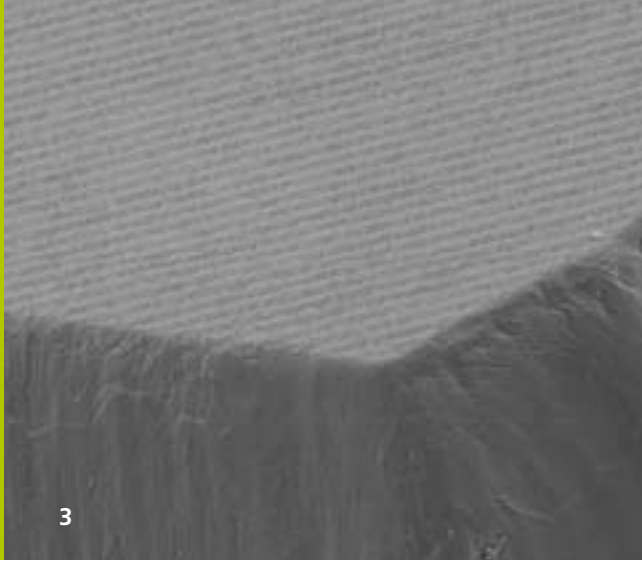
Wird der Diamant während der Bearbeitung unter dem Laser in bis zu drei Dimensionen (x, y, z) bewegt, lassen sich nahezu beliebige Formen und Strukturen sowohl in die Oberfläche einschreiben als auch innerhalb des Diamantvolumens erzeugen. Darstellbar sind Strukturen mit mikrometergroßen, filigranen Konturen und Formen. Bisher werden Prototypen möglicher Werkzeuggeometrien geschnitten, so z. B. eine nadelförmige Form in einkristallinem Diamant als Prototyp für ein Einstechwerkzeug (Abb. 1) zum UP-Diamantdrehen und -fräsen oder auch Sägezahnstrukturen (Abb. 2) in polykristallinem Diamant als Prototyp eines Mikrofräasers. Die Strukturgröße reicht dabei derzeit bis in den Mikrometerbereich bei Oberflächenrauheiten bis zu 30 nm (rms). Erzeugte Schnittkanten weisen eine minimale Kantenschärfe (Radius) von bis zu 400 nm auf.

The laser beam is focussed directly onto the diamond surface by a microscope objective without any prior beam shaping or preparation. The extreme high intensity leads to ultra-fast material removal within some picoseconds in the laser focus area. Within this period of time, diffusion of heat and mechanical stress is negligible. The applied energy in the nanojoule domain minimizes the amount of energy inside the diamond and therefore limits the ablation volume. Hence one single laser shot only removes some cubic microns of diamond material.

Moving the diamond in up to three dimensions (x, y, z) while processing, almost every arbitrary shape can be carved into the diamond surface as well as into the bulk material. Structures with micrometer-sized, filigree contours and shapes are representable. So far, some prototypes of possible tool geometries have been produced, e. g. needle-like shapes in single crystal diamond as a prototype for a diamond grooving tool (Fig. 1) for UP-turning or -milling as well as saw-tooth-like shapes in polycrystalline diamond as a prototype of a micro mill (Fig. 2). The structures can be sized down to the micrometer domain with a surface roughness as small as 30 nm (rms). Cutting edges show a sharpness (edge radius) as small as 400 nm.

2 Prototyp einer Sägezahnstruktur für ein Diamantfräs Werkzeug, Zahngröße $100 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$.

2 Prototype of a saw-tooth-like structure for a diamond micro mill, Dimensions: $100 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$.



Die leichter zugängliche Oberfläche des Diamanten kann mit Submikrometerpräzision strukturiert werden. Zudem lassen sich je nach Wahl der Prozessparameter Laserpulsenergie und Schreibgeschwindigkeit nanoskopische Oberflächenstrukturen generieren. Diese mikro- und nanoskopischen Strukturen (Abb. 3) in Kombination können auf herkömmlichen Diamantwerkzeugen dazu genutzt werden, während des Drehprozesses den Span gezielt ablaufen zu lassen und des Weiteren Kühlschmiermittel am Werkzeug zu binden bzw. dieses ebenfalls gezielt abzuleiten.

Die Untersuchungen zeigen, dass eine nahezu beliebige Strukturierung von Diamant mittels Ultrakurzpulslaser möglich ist. Die Technologie eignet sich gegenwärtig zur Herstellung von hochgenauen Oberflächenstrukturen und Diamantfräswerkzeugen und kann weiterhin in Verbindung mit einem Oberflächenfinish als Präzisionsvorschnitt zur Herstellung von Diamantdrehwerkzeugen verwendet werden.

Das Projekt »nanoreplica«, Fördernummer FKZ 03IP609, wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzepts »InnoProfile – Unternehmen Region« gefördert und vom Projektträger Jülich (PtJ) betreut.

The easily accessible surface of the diamond can be manufactured by the laser with sub-micrometer precision. Furthermore, nanoscopic surface structures can be generated by choosing appropriate process parameters like laser pulse energy and writing speed. On the chip face of a diamond tool, the right combination of microscopic structures superimposed by a nanoscopic pattern (Fig. 3) can guide chips while UP-turning and adhere or guide cooling lubricant as well.

The investigations show that the structuring of diamond into almost any shape is possible with the ultra-short pulse laser technique. At the present time, this technique is capable of generating high-precision diamond micro mills. The laser processing is also suitable for manufacturing diamond turning tools by precision-cutting the tool shape by the laser, if an additional polishing step for finishing is applied.

This work is funded as part of the research and development project "nanoreplica" by the German federal ministry of education and research (BMBF), fund number FKZ 03IP609, and is managed by the Project Management Agency Projektträger Jülich (PtJ).

3 *Mikroskopische Spanleitgeometrie (Periode 5 μm) mit überlagelter Nanostruktur (Periode 400 nm) auf einer Diamantoberfläche.*

3 *Microscopic chip guiding structure (period 5 μm) with superimposed nanoscopic pattern (period 400 nm) on a diamond surface.*

Literatur/References

- [1] Joswig, A.; Risse, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.: Laser generated and structured prototypes of diamond tool tips for microoptics fabrication, ASPE 2010.
- [2] Rethfeld, B.; Sokolowski-Tinten, K.; von der Linde, D.; Anisimov, S.I.: Timescales in response of metaterials to femtosecond laser excitation, Appl. Phys. A 78, pp. 767–769, 2004.
- [3] Momma, C.; Nolte, S.; Chichkov, B.N.; v. Alvensleben, F.; Tünnermann, A.: Precise laser ablation with ultrashort pulses, Appl. Surf. Sci., 109/110, pp. 15–19, 1997.

AUTHORS

Andreas Joswig¹

Stefan Nolte¹

Stefan Risse

Ramona Eberhardt

*¹ Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena;
Fraunhofer IOF*

CONTACT

Dipl.-Phys. Andreas Joswig

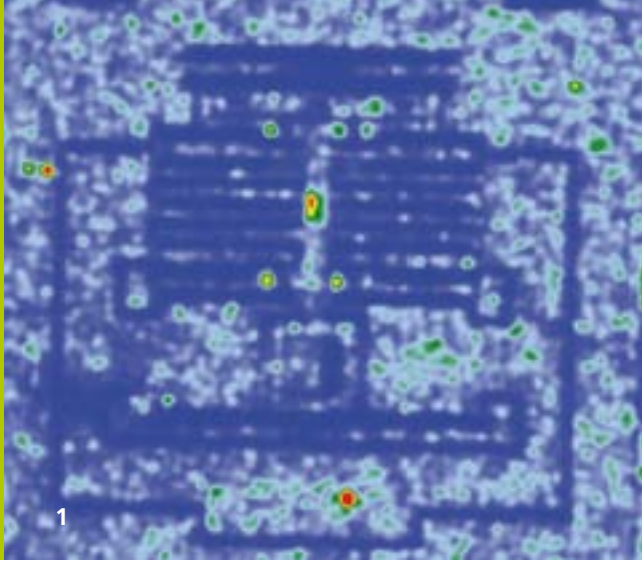
Phone +49 3641 807-120

andreas.joswig@iof.fraunhofer.de

Dr. Ramona Eberhardt

Phone +49 3641 807-312

ramona.eberhardt@iof.fraunhofer.de



PRAxisNAHE BEWERTUNG VON NANORAUHEITEN DURCH STREULICHTMESSVERFAHREN

SURFACE NANOSTRUCTURE ASSESSMENT USING LIGHT SCATTERING TECHNIQUES

Nanostrukturen, gewollt oder ungewollt, spielen eine zunehmend wichtige Rolle für optische und funktionale Oberflächen. Moderne Methoden zur Fertigung ultrapräziser optischer Oberflächen sowie die Funktionalisierung von Oberflächen durch gezielte Nanostrukturierung erfordern neuartige praxisrelevante Charakterisierungsverfahren, die sich selbst für große und komplex geformte Komponenten eignen. Dabei werden eine zunehmend höhere Auflösung sowie zerstörungsfreie, berührungslose und schnelle Messungen auf fertigungs- und anwendungsrelevanten Flächenbereichen gefordert.

In den vergangenen Jahren wurde gezeigt, dass sich Streulichtmessverfahren vorteilhaft zur berührungslosen, robusten und effizienten Analyse von Oberflächen-Nanostrukturen einsetzen lassen [1, 2]. Abbildung 1 zeigt beispielhaft den Raster-scan des Streulichts einer MEMS-Oberfläche. Die grundlegenden Messverfahren und Messgrößen sind in Abb. 2 zusammengefasst. Mit Hilfe von streulichtbasierten Verfahren können prinzipiell schnell größere Oberflächenbereiche mit gleichzeitig hoher vertikaler Auflösung untersucht werden. Allerdings waren bisherige praktische Umsetzungen weitgehend auf das Laborumfeld beschränkt [2, 3].

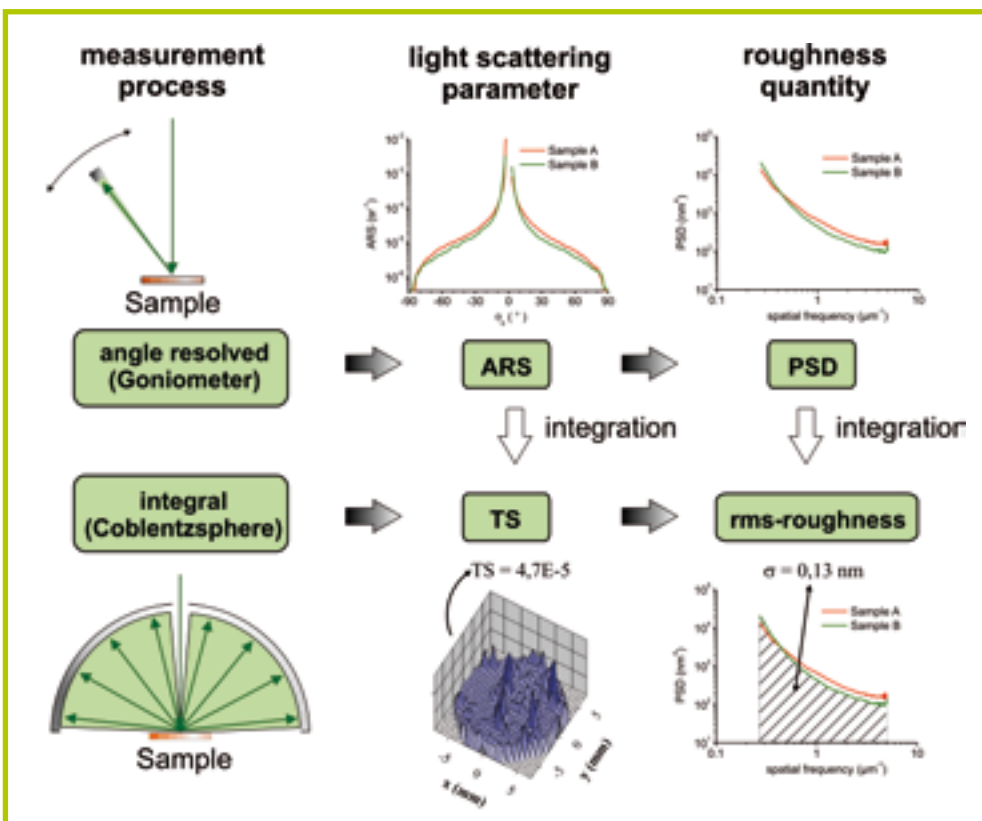
Optical and functional surface properties are to a large extent defined by surfaces nanostructure. Novel manufacturing methods enable ultra-precision surfaces to be fabricated with increasingly large areas, complex curvatures, and customized nanostructures. Hence there is an urgent need for characterization techniques that are sensitive, fast, non-destructive, non-contact, and applicable to components in-line or close to fabrication processes.

It has been demonstrated that light scattering-based surface characterization techniques are well suited to meeting these challenging requirements [1, 2]. For example Fig. 1 shows the scatter map of a MEMS surface. Fundamental quantities and parameters as well as relations of scatter and surface properties are summarized in Fig. 2. However, the application of light scattering-based surface characterization was largely restricted to the laboratory environment [2, 3].

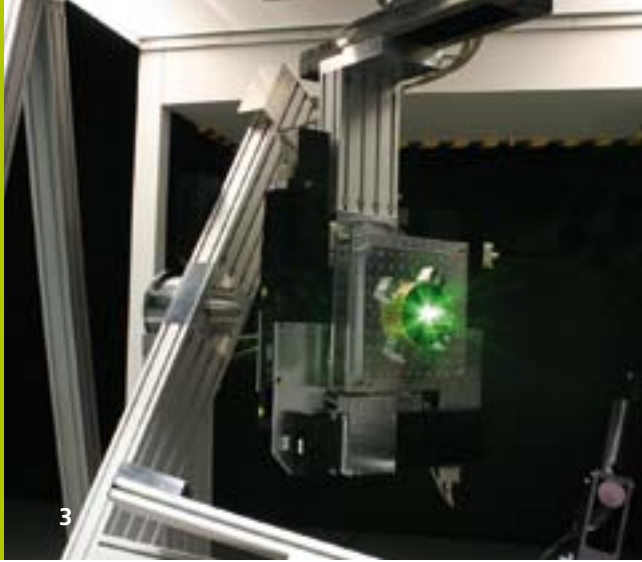
1 Raster-scan des Streulichts einer MEMS-Oberfläche (Micro-Electro-Mechanical System, $7 \times 7 \text{ mm}^2$) bei 532 nm und festem Detektorwinkel. | Scatter map of a MEMS surface (Micro-Electro-Mechanical System, $7 \times 7 \text{ mm}^2$) recorded at 532 nm and fixed detector angle.

In dem von der DFG über 6 Jahre (2004 bis 2010) geförderten Projekt »Funktionsbezogene Bewertung von Nanorauheiten auf fertigungsrelevanten Oberflächen durch Streulichtmessverfahren« (NanoStreu) [4] innerhalb des Schwerpunktprogramms »Neue Strategien der Mess- und Prüftechnik für die Produktion von Mikrosystemen und Nanostrukturen« (SPP 1159)

Consequently, the aim of the project "Close-to-production nano-roughness assessment by light scattering measurement" (NanoScatt) [4] supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) within the Priority Program 1159 "New Strategies for Measurement and Test Techniques for Production of Microsystems and Nanostructures" was dedicated to over-



2 Streulichtmessmethoden und -messgrößen (ARS – Angle Resolved Scattering; TS – Total Scattering) sowie Zusammenhänge mit Kenngrößen der Oberflächen-Nanostruktur (PSD – Power Spectral Density, σ – rms-Rauheit). | Light scattering measurement methods and parameters (ARS – Angle Resolved Scattering; TS – Total Scattering) and their correlation to surface nanostructure properties (PSD – Power Spectral Density, σ – rms-roughness).



wurden daher Strategien zum praktischen Einsatz streulicht-basierter Methoden im Produktionsumfeld entwickelt und erprobt.

Im Mittelpunkt standen dabei die schnelle und vollständige Charakterisierung von fertigungsrelevanten großen Oberflächen, Mikrokomponenten, beschichteten und funktionalen Oberflächen sowie die Auswirkungen der Probenkrümmung auf die Messungen. Eine wesentliche Basis für die praktische Erprobung der neuen Konzepte bildeten die am Fraunhofer IOF entwickelten Labor-Streulichtmesssysteme, die bei verschiedenen Wellenlängen von 13,5 nm bis 10,6 μm eingesetzt werden können und hinsichtlich Sensitivität, Dynamikbereich und Flexibilität die Spitze des internationalen Stands der Technik definieren [5, 6]. Abbildung 3 zeigt das Messsystem ALBTROSS, das für Wellenlängen von 325 nm bis 10,6 μm eingesetzt werden kann. Im Folgenden werden beispielhaft einige Ergebnisse aus dem Projektverlauf dargestellt.

Zur Untersuchung von Datenfusionsstrategien und zum grundlegenden Vergleich von Ergebnissen streulichtbasierter Rauheitsmessungen mit lokal hochauflösenden Verfahren wie Rasterkraftmikroskopie (AFM), Phaseshift- und Weißlichtinterferometrie (PSI/WLI) wurden polierte Glassubstrate und im Rahmen eines Ringversuchs MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systeme) (Abb. 1) untersucht. Für Glassubstrate wurden aus AFM- und WLI-Messungen mit verschiedenen Messfeldgrößen sowie ARS-Messungen (Angle Resolved Scattering) die in Abb. 4 dargestellten Rauheitsspektren (PSD) berechnet und mit einer am Fraunhofer IOF entwickelten Software zu einer Master-PSD (schwarz) fusioniert [3]. Die Gegenüberstellung im Ortsfrequenzraum zeigt anschaulich die Vergleichbarkeit sowie die Bandbreiten der verschiedenen Verfahren.

3 Messsystem ALBATROSS (3D Arrangement for Laser Based Transmittance, Reflectance and Optical Scatter Measurement).

coming these limitations and developing novel strategies for practical characterization close to fabrication.

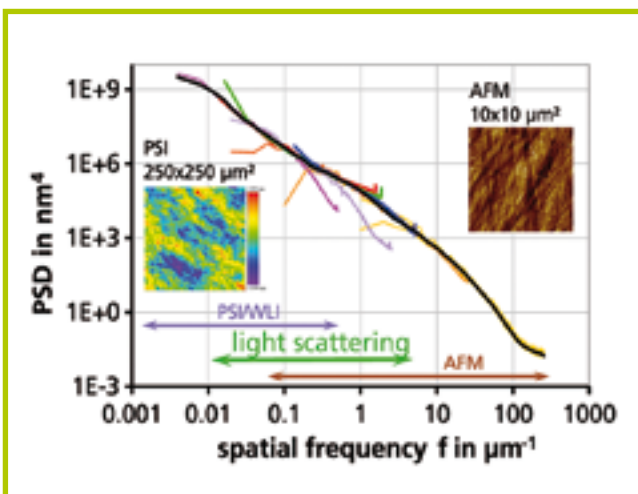
The project focused on light scattering-based inspection techniques for large (freeform) surfaces, micro components, and coated surfaces, as well as on the influence of surface curvatures on the measurement results. Experimental tests of these new strategies were accomplished by flexible and sensitive laboratory light scattering instruments developed at Fraunhofer IOF [5, 6], which can be operated at wavelengths ranging from the infrared (10.6 μm) down to the extreme ultraviolet (13.5 nm) spectral regions. With their sensitivity, dynamic ranges, and flexibility, these systems determine the international state-of-the-art. Figure 3 shows the measurement system ALBATROSS which can be used for wavelengths from 325 nm up to 10.6 μm . The following paragraphs summarize our main results of this work.

In order to investigate methods to combine and to compare results of different measurement techniques, polished glass surfaces, and, as a round robin experiment, MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) (Fig. 1) were characterized. Power spectral densities (PSD) of one glass surface determined from atomic force microscopy (AFM), phase shift, and white light interferometry (PSI/WLI), as well as Angle Resolved Scattering (ARS) measurements are presented in Fig. 4. These results were combined to a single master-PSD using a code developed at the Fraunhofer IOF [3]. In addition, the presentation in a diagram as a function of spatial frequencies reveals the specific bandwidth limits of the characterization techniques.

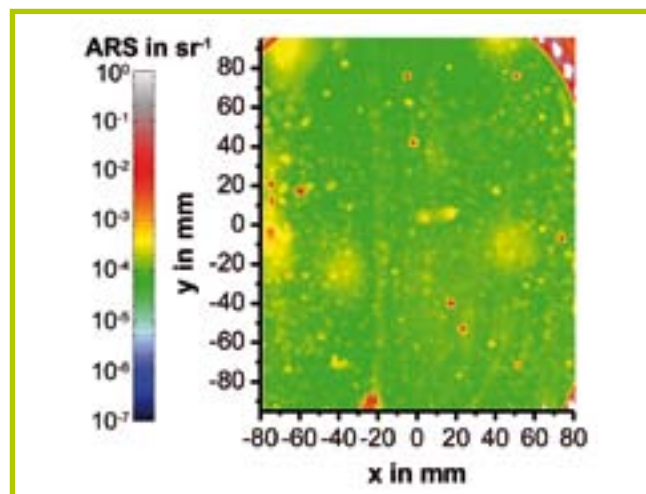
3 Measurement system ALBATROSS (3D Arrangement for Laser Based Transmittance, Reflectance and Optical Scatter Measurement).

Abbildung 5 zeigt Untersuchungsergebnisse an einem Freiformspiegel für einen Erdbeobachtungssatelliten mit Abmessungen von ca. $190 \times 160 \text{ mm}^2$. Nach der Fertigung der Form durch Diamantdrehen wurde die Probe überpoliert, um entstandene Drehrillen-Strukturen zu entfernen. Ein Raster-scan der Oberfläche bei festem Detektorwinkel ($\theta_s = 25^\circ$) und Beleuchtung mit 532 nm liefert eine Übersicht über die Verteilung und Homogenität der Nanostruktur auf der kompletten Oberfläche. Dieses Mapping zeigt Gebiete hoher bzw. geringer Politurgüte (grün bzw. gelb) sowie vereinzelt lokale Defekte (rot). Aus ARS-Messungen wurden die rms-Rauheiten dieser charakteristischen Gebiete ermittelt. Gleichzeitig offenbart die darin erkennbare Beugung, dass die Rauheitsunterschiede auf Drehrillen-Strukturen zurückzuführen sind, die im Politurprozess nicht vollständig entfernt wurden.

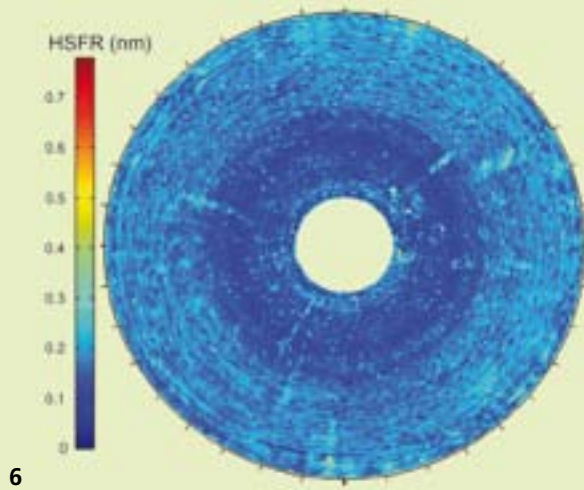
Results of a scatter analysis of a mirror for astronomy application are shown in Fig. 5. The mirror with an area of about $190 \times 160 \text{ mm}^2$ was fabricated by diamond-turning followed by polishing. In order to check the quality and homogeneity, the entire surface was mapped while measuring the scattering at 532 nm into a fixed scatter angle ($\theta_s = 25^\circ$). In the resulting scatter map, a rather low scattering background (green) and higher scatter levels (yellow) as well as local defects (red) are distinguishable. ARS measurements were performed to investigate the nature of the inhomogeneities and to determine the rms-roughness. In areas of enhanced scattering, the ARS exhibits diffraction peaks as a result of incomplete polishing.



4 Rauheitsspektren (PSD) eines polierten Glassubstrats bestimmt mit AFM-, PSI/WLI- und ARS-Messungen. | Power spectral densities (PSD) of a polished glass substrate determined from results of AFM-, PSI/WLI- and light scattering measurements.



5 Streulicht-Mapping einer diamantgedrehten und anschließend polierten Freiformfläche (Scangröße: $190 \times 160 \text{ mm}^2$). | Scatter map of a diamond turned and polished freeform surface (scan area: $190 \times 160 \text{ mm}^2$).



Eine neuartige streulichtbasierte Methode zur Untersuchung großer stark gekrümmter Oberflächen demonstriert die prozessbegleitende Charakterisierung von Spiegelsubstraten ($\varnothing = 665 \text{ mm}$) für die EUV-Lithographie bei $13,5 \text{ nm}$ [7]. Die Größenordnung der zulässigen rms-Rauheit für diese Substrate liegt dabei im Bereich weniger Angström. Abbildung 6 zeigt eine Übersichtskarte hochfrequenter Rauheitsanteile (HSFR), gewonnen aus Streulichtmessungen bei 442 nm mit dem System ALBATROSS und anschließender PSD-Analyse. Für das vorgestellte Substrat wurde eine mittlere HSFR von lediglich $0,11 \text{ nm}$ ermittelt. Selbst diese geringe Substrat-
rauheit führt zu Streuverlusten von ca. 1% bei $13,5 \text{ nm}$.

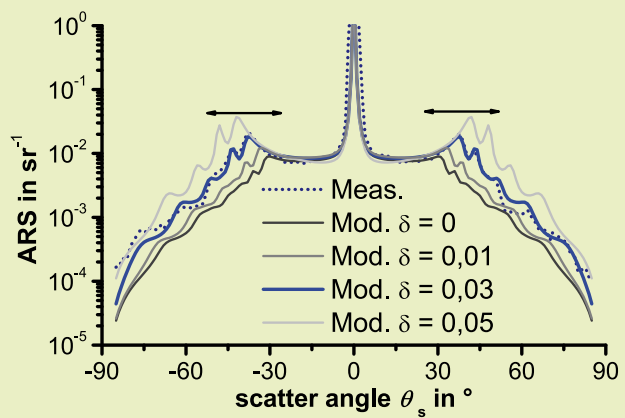
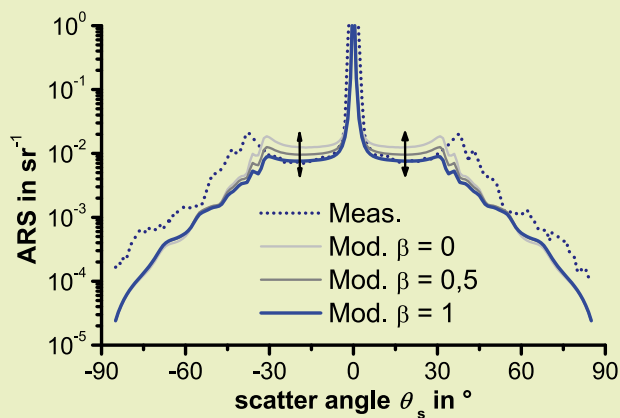
Zur Charakterisierung von Schichtsystemen wurde ein neuartiger Ansatz basierend auf zwei Parametern β und δ entwickelt [5]. Die Bestimmung dieser Parameter basiert auf dem Vergleich von ARS-Modellierung und -Messung und ist in Abb. 7 für ein hochreflektierendes Schichtsystem für 193 nm dargestellt. Der Parameter β beschreibt die Entwicklung der Rauheit innerhalb des Schichtsystems und basiert auf Rauheitsentwicklungsmodellen. Mit Hilfe des Parameters δ können systematische Abweichungen der optischen Weglänge vom idealen Schichtdesign beschrieben und so zusätzliche Aussagen über spektrale Eigenschaften des Schichtsystems gewonnen werden.

The capabilities of light scattering-based methods concerning large and curved samples are demonstrated by characterization of an ellipsoidal mirror substrate with a diameter of 665 mm [7]. After coating, the mirror will be used in next generation EUV lithography tools operated at 13.5 nm . At this wavelength, the high spatial frequency roughness (HSFR) of the substrate provides a major contribution to scatter losses that reduce throughput and image quality. HSFR mapping (Fig. 6) determined from light scatter measurements using PSD analysis reveals an average value of as low as 0.11 nm . Even this value results in scatter losses of about 1% at 13.5 nm .

A novel analysis method based on light scattering measurements to characterize thin film coatings introduces two simple parameters [5]: δ describes optical thickness deviations from the perfect design and β the roughness evolution inside the coating according to a power law. These parameters are determined through comparing ARS measurements and ARS modeling as demonstrated in Fig. 7 by means of a high reflective multilayer coating designed for 193 nm .

6 Aus Streulichtmessungen bei 442 nm bestimmte HSFR-Karte (High Spatial Frequency Roughness) eines Substrats für einen EUV-Kollektorspiegel.

6 HSFR-map (High Spatial Frequency Roughness) of an EUV collector mirror substrate determined from light scattering measurements at 442 nm .



7

Literatur/References

- [1] Duparré, A.: Light Scattering techniques for the inspection of microcomponents and microstructures, in Optical Methods for the Inspection of Microsystems, W. Osten, ed., (Taylor & Francis, Boca Raton), 2006, 103–119.
- [2] Stover, J. C.: Optical scattering: measurement and analysis, 2nd edition. SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Washington, USA, (1995) (Optical and Electro-Optical Engineering Series).
- [3] Duparré, A.; Ferré-Borrull, J.; Glied, S.; Notni, G.; Steinert, J.; Bennett, J. M.: Surface characterization techniques for determining root-mean-square roughness and power spectral densities of optical components, Appl. Opt. 41, (2002), 154–171.
- [4] Förderkennzeichen: TU 92/10-3.
- [5] Schröder S.; Herffurth, T.; Blaschke, H.; Duparré, A.; ARS: An Effective Method for Characterizing Structural and Alteration Effects in Thin Film Coatings, Appl. Opt. 50, (2011), C164–C171.
- [6] von Finck, A.; Hauptvogel, M.; Duparré, A.; Instrument for Close-To-Process Light Scatter Measurements of Thin Film Coatings and Substrates, Appl. Opt. 50 (2011), C321–C328.
- [7] Trost, M.; Schröder, S.; Feigl, T.; Duparré, A.: Influence of the Substrate Finish and Thin Film Roughness on the Optical Performance of Mo/Si Multilayers, Appl. Opt. 50, (2011), C145–C153.

AUTHORS

Tobias Herffurth

Luisa Coriand

Sven Schröder

Angela Duparré

Andreas Tünnermann

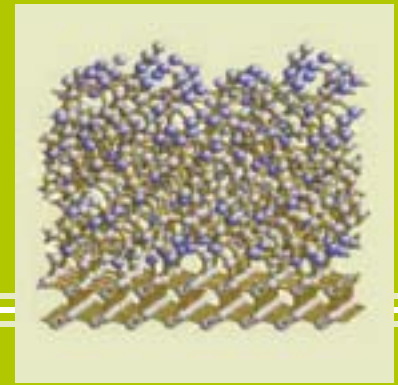
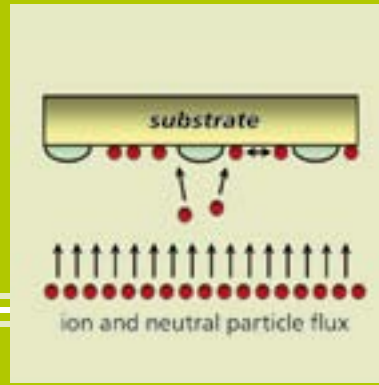
CONTACT

Dr. Angela Duparré

Phone +49 3641 807-216

angela.duparre@iof.fraunhofer.de

7 Bestimmung der Parameter β und δ (β beeinflusst die Höhe und δ die Breite der »Flügel«) durch Vergleich von Streulicht-Messung und -Modellierung. | Determination of parameters β and δ (β influences the height and δ the width of wings in ARS curves) based on comparison of light scattering measurement and modeling.



1

PLASMA UND OPTISCHE TECHNOLOGIEN (PLUTO)

PLASMA AND OPTICAL TECHNOLOGIES (PLUTO)

Der Erfolg der Optischen Technologien wird entscheidend von der Qualität und Funktionalität der optischen Komponenten, speziell deren Oberflächen geprägt. Hier haben sich Prozessplasmen als unverzichtbares Hilfsmittel für die Herstellung funktionaler Schichtsysteme erwiesen. Können oxidische Schichten durch Plasmastützung inzwischen weitgehend dicht und absorptionsarm hergestellt werden [1], ist die Plasmastützung fluoridischer Schichten nach wie vor problematisch, da gleichzeitig dichte und absorptionsarme Fluoridschichten trotz umfangreicher Optimierungsarbeiten bisher nicht erreicht worden sind [2] (Abb. 2).

Die Zielstellung des vom Fraunhofer IOF koordinierten PluTO-Projekts ist es daher, die Dünnschicht- und Plasmatechnologien zusammenzuführen. Dementsprechend setzt sich das Konsortium sowohl aus Experten der optischen Beschichtungstechnologie (Laser Zentrum Hannover, Fraunhofer IOF) als auch der Plasmatechnik (INP Greifswald, Ruhr-Universität Bochum RUB) zusammen.

Die verfügbaren Prozessplasmen, speziell die Randschichten, sollen mithilfe spezieller Sonden eingehend qualifiziert werden, so dass die Art, die Anzahl und die Energie der an den Schichtbildungsprozessen beteiligten Teilchen erstmals eingehend und umfassend bestimmt werden können.

The quality and performance of optical components, and particularly their surfaces, are of crucial importance for the success of optical technologies in general. In this field, process plasmas represent an important tool for layer and surface property refinement. While the plasma assisted deposition of dense low-loss oxide coatings is commercial reality today [1], plasma assistance during fluoride coating growth is still problematic, although considerable effort has been applied in the last years to improve the situation [2] (Fig. 2).

The PluTO-project, which is coordinated by the Fraunhofer IOF, therefore pursues the combination of plasma and coating technologies into a unique manufacturing chain. The fields of expertise of the participating institutes include thin film technology (Laser Zentrum Hannover, Fraunhofer IOF) as well as plasma physics (INP Greifswald, Ruhr-Universität Bochum RUB). The relevant process plasmas, and particularly the Debye sheath region, are to be characterized by means of special plasma probe measurements. In this way, kind, number, and energy distribution of the species which form the growing film are expected to be determined for the first time.

1 Von der Beschichtungstechnologie zur Schichteigenschaft.

1 From deposition technology to layer property



Die somit gewonnenen Daten werden die Grundlage einer numerischen Modellierung des Schichtwachstums auf atomarer Skala (Bremen Center of Computational Material Sciences) bilden. Im Ergebnis soll ein vertieftes Verständnis für die physikalischen Mechanismen gewonnen werden, die für den Einfluss der Plasmaeinwirkung auf die Schichteigenschaften verantwortlich sind. Gleichzeitig werden geeignete Monitoringwerkzeuge zur Prozessüberwachung identifiziert und bereitgestellt.

Erste Ergebnisse belegen bereits zum jetzigen Zeitpunkt die Tragfähigkeit des Ansatzes:

- So ermöglichten Plasmasimulationen innerhalb des Verbunds (RUB, INP) erstmals die theoretische Reproduktion der Ionen- und Neutralteilchenenergieverteilung, wie sie von der Plasmaquelle APS unter für den Beschichtungsprozess typischen Betriebsbedingungen gemessen wird [3].
- Ausgefeilte Modellierungen an fluoridischen Schichten erlaubten die sichere Identifikation von lokaler Fluor-Unterstöchiometrie als Hauptursache für die immer noch beobachteten Restabsorptionen von durch Stützung hinreichend verdichteten Fluoridschichten [4, 5].
- In der Beschichtungstechnik bisher nicht etablierte Verfahren zum Plasmamonitoring bestehen jetzt erste Praxistests in industrienahen Anwendungsumgebungen. So erlaubt die vom INP entwickelte Thermosonde erstmals die Messung des gesamten auf eine Probe wirksamen Energieeintrags aus dem Beschichtungsplasma.
- Die von der RUB entwickelte Multipol-Resonanzsonde ermöglicht ähnlich der traditionellen Langmuir-Sonde die Ermittlung von Elektronendichte und Elektronentemperatur im Plasma, aber ohne Signalverfälschung durch während der Beschichtung auf die Sonde aufgebrachtetes dielektrisches Schichtmaterial.

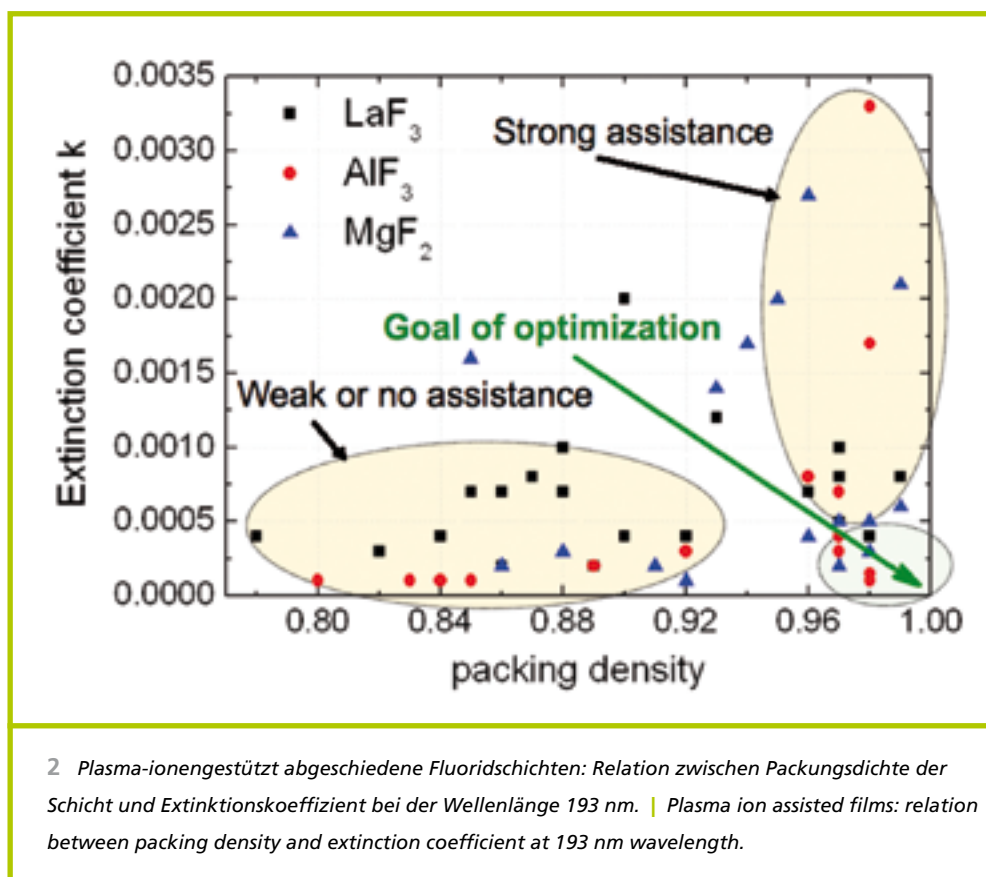
The data obtained define the experimental basis for numerical modeling of the film growth at an atomic scale (Bremen Center of Computational Material Sciences). All this is due to result in a deeper understanding of the physical mechanisms responsible for the observed impact of plasma assistance on film properties. At the same time, optimized monitoring tools will be created.

First results obtained from the PluTO-consortium confirm the suitability of the approach:

- For the first time, plasma simulations (RUB, INP) allow the theoretical reproduction of ion and neutral particle energy distributions, as they are measured for the APS plasma source in practically relevant operation mode [3].
- By means of sophisticated models of fluoride layers, it was possible to identify local fluorine understoichiometry as the dominant absorption loss mechanism in dense fluoride coatings deposited with plasma assistance [4, 5].
- Innovative applications of plasma probe techniques prove their applicability in an industrial coating environment. Thus the thermoprobe developed by INP allows measuring the full energy impact from the plasma onto the substrate.
- The multipole resonance probe as developed by RUB allows determining the electron density and electron temperature of the plasma without any artefacts resulting from dielectric overcoating of the probe itself. This is an advantage over the traditionally applied Langmuir probe measurement.

Die Kombination von Modellierung und ausgefeilter Prozessanalytik soll letztlich neuen Schub für die in Abb. 2 angedeutete weitere Optimierung optischer Schichten durch gezielt angepasste Prozessführung generieren.

The combined application of modeling and innovative plasma monitoring should ultimately provide new impetus to the coating optimization routines indicated in Fig. 2.



Die Autoren danken dem VDI Düsseldorf für die Unterstützung im Rahmen der Projektträgerschaft, sowie dem BMBF für die finanzielle Unterstützung (FKZ: 13N10459).

The authors are grateful to the VDI Düsseldorf for support, as well as to the BMBF for sponsoring these investigations in terms of the PluTO grant No 13N10459.

Literatur/References

- [1] Ehlers, H.; et al.: Ion assisted deposition processes: industrial network Intlon; Proc. SPIE 5250, (2004), p. 646–655.
- [2] Bischoff, M.: Plasmagestützte Beschichtung von Metallfluoriden für den tiefen ultravioletten Spektralbereich, Ph.D. thesis, Friedrich-Schiller-University Jena (2008).
- [3] Schröder, B.; et al.: Modelling and Simulation of the APS plume; in preparation for Journ. Phys. D.
- [4] Wilbrandt, S.; et al.: Combined in situ and ex situ optical data analysis of magnesium fluoride coatings deposited by plasma ion assisted deposition; Appl. Opt. 50, (2011); p. C5–C10.
- [5] Bischoff, M.; et al: Plasma Assisted Deposition of Metal Fluoride Coatings and Modelling the Extinction Coefficient of As-deposited Single Layers; Appl. Opt. 50, (2011), accepted for publication.

AUTHORS

Olaf Stenzel

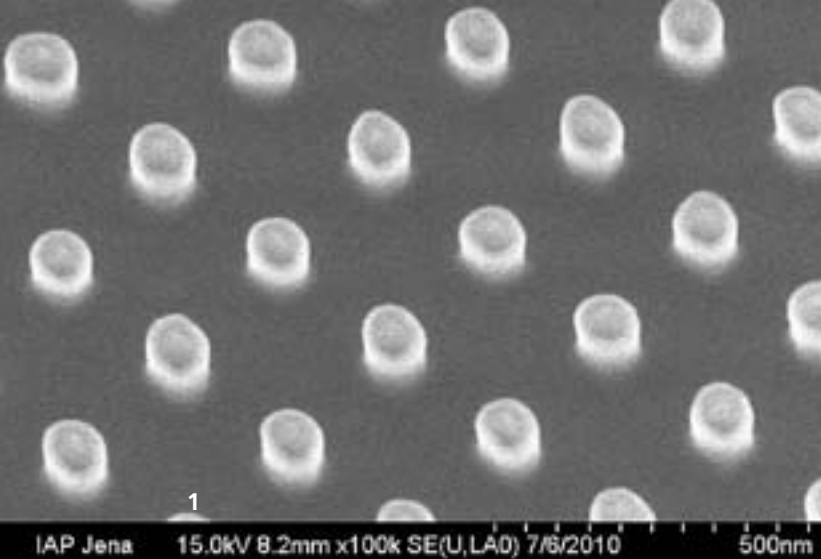
Norbert Kaiser

CONTACT

Dr. Olaf Stenzel

+49 3641 807-348

olaf.stenzel@iof.fraunhofer.de



PLASMONISCH RESONANTE NANORINGE

PLASMONIC RESONANT NANORINGS

Metallische Nanoringe mit Durchmessern kleiner 100 nm (Abb. 1) besitzen plasmonische Resonanzen, die zu unterschiedlichsten Farbeffekten führen können. Diese Resonanzen basieren auf kohärenten Schwingungen der Leitungselektronen, die bis in den visuellen Spektralbereich reichen. Die Form dieser Resonanzen kann durch gezielte Strukturierung kontrolliert werden. Periodisch angeordnet stellen die Ringe sogenannte Metaatome dar und bilden zusammen ein Metamaterial. Die Ausbreitungseigenschaften von Licht in diesem Metamaterial werden durch die Form der Resonanzen beeinflusst und lassen sich über die Geometrie der Nanoringe maßschneidern. Damit können optische Materialeigenschaften erzielt werden, die bei natürlichen Materialien nicht vorkommen.

Die Ringe werden mittels Elektronenstrahlolithographie hergestellt. Durch Einsatz geeigneter Ätz- und Metallisierungstechnologien können sie mit geringem Aufwand realisiert werden. Um den Herstellungsaufwand weiter zu reduzieren, ist ein Wechsel auf andere Lithographiearten möglich. Hierfür kann beispielsweise die auf Selbstorganisation beruhende Block-Copolymer-Nanolithographie angewandt werden.

Der hier entwickelte Prozess ermöglicht die Bereitstellung

Metallic nanorings with diameters below 100 nm (Fig. 1) show plasmonic resonances leading to different color effects. These resonances rely on coherent oscillations of conduction electrons and range down to the visible spectral range. The resonances' form can be controlled by well-designed structuring. Arranged in a periodic array, each ring represents a so-called metaatom and together form a so called metamaterial. The dispersion properties of light are influenced by the shape of these resonances and can be tailored by the geometry of the nanorings. For this reason, it is possible to create material properties which cannot be found in natural materials.

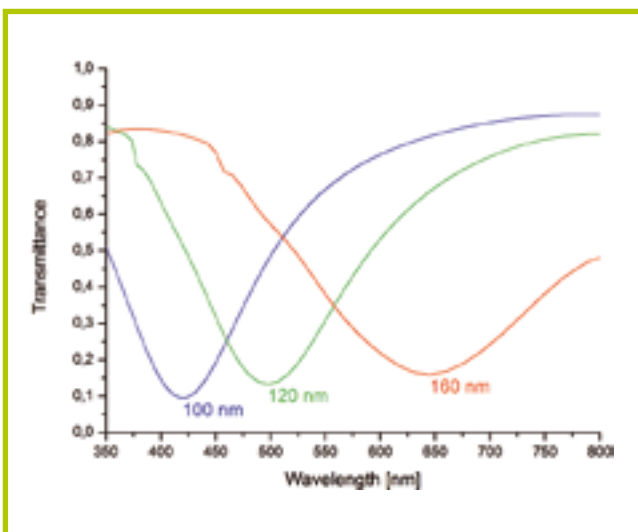
The rings are created with electron beam lithography. They can be realized with little effort by choosing suitable etching and metallization technologies. It is possible to further reduce this effort by changing the type of lithography. One example is the so-called block copolymer nano lithography, based on self-organization processes.

1 REM-Bild von hergestellten Aluminium-Nanoringen mit einem Durchmesser von 100 nm und einer Periode von 290 nm.

1 REM Picture of produced aluminum nanorings with a diameter of 100 nm and a period of 290 nm.

von Nanomaterialien sowohl für die Forschung als auch für industrielle Applikationen. So können auf Basis dieser Ringstrukturen z. B. Farbfilter für Sensoren erzeugt werden (Abb. 2). In Zukunft sollen auch andere Geometrieformen generiert werden, womit die Darstellung von komplexeren Metamaterialien, wie z. B. Negativ-Index-Materialien, möglich wird. Ferner wird der Prozess so weiter entwickelt, dass damit auch Volumenmaterialien bereitgestellt werden können.

The process developed here enables the allocation of nanomaterials for research and industrial applications. For instance, it is possible to create color filters based on these nanorings (Fig. 2). Other geometries will be created in the future to enable the construction of more complex metamaterials, such as negative index materials. Moreover, the process will be developed further to make volume materials available.



2 Simulation der Transmission von Aluminium-Nanoringen mit unterschiedlichem Durchmesser. | Simulation of the transmission of aluminum nanorings with different diameters.

AUTHORS

Dennis Lehr¹

Ernst-Bernhard Kley^{1,2}

¹ Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena

² Fraunhofer IOF

CONTACT

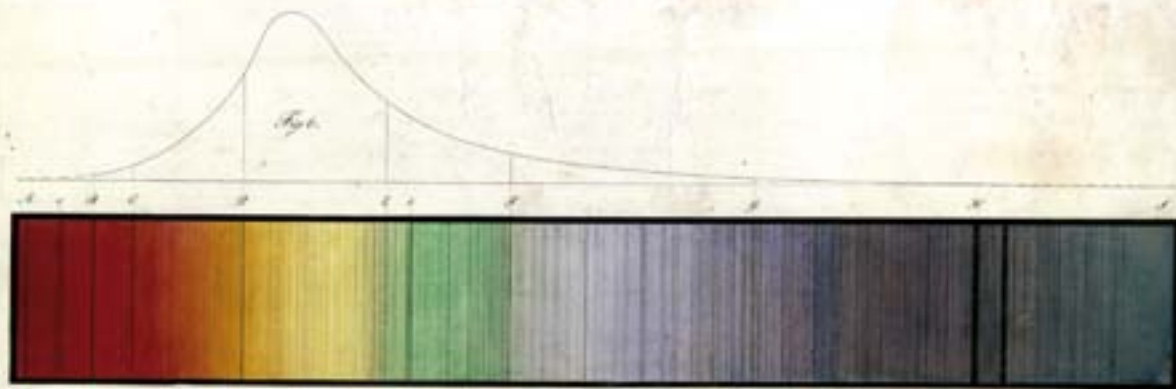
Dr. Ernst-Bernhard Kley

Phone +49 3641 947-830

ernst-bernhard.kley@uni-jena.de



Joseph von Fraunhofer



DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

THE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 60 Institute. Mehr als 18 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,65 Milliarden Euro. Davon fallen 1,40 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Research of practical utility lies at the heart of all activities pursued by the Fraunhofer-Gesellschaft. Founded in 1949, the research organization undertakes applied research that drives economic development and serves the wider benefit of society. Its services are solicited by customers and contractual partners in industry, the service sector and public administration.

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains more than 80 research units in Germany, including 60 Fraunhofer Institutes. The majority of the more than 18,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of €1.65 billion. Of this sum, more than €1.40 billion is generated through contract research. More than 70 percent of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. Almost 30 percent is contributed by the German federal and Länder governments in the form of base funding, enabling the institutes to work ahead on solutions to problems that will not become acutely relevant to industry and society until five or ten years from now.

Affiliated international research centers and representative offices provide contact with the regions of greatest importance to present and future scientific progress and economic development.

DAS FRAUNHOFER IOF IN NETZWERKEN

THE FRAUNHOFER IOF IN NETWORKS

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

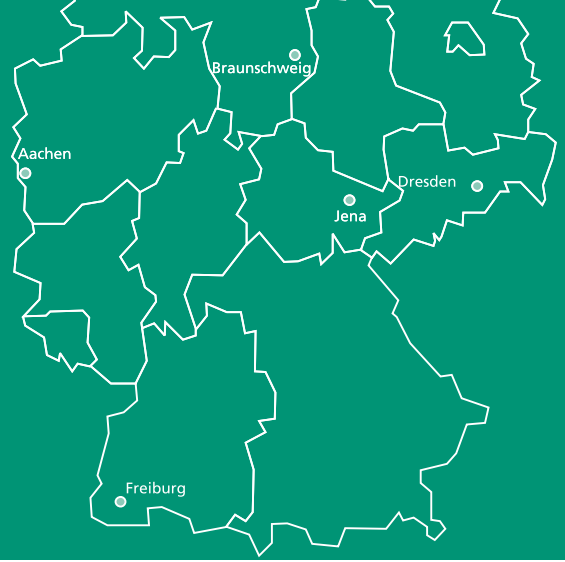
Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

With its clearly defined mission of application-oriented research and its focus on key technologies of relevance to the future, the Fraunhofer-Gesellschaft plays a prominent role in the German and European innovation process. Applied research has a knock-on effect that extends beyond the direct benefits perceived by the customer: Through their research and development work, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. They do so by promoting innovation, strengthening the technological base, improving the acceptance of new technologies, and helping to train the urgently needed future generation of scientists and engineers.

As an employer, the Fraunhofer-Gesellschaft offers its staff the opportunity to develop the professional and personal skills that will allow them to take up positions of responsibility within their institute, at universities, in industry and in society. Students who choose to work on projects at the Fraunhofer Institutes have excellent prospects of starting and developing a career in industry by virtue of the practical training and experience they have acquired.

The Fraunhofer-Gesellschaft is a recognized non-profit organization that takes its name from Joseph von Fraunhofer (1787–1826), the illustrious Munich researcher, inventor and entrepreneur.



FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

FRAUNHOFER GROUP LIGHT & SURFACES

Kompetenz durch Vernetzung

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Light & Surfaces. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an die Erfordernisse in den verschiedensten Anwendungsfeldern zur Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen, insbesondere in den Bereichen Energie, Umwelt, Produktion, Information und Sicherheit. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Marktes ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten zum Nutzen der Kunden.

Kernkompetenzen des Verbunds

- Schicht- und Oberflächentechnologie
- Strahlquellen
- Mikro- und Nanotechnologie
- Materialbearbeitung
- Opto-mechanische Präzisionssysteme
- Optische Messsysteme

Kontakt

Verbundvorsitzender
Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Phone: +49 3641 807-201

Verbundassistentin
Susan Oxfart
Phone: +49 3641 807-202

Competence by networking

Six Fraunhofer institutes cooperate in the Fraunhofer Group Light & Surfaces. Co-ordinated competences allow quick and flexible alignment of research work on the requirements of different fields of application to answer actual and future challenges, especially in the fields of energy, environment, production, information and security. This market-oriented approach ensures an even wider range of services and creates synergetic effects for the benefit of our customers.

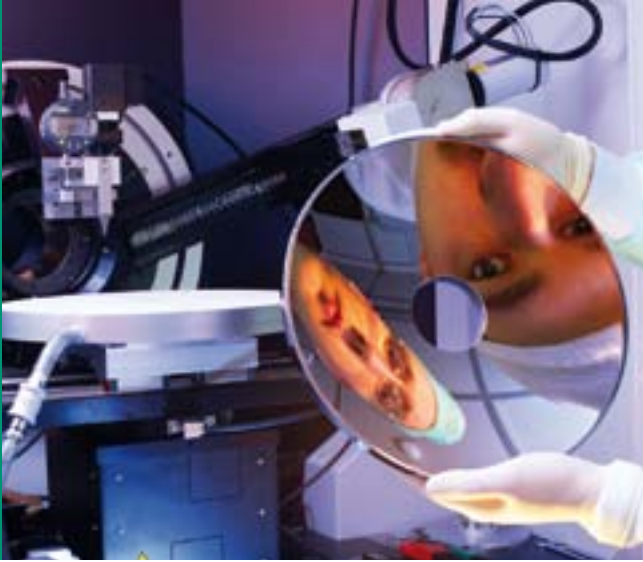
Core competences of the group

- Surface and coating technologies
- Beam sources
- Micro- and nanotechnology
- Materials treating
- Opto-mechanical precision systems
- Optical measuring systems

Contact

Group Chairman
Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Phone: +49 3641 807-201

Group Assistant
Susan Oxfart
Phone: +49 3641 807-202



Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Das Fraunhofer IOF entwickelt Lösungen mit Licht zur Bewältigung drängender Zukunftsfragen in den Bereichen Energie und Umwelt, Information und Sicherheit sowie Gesundheit und Medizintechnik.

Die Kompetenzen umfassen die gesamte Prozesskette vom Optik- und Mechanik-Design über die Entwicklung von Fertigungsprozessen für optische und mechanische Komponenten sowie Verfahren zur Systemintegration bis hin zur Fertigung von Prototypen. Schwerpunkte liegen auf den Gebieten multifunktionale optische Schichtsysteme, Mikro- und Nanooptik, Festkörperlichtquellen, optische Messsysteme und opto-mechanische Präzisionssysteme.

www.iof.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Die Kernkompetenzen des Fraunhofer FEP sind Elektronenstrahltechnologie, Puls-Magnetron-Sputtern und Plasmaaktivierte Hochratebedampfung. Unsere Arbeitsgebiete umfassen die Vakuumbeschichtung sowie die Oberflächenbearbeitung und -behandlung mit Elektronen und Plasmen. Neben der Entwicklung von Schichtsystemen, Produkten und Technologien ist ein wichtiger Schwerpunkt die Aufskalierung der Technologien für die Beschichtung und Behandlung großer Flächen mit hoher Produktivität. Unsere Technologien und Prozesse finden Anwendung im Maschinenbau, in der Solarenergie, der Biomedizintechnik, der Architektur und für den Kulturguterhalt, in der Verpackungsindustrie, im Bereich Umwelt und Energie, der Optik, Sensorik und Elektronik sowie in der Landwirtschaft.

www.fep.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering IOF

The Fraunhofer IOF develops solutions with light to cope foremost challenges for the future in the areas energy and environment, information and security, as well as health care and medical technology.

The competences comprise the entire process chain starting with optics and mechanics design via the development of manufacturing processes for optical and mechanical components and processes of system integration up to the manufacturing of prototypes. Focus of research is put on multifunctional optical coatings, micro- and nano- optics, solid state light sources, optical measurement systems, and opto-mechanical precision systems.

www.iof.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology FEP

Electron beam technology, pulse magnetron sputtering and plasma activated high-rate deposition are the core areas of expertise of Fraunhofer FEP. Our business units include vacuum coating, surface modification and treatment with electrons and plasmas. Besides developing layer systems, products and technologies, another main area of work is the scale-up of technologies for coating and treatment of larger areas at high productivity. Our technologies and processes are applied in the fields of mechanical engineering, solar energy, biomedical engineering, environment and energy, for architecture and preservation purposes, in the packaging industry, for optics, sensor technology and electronics as well as in agriculture.

www.fep.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Mit über 350 Patenten seit 1985 ist das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere Technologiefelder umfassen Laser und Optik, Lasermesstechnik, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermaterialbearbeitung. Hierzu zählen u.a. das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie die Oberflächenbearbeitung, die Mikrofertigung und das Rapid Manufacturing. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik.

www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Das Fraunhofer IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung, Schichtcharakterisierung und Oberflächenanalyse. Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure arbeiten daran, Oberflächen der verschiedensten Grundmaterialien neue oder verbesserte Funktionen zu verleihen, um auf diesem Wege innovative, marktgerechte Produkte zu schaffen. Das Institut ist in folgenden Geschäftsfeldern tätig: Maschinen- und Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt, Werkzeuge, Energie, Glas und Fassade, Optik, Information und Kommunikation, Mensch und Umwelt.

www.ist.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT

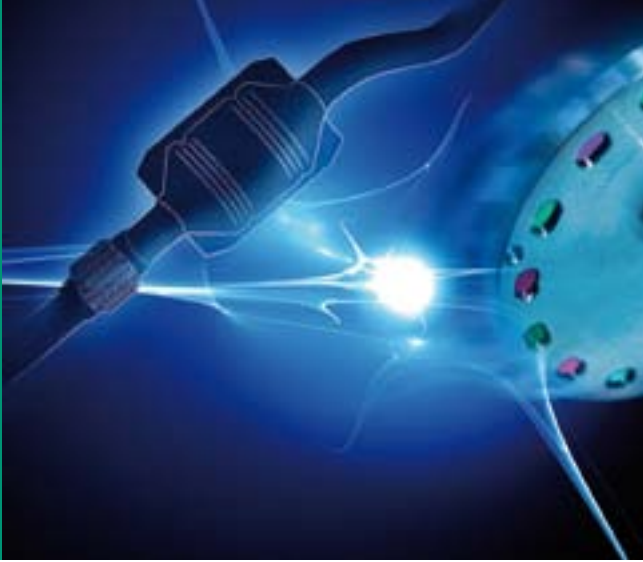
With more than 350 patents since 1985 the Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT develops innovative laser beam sources, laser technologies, and laser systems for its partners from the industry. Our technology areas cover the following topics: laser and optics, medical technology and biophotonics, laser measurement technology and laser materials processing. This includes laser cutting, caving, drilling, welding and soldering as well as surface treatment, micro processing and rapid manufacturing. Furthermore, the Fraunhofer ILT is engaged in laser plant technology, process control, modeling as well as in the entire system technology.

www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST

As an industry oriented R&D service center, the Fraunhofer IST is pooling competencies in the areas film deposition, coating application, film characterization, and surface analysis. Scientists, engineers, and technicians are busily working to provide various types of surfaces with new or improved functions and, as a result, help create innovative marketable products. The institute's business segments are: mechanical and automotive engineering, aerospace, tools, energy, glass and facade, optics, information and communication, life science and ecology.

www.ist.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Das Fraunhofer IPM entwickelt und realisiert optische Sensor- und Belichtungssysteme. Bei den vorwiegend Laser-basierten Systemen sind Optik, Mechanik, Elektronik und Software ideal aufeinander abgestimmt. Die Lösungen sind besonders robust ausgelegt und jeweils individuell auf die Bedingungen am Einsatzort zugeschnitten. Auf dem Gebiet der Thermoelektrik verfügt das Institut über Know-how in Materialforschung, Simulation und Systemen. In der Dünnschichttechnik arbeitet Fraunhofer IPM an Materialien, Herstellungsprozessen und Systemen.

www.ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS ist in den Geschäftsfeldern Fügen, Trennen und Oberflächen-technik tätig. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten basieren auf einem ausgeprägten werkstoff- und nanotechnischen Know-how und umfassenden Möglichkeiten der Werkstoffcharakterisierung. Die Besonderheit des Fraunhofer IWS liegt in der Kombination dieses Know-hows mit weitreichenden Erfahrungen in der Entwicklung von Technologien und Systemtechnik im Bereich der Schicht- und Lasertechnik.

www.iws.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM

Fraunhofer IPM develops and builds optical sensor and imaging systems. These mostly laser-based systems combine optical, mechanical, electronic and software components to create perfect solutions of robust design that are individually tailored to suit the conditions at the site of deployment. In the field of thermoelectrics, the institute has extensive know-how in materials research, simulation, and systems. Fraunhofer IPM also specializes in thin-film technologies for application in the production of materials, manufacturing processes and systems.

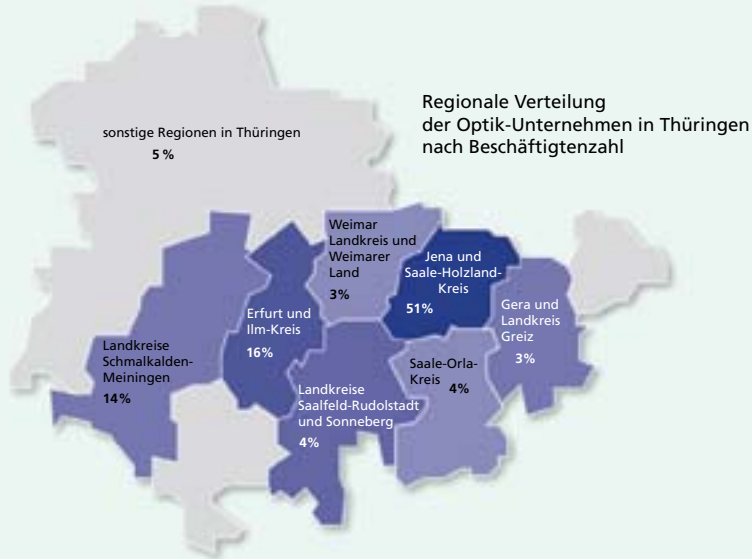
www.ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS

The business areas joining, cutting and surface technology are the main foci of the Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS. The research and development activities base on a distinctive know-how in the field of material engineering and nanotechnology and include the possibility of material characterization. The IWS's special feature is its expertise in combining its know-how with its extensive experience in developing system technologies within the field of film- and laser technology.

www.iws.fraunhofer.de

Regionale Verteilung der Optik-Unternehmen in Thüringen nach Beschäftigtenzahl



FRAUNHOFER IOF IN DER OPTIKREGION JENA

FRAUNHOFER IOF IN THE JENA OPTICS REGION

Als einer der erfolgreichsten Optikstandorte in Europa gehört die Region Jena zu den maßgeblichen Akteuren der deutschen Optikszene. Etwa 14 000 Beschäftigte erwirtschaften einen Umsatz von über 2,5 Mrd. Euro jährlich auf dem Gebiet der Optischen Technologien. Das Umsatzwachstum im Cluster betrug in den vergangenen Jahren durchschnittlich 10 %. Die erfolgreiche interdisziplinäre Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft in der modernen Optik wird seit langem weltweit als Beispiel für effektive regionale Kooperation und als Beweis für das Leistungsvermögen des Standorts Jena angesehen.

1999 haben sich die Akteure der Region im **OptoNet e.V.** zusammengeschlossen. Hierzu gehören auf den jeweiligen Märkten führende Unternehmen wie die Töchter der Carl Zeiss AG und der Schott AG sowie der JENOTIK AG. Hinzu kommen eine Vielzahl von wachstumsorientierten KMU sowie Hochschulen und Forschungseinrichtungen, u. a. die FSU Jena und das Fraunhofer IOF. Auf der Grundlage des kontinuierlich fortgeschriebenen Strategieprozesses erfolgte mit der Strategie **CoOPTICS – Cooperate in Optics** eine inhaltliche Neuausrichtung und Fokussierung des Clusters auf Wachstumsmärkte. Mit der Gründung des Innovationsclusters **JOIN – Jena Optical INnovations** durch Fraunhofer und den Freistaat Thüringen im Jahr 2006 wurde eine Plattform für eine institutionsübergreifende vorwettbewerbliche Entwicklung von Basistechnologien und deren Überführung in die industrielle Fertigung geschaffen. 2010 erfolgte die strategische Ausrichtung des Innovationsclusters auf die Schaffung nachhaltiger Lösungen für die Zukunft mit Licht – **»Green Photonics«**.

As one of the most successful optics locations in Europe, the Jena region is one of the leading players on the German optics scene. About 14,000 employees currently generate sales of over 2.5 billion euros every year in optical technologies. The cluster has experienced an average growth in sales of 10 % in recent years.

Across the world, the successful interdisciplinary cooperation between business and science in modern optics has for years been viewed as an example of effective regional cooperation and evidence of the Jena location's capabilities.

In 1999, the region's players merged as **OptoNet e.V.** Companies in their respective markets of the optics network include the subsidiaries of Carl Zeiss AG and Schott AG, as well as Jenoptik AG. To these must be added a multitude of growth-oriented SMEs as well as universities and research institutions, among these the FSU Jena and the Fraunhofer IOF. On the basis of a continuously updated strategy process, within the **CoOPTICS – Cooperate in Optics** strategy the substantive realignment and focus of the cluster toward growth markets took place.

The founding of the **JOIN – Jena Optical INnovations** cluster by Fraunhofer and the Free State of Thuringia in 2006 created a platform for pan-institutional precompetitive development of base technologies and their transfer to industrial production. Since 2010 the strategic alignment of the innovation cluster is concentrated to the generation of sustainable solutions using light – **"Green Photonics"**.

DAS FRAUNHOFER IOF IN VERBÄNDEN

THE FRAUNHOFER IOF IN ALLIANCES

- Ausbildungsverbund der IHK Ostthüringen
- Beutenberg Campus e.V.
- Deutsche Gesellschaft für Angewandte Optik e.V. – DGaO
- Europäische Forschungsgemeinschaft dünner Schichten e.V. – EFDS
- European Optical Society – EOS
- European Photonics Industry Consortium – EPIC
- Fachverband für Sensorik e.V. – AMA
- FasiMIT – Aus- und Weiterbildungsnetzwerk zur Fachkräftesicherung in der Mikrosystemtechnik in Thüringen
- Fraunhofer-Allianz Vision
- Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces
- Industrieverband SPECTARIS
- Kompetenzzentrum Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung e.V. – CC UPOB e.V.
- medways e.V.
- Mikro- und Nanotechnik Thüringen e.V. – MNT
- NEMO SpectroNet
- Netzwerk Mikrotechnologie in Formenbau und Spritzgießtechnik
- OptoNet e.V.
- Polymermat e.V.
- SolarInput e.V.
- Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik e.V. – WLT

NAMEN, DATEN, EREIGNISSE

NAMES, DATES, ACTIVITIES

Besondere Gäste | Special Guests

Dr. Jose Alvarez
Centro de Investigacion
e Innovacion Tecnologica
del IPN, Mexico, Mexico

Niklas Borgquist,
Mats Wernersson
Sony Ericsson Mobile
Communications AB,
Lund, Sweden

Dr. Emiliano Descrivi
Politecnico Torino, Turin, Italy

Prof. Akira Endo
Tokyo, Japan
Carl-Zeiss Gastprofessor
an der Friedrich-Schiller-
Universität Jena

H. Fujimoto, Y. Yamanaka
RICOH COMPANY, LTD.,
Yokohama, Japan

Dr. Manabu Kagami
Toyota Central R&D LABS.,
Inc., Aichi, Japan

Prof. Toshikuni Kaino,
Prof. Sugihara
Tohoku University, Sendai,
Japan

Philip Lalanne
Laboratoire Charles Fabry
de l'Institut d'Optique, CNRS,
Univ. Paris-Sud, Palaiseau
cedex, France

S. Longhi
Dipartimento di Fisica,
Politecnico di Milano, Italy

Prof. Francesco Michelotti
University "La Sapienza",
Rome, Italy

Prof. Dr. Kyungshwan Oh
Yonsai University, Yonsai,
Korea

Dominique Pierot
Astrium SAS, Paris, France

Prof. Kestutis Staliunas
Universitat Politecnica de
Catalunya, Barcelona, Spain

Prof. Dr. Allen Yi
Ohio State University, USA
Gastwissenschaftler Alexan-
der von Humboldt Stiftung

Kunio Yoshida
AII Co., Ltd, Kanagawa, Japan

Internationale Koopera- tionen | International Cooperations

Austria
Universität Innsbruck, Institut
für Experimentalphysik,
Prof. Hans K. Pulker

Canada
University of Toronto,
Peter Hermann

Denmark
Technical University of
Denmark, Prof. Peter Bøggild

Finland
VTT Technical Research
Centre of Finland,
Dr. Ari Alastalo

France
Université Jean Monnet,
Saint-Etienne,
Prof. Olivier Parriaux

Indonesia
Institute for Technology
Bandung, Prof. Aleksander
Iskander

Ireland
Trinity College Dublin,
Prof. Werner Blau

Israel
Technion, Haifa,
Prof. Abraham Marmor,
Dr. Alexander Szameit
RAFAEL, Haifa,
Dr. Hedva Zipin

Italy
ENEA, Rom,
Dr. Angela Piegari
University "La Sapienza",
Rom, Prof. Francesco
Michelotti

Japan
Kobe University, Kobe, Prof.
Hirofumi Suzuki
Tohoku University, Sendai,
Prof. Toshikuno Kaino

Korea
Pohang Accelerator
Laboratory/POSTECH,
Dr. Seungyu Rah

Netherlands
ESTEC European Space
Research and Technology
Centre, Noordwijk,
Umberto Bello

Norway
SINTEF, Trondheim, Aage
Jostein Thunem

Poland
Warsaw University of Techno-
logy, Wojciech Swieszkowski,
PhD
Wroclaw University of
Technology, Prof. Henryk
Kasprzak

Portugal
University Aveiro,
Prof. Nikolai Sobolew
Universidade de Coimbra,
Prof. Maria Helena Mendes
Gil

Russia
Moscow State University,
Prof. Alexander Tikhonravov

Scotland
University of Edinburgh,
Prof. Ian Underwood

Sweden
KTH Royal Institute of Tech-
nology, Prof. Hans Hertz

Switzerland
École Polytechnique Fédérale
de Lausanne, Prof. Dario
Floreano
Eidgenössische Technische
Hochschule Zürich, Daniel
Gisler, Prof. Dr. Reza Abhari
EMPA Swiss Federal Labora-
tories for Materials Testing
and Research, Dübendorf,
Dr. Ir. Arie Bruinink
IMT University Neuchâtel,
Prof. Hans-Peter Herzog

Ukraine
National Technical Univer-
sity "Kharkov Polytechnic
Institute", Prof. Valery V.
Kondratenko

USA
CREOL, Orlando (Florida),
Prof. James Harvey
National Institute of Stan-
dards and Technology,
Dr. Tom Lucatorto,
Dr. Shannon Hill
Naval Air Warfare Center,
China Lake, Dr. Jean M.
Bennett
University of Michigan,
College of Engineering,
Prof. Jerzy Kanicki
University of Wisconsin-
Madison/Computational
Mechanics Center, Madison,
Prof. Roxann L. Engelstad
The Ohio State University,
Prof. Allen Yi

Messebeteiligungen 2010 | Fairs Participations 2010

Photonics West

26.–28. Januar, San Francisco, USA

nano tech

17.–19. Februar, Tokio, Japan

Control

4.–7. Mai, Stuttgart, Germany

SID

23.–28. Mai, Seattle, USA

ILA Berlin Air Show

8.–13. Juni, Berlin, Germany

OPTATEC

15.–18. Juni, Frankfurt/Main, Germany

PSE

13.–17. September, Garmisch-Partenkirchen, Germany

K2010

27. Oktober bis 2. November, Düsseldorf, Germany

VISION

9.–11. November, Stuttgart, Germany

Euromold

1.–4. Dezember, Frankfurt/Main, Germany

Preise 2010 | Awards 2010

OSA-Fellow

Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Cymer Service Award

Fraunhofer IOF

Hugo-Geiger-Preis

Marcel Sieler

STIFT – Preis für hervorragende anwendungsorientierte Promotionsarbeiten

Dr. Martin Bischoff

STIFT – Sonderpreis für Wissensbasiertes Innovationspotenzial

Prof. Dr. Jens Limpert, Active Fiber Systems GmbH

HEPTAGON – Sven Bühling – Forschungsförderpreis

Steffen Hädrich

Auszeichnung als Anerkannte Ausbilderin durch die IHK Ostthüringen

Antje Oelschläger

Best student oral presentation, EOS Topical Meeting on Micro-Optics

Maria Oliva

Best Student Presentation, Photonics West 2010

Steffen Hädrich

Incubic/Milton Chang Student Travel Grant der OSA

Robert Keil

Best Student Poster, Photonics West 2010

Dr. Damian Schimpf

Best Student Presentation, honorable mention, Photonics West 2010

Jens Thomas

Best Student Presentation, 2nd place, LASE

Jens Thomas

Posterpreise – 2. Thüringer Kolloquium »Dünne Schichten in der Optik«

1. Preis Astrid Bingel
2. Preis Dr. Mark Schürmann

Auslandsstipendium DAAD

Christian Voigtländer

Aus- und Weiterbildung | Education and further training

Die umfangreichen Aktivitäten des Fraunhofer IOF auf dem Gebiet der Aus- und Weiterbildung erstrecken sich von der Ausbildung von Physiklehranten und Industriemechanikern über die Betreuung von Praktikanten, von Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten sowie von Doktoranden, das Halten von Vorlesungen, die Durchführung von Seminaren und Praktika an den Jenaer Hochschulen bis zur Organisation von Workshops und internationalen Konferenzen.

Comprehensive activities of Fraunhofer IOF in the field of education and further training range from professional training of laboratory technicians and industrial mechanics over the supervision of interns, graduates and postgraduates, giving lectures and seminars at the Jena universities up to the organization of workshops and international scientific conferences.

Vorlesungen | Lectures

Dr. Ramona Eberhardt,
Dr.-Ing. Erik Beckert
Optikmontage
Fachhochschule Jena

Dipl.-Ing. (FH) Nils Heidler
Design of Precision Devices
Fachhochschule Jena

Prof. Dr. Norbert Kaiser
Beschichtungstechnik Nanooptik
Fachhochschule Jena

Dr. Oliver Mauroner
Grundlagen des Marketing Managements
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Grundlagen der Laserphysik Experimentelle Methoden der Atom- und Molekülphysik
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Prof. Dr. Falk Lederer
Angewandte Photonik
Seminar für Doktoranden der FSU Jena

Dr. habil. Uwe Detlef Zeitner,
Prof. Dr. Frank Wyrowski
Optical Modeling and Design I
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Dr. habil. Uwe Detlef Zeitner
Micro- and Nano-Technology
Friedrich-Schiller-Universität Jena

**Conferences – Workshops
– Events**

OTTI-Fachforum »Schicht-herstellungstechniken für die Präzisionsoptik«
20.–21. Januar 2010,
Regensburg

4. UPOB – High Level
Expert Meeting 2010
»Asphärenmesstechnik«
10.–11. März 2010, PTB-
Braunschweig

Society of Vacuum Coaters
SVC 53rd Ann. Techn. Conf.
17.–22. April 2010, Orlando
USA

INLAS-Jahrestagung
27. April 2010, Jena

MABRILAS-Jahrestagung
28. April 2010, Jena

OTTI-Fachforum »Schichten
auf Glas«
3.–4. Mai 2010, Regensburg

OptoNet-Workshop /
OptiMi-Statusseminar
»Optische Mikrosysteme«
18. Mai 2010, Fraunhofer IOF
Jena

International Conference
»On Coatings on Glass and
Plastics«
13.–17. Juni 2010, Braun-
schweig

ESTO 2010, »EOS Sympo-
sium on Trends in Optical
Technologies«
15.–18. Juni 2010, Frankfurt

6. Thüringer Grenz- und
Oberflächentage
2. Thüringer Kolloquium
»Dünne Schichten in der
Optik«
7.–9. September 2010, Gera

CoOPTICS-Jahrestagung
15. September 2010, Jena

OptoNet-Workshop »Ultra
Precision Manufacturing of
Aspheres and Freeforms«
22.–23. September 2010,
Jena

OptoNet »Gründerimpuls-
veranstaltung Mikrooptik/
Mikrosystemtechnik«
6. Oktober 2010, Jena

**Diplomarbeiten |
Diploma Theses**

Ria Becker
Maßgeschneiderte
Faser-Bragg-Gitter durch
Wellenfrontformung
ultrakurzer Pulse
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 11/10

Astrid Bingel
Leitfähige und transpa-
rente aluminiumdotierte
ZnO-Schichten
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 12/10

Stefan Demmler
Skalierung Faserlaser-
gepumpter parametrischer
Verstärker zu Pulsen mit
wenigen optischen Zyklen
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 11/10

Dirk Dunkhase
Positionierung eines
Fügwerkzeuges in einem
Mikromontageprozess
Fachhochschule Jena, 08/10

Stefan Hanf
Untersuchung der
Verstärkungscharakteristik
von Ytterbium-dotierten
Ultrakurzpulsfasern
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 09/10

Vinzenz Hilbert
Ultrakurzpulsinduzierte
QPM-Strukturen in
Lithiumniobat
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 02/10

Jan Kinast
Untersuchungen zum
thermischen Verhalten
von amorphen Chemisch
Nickel-Schichten für hoch-
präzise Metalloptiken
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 10/10

Arno Klenke
Kohärentes Kombinieren
ultrakurzer Pulse
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 11/10

Manuel Krebs
Erzeugung höherer
Harmonischer (HHG)
mittels Kurzpuls-Faserlaser-
systemen
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 02/10

Dennis Lehr
Effektive Medien zur
Entspiegelung im
ultravioletten Spektral-
bereich – Simulation und
interferenzlithografische
Herstellung von lateralen
Antireflex-Strukturen
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 03/10

Mattes Liebsch
Untersuchung zu Wech-
selwirkungen optischer
Mikroresonatoren mit
externen Störungen
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 03/10

Torsten Mai
Optisch geometrische
Charakterisierung von ex-
vivo Tieraugen zur Behand-
lung der Presbyopie mittels
ultrakurzer Laserpulse
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 02/10

Julia Meyer
Entwicklung eines hoch-
auflösenden Multiapertur-
Abbildungssystems
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 12/10

Hans-Jürgen Otto
Modenanalyse optischer
Fasern durch räumlich
und spektral aufgelöste
Interferometrie
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 12/10

Stephan Ratzsch
Modellierung der elek-
tronenlithographischen
Strukturerzeugung in dem
chemisch verstärkten Resist
FEP 171
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 02/10

Robert Riedel
Realization of Channel
Waveguides in Zinc-
substituted Lithium
Niobate Films by Means of
Heavy Ion Irradiation
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 07/10

Carolyn Rothardt
Experimentelle Unter-
suchungen zur Nano-
topografie und Benetzung
hydrophober Schichten auf
Glas
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 05/10

Marc Schinköth
Herstellung von optischen
Nanostrukturen mit CMP-
Technologie
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 05/10

Matthias Schmidt
Entwicklung und
Implementierung eines
Verfahrens zur 3-dimensi-
onalen Lagebestimmung
im Raum zur Korrektur
des Verfahrensfehlers eines
hochgenauen Positionier-
systems
Fachhochschule Jena, 03/10

David Schmitz
Untersuchung von
Subsurface-Defekten an
optischen Oberflächen
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 08/10

Markus Schoeler
Optische und funktionale
Eigenschaften nanoporöser
Sol-Gel-Schichten
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 06/10

Lorenz Stürzebecher
Beugungslithographie
zur Herstellung von hoch-
aufgelösten periodischen
Mikrostrukturen in einem
Mask Aligner
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 11/10

Tobias Thieb
Longitudinale Charakteri-
sierung von Faser-Bragg-
Gittern
Friedrich-Schiller-Universität
Jena, 09/10

Georgios Weniadiadis
Entwicklung und
Charakterisierung eines
Fasergreifers zur präzisen
Positionierung von zehn
optischen Fasern für einen
anschließenden Spleiß-
prozess
Fachhochschule Jena, 01/10

Ben Zaage
Untersuchung zur Optimie-
rung eines Montage- und
Justierprozesses zum Auf-
bau planarer Baugruppen
im sub-µm Bereich
Fachhochschule Jena, 05/10

Ingmar Zink
Untersuchungen zur Bildung und messtechnischen Charakterisierung mittels LAVA-Verfahren hergestellter Nanopartikel
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 02/10

Bachelorarbeiten | Bachelor Theses

Daniel Asoubar
Replikation von plasma-geätzten Antireflexstrukturen mittels Heißprägen
Fachhochschule Jena, 08/10

Andreas Bischoff
Untersuchungen zur gezielten Entfernung von Mantelmoden in optischen Multimodefasern für den Transport hoher optischer Leistungen
Fachhochschule Jena, 07/10

Martin Kunz
Tomographische Untersuchungen mittels Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie
Technische Universität Ilmenau, 01/10

Matthias Lorenz
Konzeption, Aufbau und Validierung des Wellenfrontmessplatzes »Miranda«
Fachhochschule Jena, 12/10

Konrad Riede
Charakterisierung einer Vorrichtung zum Tapern optischer Lichtwellenleiter
Fachhochschule Jena, 08/10

Erik Schmidt
Charakterisierung eines Justierfutters
Fachhochschule Jena, 07/10

Nico Sommer
Untersuchungen zur Optimierung einer Vorrichtung zur Justierung von LTCC-Keramik Grünfolien, Silizium-Wafern und Prägwerkzeugen
Fachhochschule Jena, 10/10

Tobias Tieß
Longitudinale Charakterisierung von Faser-Bragg-Gittern
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 09/10

Sarah Walther
Untersuchungen zur Montage einer miniaturisierten Endoskopoptik
Fachhochschule Jena, 07/10

Steffen Weimann
Optimierung eines Linsendehnapparates zur Charakterisierung von in-vitro-Linsen
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 09/10

Sven Wickenhagen
Analyse und Optimierung von Zeitabläufen bei Streifenprojektion
Fachhochschule Jena, 09/10

Masterarbeiten | Master Theses

Ralf Dörfer
Untersuchungen zur Herstellung von Polarisatoren durch thermisches Bedampfen plasmageätzter Strukturen
Fachhochschule Jena, 10/10

Beate Hager
Entwicklung eines ultrakompakten OLED-Projektionssystems
Fachhochschule Jena, 02/10

Christina Hüttl
Thermische Stabilität von Mo/Si-Schichtsystemen für den EUV-Spektralbereich
Fachhochschule Jena, 12/10

Tino Kopf
Anwendung von CAx-Programmen in einer Prozesskette für das Ultrapräzisionsfräsen
Fachhochschule Jena, 11/10

Andreas Martin
Parametervariation und thermische Untersuchung gütegeschalteter Kurzpuls-laser (Microchiplaser)
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 12/10

Andreas Reimann
Untersuchung zur UV-Abformung von mikrooptischen Elementen mit großen Strukturhöhen
Fachhochschule Jena, 02/10

Dissertationen | Dissertations

Dr. rer. nat. Claudia Brückner
THz-Optiken für Bildgebungssysteme
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 11/10

Dr. rer. nat. Felix Dreisow
Waveguide lattices as a model system for solid state phenomena
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 02/10

Dr. rer. nat. Stephan Gräf
Untersuchungen zum Laserstrahlschweißen mit dynamischer Polarisierung
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 09/10

Dr. rer. nat. Holger Hartung
Mikro- und Nanostrukturierung von Lithiumniobat
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 02/10

Dr. rer. nat. Jan Rothhardt
High power ultra-short pulse lasers based on fiber driven OPCPA
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 08/10

Dr. rer. nat. Damian Nikolaus Schimpf
Pulse Shaping Strategies in short-pulse fiber amplifiers
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 02/10

Dr.-Ing. Oliver Schmidt
Leistungsskalierung kurzgepulster Faserlasersysteme
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 03/10

Examensarbeiten | Exam

Michael Vogel
Selektives Ätzen von Glas nach Bestrahlung mit ultrakurzen Pulsen
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 09/10

Patentanmeldungen 2010 | Patent Applications 2010

(A1)
Flämmich, M.; Danz, N.; Riegel, A. (OSRAM OS); Setz, D.S. (Osram OS); Frischeisen, J. (Uni Augsburg); Brütting, W. (Uni Augsburg); Dobbertin, T. (Osram OS); Heuser, K. (Osram OS); Krummacher, B.C. (Osram OS)
Strahlungsemitternde organisch-elektronische Vorrichtung und Verfahren zu deren Herstellung
DE 10 2010 054 893.6

(A2)
Füchsel, K.; Kley, E.-B.; Käsebier, T. (IAP); Kroll, M. (IAP); Pertsch, T. (IAP)
Strukturierte Siliziumschicht für ein optoelektronisches Bauelement und optoelektronisches Bauelement
DE 10 2010 012 044.8

(A3)
Füchsel, K.; Nolte, S.; Gabor, M. (IAP); Hoyer, P. (FhG)
Verfahren zur Charakterisierung von Materialparametern an Halbleitergrenzflächen mittels THz-Strahlung
DE 10 2010 056 098.7

(A4)
Jáuregui, C. (IAP); Tünnermann, A.; Limpert, J.; Nodop, D. (IAP)
Effiziente Frequenzkonversion
DE 2010 055 284.4

(A5)
Kalkowski, G.; Eberhardt, R.; Schürmann, M.; Fabian, S.; Jahnke, C.
Verfahren zum silikatischen Bonden von beschichteten und unbeschichteten optischen Körpern
DE 10 2010 016 908.0

(A6)
Kley, E.-B.; Schulze, M. (IAP)
Verfahren zur Reduzierung der Grenzflächenreflexion einer Glasoberfläche und optisches Element mit einer derartigen Glasoberfläche
DE 10 2010 044 855.9

(A7)
Kley, E.-B.; Weber, T. (IAP)
**Metallstreifenpolarisator
und Verfahren zur Herstel-
lung desselben**
DE 10 2010 031 229.0

(A8)
Limpert, J.; Tünnermann, A.;
Jáuregui, C. (IAP); Stutzki, F.
(IAP); Jansen, F. (IAP)
**Large-Mode-Area double
clad multimode optical
fibers with reduced over-
lap of higher-order modes**
EP 10 192 190.6

(A9)
Limpert, J.; Tünnermann, A.;
Klenke, A. (IAP); Seise, E. (IAP)
**Parallel geschaltete
optische Verstärker**
DE 10 2010 052 950.8
Priorität DE 10 2010 036
030.9

(A10)
Limpert, J.; Tünnermann, A.;
Nodop, D. (IAP); Steinmetz, A.
(IAP)
Nichtlineare Kompression
DE 10 2010 021 262.8
Priorität DE 10 2010 014
998.5

(A11)
Limpert, J.; Tünnermann, A.;
Steinmetz, A. (IAP);
Nodop, D. (IAP)
**Spektrale Filterung
gepulster Laser**
DE 10 2010 023 756.6

(A12)
Limpert, J.; Tünnermann, A.
Pulsed light source
US 12/800,724

(A13)
Nodop, D.; Limpert, J.;
Tünnermann, A.
**Unterdrückung stimulierter
Brillouin-Streuung**
DE 10 2010 052 907.9

(A14)
Oberdörster, A.; Brückner, A.;
Wippermann, F.
**Verzeichnungskorrektur
und Verflechtung von
Mikrobildern aus Multia-
pertur-Abbildungssystemen**
DE 10 2010 031 535.4

(A15)
Präfke, C.; Schulz, U.;
Kaiser, N.
**Antireflexschichtsystem
und Verfahren zu dessen
Herstellung**
DE 10 2010 006 133.6

(A16)
Präfke, C.; Schulz, U.;
Kaiser, N.
**UV-absorbierendes Schicht-
system und Verfahren zu
dessen Herstellung**
DE 10 2010 006 134.4

(A17)
Riehemann, G.; Brahm, A.;
Notni, G.; Schmidt, D. (IFAM);
Wöstmann, J. (IFAM)
**System zur Analyse von
Werkstücken**
DE 10 2010 018 626.0

(A18)
Schulz, U.; Kaiser, N.;
Munzert, P.; Dörfer, R.;
Leitel, R.
**Polarisierendes Element
und Verfahren zu seiner
Herstellung**
DE 10 2010 053 880.9

(A19)
Sieler, M.; Schreiber, P.;
Förster, E.
**Projektionsdisplay und
Verfahren zum Anzeigen
eines Gesamtbilds**
DE 10 2010 030 138.8

(A20)
Zeitner, U.D.; Harzendorf, T.;
Stürzebecher, L.
**Beleuchtungseinheit und
Vorrichtung zur lithogra-
phischen Belichtung**
DE 10 2010 035 111.3

**Patenterteilungen 2010 |
Patent Assignment 2010**

(P1)
Beckert, E.; Böhme, S.;
Günter, G. (CZJ); Bartzke, K.
(CZJ); Preißer, U. (CZJ); Lütz,
H. J. (CZJ)
**Verfahren zum justierten
Verbinden von Platten und
nach diesem Verfahren
hergestellte optische
Baugruppe**
DE 10 2006 043 185 B4

(P2)
Erdmann, T. (IAP); Kley, E.-B.;
Tünnermann, A.
Optischer Schalter
DE 10 2005 021 809 B4

(P3)
Guyenot, V.; Damm, C.;
Peschel, T.; Gebhardt, A.;
Siebenhaar, C.
**Verfahren und Vorrichtung
zur Herstellung von
Referenzflächen an Fas-
sungen optischer Elemente
durch eine spanende
Bearbeitung sowie damit
hergestellte optische
Elemente**
EP 1 622 744 B1

(P4)
Kalkowski, G.; Banse, H.;
Eberhardt, R.; Stöckl, W.
**Elektrostatisches Fixierele-
ment und Verfahren zu
seiner Herstellung**
DE 103 30 901 B4

(P5)
Limpert, J.; Tünnermann, A.;
Schreiber, T.; Ortec, B. (IAP);
Nielsen, C. (IAP)
Faserlaser
DE 10 2005 042 073 B4

(P6)
Notni, G.; Heinze, M.;
Kühmstedt, P.
**Verfahren und Vorrichtung
zur Bestimmung der
räumlichen Koordinaten
eines Gegenstandes**
EP 1 497 613 B1

(P7)
Palme, M.; Notni, G.;
Riehemann, S.
**Vorrichtung zum Ausleuch-
ten eines Objektes**
DE 10 2005 021 808 B4

(P8)
Schröder, S.; Duparré, A.;
Notni, G.; Herffurth, T. (IAP)
**Vorrichtung und Verfahren
zur winkelaufgelösten
Streulichtmessung**
DE 10 2009 036 383 B3

(P9)
Wippermann, F.; Schreiber, P.;
Bräuer, A.
**Device for homogenizing
radiation by means of
irregular microlens arrays**
US 7,839,573 B2

**Wissenschaftliche
Publikationen | Scientific
Publications**

Bücher | Books

Großmann, C.; Hager, B.;
Palme, M.; Lippmann, U.;
Notni, G.
**OLED basierender Pico-
Projektor – Optik, Systeme
und Anwendungen**
Jahrbuch Optik und Feinme-
chanik 2010 (2010) S. 63-73,
ISBN 978-3-7949-0800-4

Schulz, U.
Coating on plastics
Handbook of Plastic Optics,
2nd Edition (2010)
p. 161–195,
ISBN 978-3-527-40940-2

Zeitschriften | Journals

Baumgartl, M.; Ortaç, B.;
Lecaplain, C.; Hideur, A.;
Limpert, J.; Tünnermann, A.
**Sub-80 fs dissipative soliton
large-mode-area fiber laser**
Optics Letters 35 (2010) 13
p. 2311–2313,
ISSN 0146-9592

Brahm, A.; Kunz, M.;
Riehemann, S.; Notni, G.;
Tünnermann, A.
**Volumetric spectral
analysis of materials using
terahertz-tomography
techniques**
Applied Physics B: Lasers
and Optics 100 (2010) 1
p. 151–158,
ISSN 1432-0649

Bräuer, A.; Dannberg, P.;
Schreiber, P.
**Wafer-Level-Technologie
für Multilagige Mikroop-
tikmodule**
Photonik 42 (2010) 3
S. 50–52,
ISSN 1432-9778

Brückner, C.; Notni, G.;
Tünnermann, A.
**Optimal arrangement of
90 degrees off-axis parab-
olic mirrors in THz setups**
Optik 121 (2010) 1
p. 113–119,
ISSN 0030-4026

- Brückner, F.; Friedrich, D.; Clausnitzer, T.; Britzger, M.; Burmeister, O.; Danzmann, K.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.; Schnabel, R.
Realization of a Monolithic High-Reflectivity Cavity Mirror from a Single Silicon Crystal
Physical Review Letters 104 (2010) 16 163903, ISSN 0031-9007
- Brückner, A.; Leitel, R.; Dannberg, P.; Duparré, J.; Bräuer, A.; Tünnermann, A.
Thin wafer-level camera lenses inspired by insect compound eyes
Optics Express 18 (2010) 24 p. 24379–24394, ISSN 1094-4087
- Dick, L.; Steinkopf, R.
Korrekturbearbeitung optischer Freiformflächen für sub- μm -Formgenauigkeiten im Spritzgusswerkzeug
Photonik 42 (2010) 5 S. 2–4, ISSN 1432-9778
- Döring, S.; Richter, S.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
In situ imaging of hole shape evolution in ultrashort pulse laser drilling
Optics Express 18 (2010) 19 p. 20395–20400, ISSN 1094-4087
- Döring, S.; Ancona, A.; Hädrich, S.; Limpert, J.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Microdrilling of metals using femtosecond laser pulses and high average powers at 515 nm and 1030 nm
Applied Physics A: Materials Science & Processing 100 (2010) 1 p. 53–56, ISSN 0947-8396
- Dreisow, F.; Heinrich, M.; Keil, R.; Tünnermann, A.; Nolte, S.; Longhi, S.; Szameit, A.
Classical Simulation of Relativistic Zitterbewegung in Photonic Lattices
Physical Review Letters 105 (2010) 14 143902, ISSN 0031-9007
- Edgar, M.P.; Barr, B.W.; Nelson, J.; Plissi, M.V.; Strain, K. A.; Burmeister, O.; Britzger, M.; Danzmann, K.; Schnabel, R.; Clausnitzer, T.; Brückner, F.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Experimental demonstration of a suspended, diffractively coupled Fabry-Perot cavity
Classical and Quantum Gravity 27 (2010) 8 084029, ISSN 0264-9381
- Eidam, T.; Hanf, S.; Seise, E.; Andersen, T.V.; Gabler, T.; Wirth, C.; Schreiber, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Femtosecond fiber CPA system emitting 830 W average output power
Optics Letters 35 (2010) 2 p. 94–96, ISSN 0146-9592
- Flämmich, M.; Gather, M.C.; Danz, N.; Michaelis, D.; Bräuer, A.; Meerholz, K.; Tünnermann, A.
Orientation of emissive dipoles in OLEDs: Quantitative in situ analysis
Organic Electronics 11 (2010) 6 p. 1039–1046, ISSN 1566-1199
- Freese, W.; Kämpfe, T.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Design of binary sub-wavelength multiphase level computer generated holograms
Optics Letters 35 (2010) 5 p. 676–678, ISSN 0146-9592
- Friedrich, K.; Wilbrandt, S.; Stenzel, O.; Kaiser, N.; Hoffmann, K.H.
Computational manufacturing of optical interference coatings: method, simulation results, and comparison with experiment
Applied Optics 49 (2010) 16 p. 3150–3162, ISSN 0003-6935
- Gather, M.; Meerholz, K.; Danz, N.; Leosson, K.
Net optical gain in a plasmonic waveguide embedded in a fluorescent polymer
Nature Photonics 4 (2010) 7 p. 457–461, ISSN 1749-4893
- Großmann, C.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A.
OLED based pico-projection system
Journal of SID 18 (2010) 10 p. 821–826, ISSN 1071-0922
- Hädrich, S.; Rothhardt, J.; Krebs, M.; Tavella, F.; Willner, A.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
High harmonic generation by novel fiber amplifier based sources
Optics Express 18 (2010) 19 p. 20242–20250, ISSN 1094-4087
- Hädrich, S.; Gottschall, T.; Rothhardt, J.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
CW seeded optical parametric amplifier providing wavelength and pulse duration tunable nearly transform limited pulses
Optics Express 18 (2010) 3 p. 3158–3167, ISSN 1094-4087
- Hartung, H.; Kley, E.-B.; Gischkat, T.; Schrepel, F.; Wesch, W.; Tünnermann, A.
Ultra thin high index contrast photonic crystal slabs in lithium niobate
Optical Materials 33 (2010) 1 p. 19–21, ISSN 0925-3467
- Heinert, D.; Grib, A.; Haug-hian, K.; Hough, J.; Kroker, S.; Murray, P.; Nawrodt, R.; Rowan, S.; Schwarz, C.; Seidel, P.; Tünnermann, A.
Potential mechanical loss mechanisms in bulk materials for future gravitational wave detectors
Journal of Physics: Conference Series 228 (2010) 1 012032, ISSN 1742-6588
- Heinrich, M.; Keil, R.; Dreisow, F.; Tünnermann, A.; Nolte, S.; Szameit, A.
Nonlinear localized states in the vicinity of topological defects in waveguide arrays
New Journal of Physics 12 (2010) 113020, ISSN 1367-2630
- Helgert, C.; Pertsch, T.; Rockstuhl, C.; Pshenay-Severin, E.; Menzel, C.; Kley, E.-B.; Chipouline, A.; Etrich, C.; Hübner, U.; Tünnermann, A.; Lederer, F.
Tailoring the Properties of Optical Metamaterials
Chinese Journal of Optics and Applied Optics 3 (2010) 1 p. 1–10, ISSN 1674-2915
- Helm, R.; Mauroner, O., Dowling, M.
Innovativeness as mediator between entrepreneurial motivation and venture performance
International Journal of Entrepreneurship and Small Business 11 (2010) 4 p. 472–491, ISSN 1476-1297
- Jakobs, S.; Lappschies, M.; Schallenberg, U.; Stenzel, O.; Wilbrandt, S.
Characterization of metal-oxide thin films deposited by plasma-assisted reactive magnetron sputtering
Chinese Optics Letters 8 (2010) p. 73–77, ISSN 1671-7694
- Jaureguia, C.; Böhme, S.; Wenetiadis, G.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Side-pump combiner for all-fiber monolithic fiber lasers and amplifiers
Journal of the Optical Society of America B: Optical Physics 27 (2010) 5 p. 1011–1015, ISSN 0740-3224
- Kaiser, N.; Bischoff, M.; Feigl, T.; Schulz, U.; Yulin, S.
A Journey from Ancient China Bronze Mirrors to Picometer Shaped Interference Coatings
Chinese Optics Letters 8 (2010) s1 p. 7–11, ISSN 1671-7694
- Kaiser, N.
Urknall der optischen Technologien vor 70 Jahren!
Vakuum in Forschung und Praxis 22 (2010) 1 S. 3, ISSN 0947-076X

- Kalkowski, G.; Peschel, T.; Risse, S.; Müller, S.; Engelstad, R.L.; Zeuske, J. R.; Vukkadala, P.
Determination of local electrostatic forces for EUVL mask chucks
Microelectronic Engineering 87 (2010) 5–8 p. 1287–1289, ISSN 0167-9317
- Kalkowski, G.; Rohde, M.; Risse, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Direct bonding of glass substrates
ECS Transactions 33 (2010) 4 p. 349–355, ISSN 1938-5862
- Keil, R.; Szameit, A.; Dreisow, F.; Heinrich, M.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Photon correlations in two-dimensional waveguide arrays and their classical estimate
Physical Review A 81 (2010) 2 023834, ISSN 1094-1622
- Kick, A.; Bönsch, M.; Katzschner, B.; Voigt, J.; Herr, A.; Brabetz, W.; Jung, M.; Sonntag, F.; Klotzbach, U.; Danz, N.; Howitz, S.; Mertig, M.
DNA microarrays for hybridization detection by surface plasmon resonance spectroscopy
Biosensors & Bioelectronics 26 (2010) 4 p. 1543–1547, ISSN 0956-5663
- Kim, J.K.; Hagemann, C.; Schreiber, T.; Peschel, T.; Böhme, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Monolithic all-glass pump combiner scheme for high-power fiber laser systems
Optics Express 18 (2010) 12 p. 13194–13203, ISSN 1094-4087
- Lecaplain, C.; Ortac, B.; Machinet, G.; Bouillet, J.; Baumgartl, M.; Schreiber, T.; Cormier, E.; Hideur, A.
High-energy femtosecond photonic crystal fiber laser
Optics Letters 35 (2010) 19 p. 3156–3158, ISSN 0146-9592
- Liu, Y.; Fuchs, H.J.; Liu, Z. K.; Chen, H. Y.; He, S.N.; Fu, S. J.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Investigation on the properties of a laminar grating as a soft x-ray beam splitter
Applied Optics 49 (2010) 23 p. 4450–4459, ISSN 0003-6935
- Menzel, C.; Helgert, C.; Rockstuhl, C.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.; Pertsch, T.; Lederer, F.
Asymmetric Transmission of Linearly Polarized Light at Optical Metamaterials
Physical Review Letters 104 (2010) 25 253902, ISSN 0031-9007
- Nodop, D.; Jauregui, C.; Jansen, F.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Suppression of stimulated Raman scattering employing long period gratings in double-clad fiber amplifiers
Optics Letters 35 (2010) 17 p. 2982–2984, ISSN 0146-9592
- Oliva, M.; Michaelis, D.; Benkenstein, T.; Dunkel, J.; Harzendorf, T.; Matthes, A.; Zeitner, U.D.
Highly efficient three-level blazed grating in the resonance domain
Optics Letters 35 (2010) 16 p. 2774–2776, ISSN 0146-9592
- Ortac, B.; Limpert, J.; Jetschke, S.; Unger, S.; Reichel, V.; Kirchhof, J.; Tünnermann, A.
High-energy soliton pulse generation with a passively mode-locked Er/Yb-doped multifilament-core fiber laser
Applied Physics B: Lasers and Optics 98 (2010) 1 p. 27–31, ISSN 0946-2171
- Ortac, B.; Plötner, M.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Pulse dynamics in a passively mode-locked chirped-pulse fiber laser
Applied Physics B: Lasers and Optics 99 (2010) 1–2 p. 79–82, ISSN 0946-2171
- Ortac, B.; Zaviyalov, A.; Nielsen, C.K.; Egorov, O.; Iliiev, R.; Limpert, J.; Lederer, F.; Tünnermann, A.
Observation of soliton molecules with independently evolving phase in a mode-locked fiber laser
Optics Letters 35 (2010) 10 p. 1578–1580, ISSN 0146-9592
- Ozawa, A.; Udem, T.; Zeitner, U.D.; Hänsch, T.; Hommelhoff, P.
Modeling and optimization of single-pass laser amplifiers for high-repetition-rate laser pulses
Physical Review A 82 (2010) 3 033815, ISSN 1094-1622
- Perske, M.; Pauer, H.; Yulin, S.; Trost, M.; Schröder, S.; Duparré, A.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Kollektorbeschichtungen für die EUV-Lithographie
Vakuum in Forschung und Praxis 22 (2010) 4 S. 17–21, ISSN 1522-2454
- Petschulat, J.; Yang, J.; Menzel, C.; Rockstuhl, C.; Chipouline, A.; Lalanne, P.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; Pertsch, T.
Decomposing the scattered field of two-dimensional metaatoms into multipole contributions
E-paper of the Cornell University Library, arXiv.org (2010) arXiv:1002.1571v1
- Petschulat, J.; Cialla, D.; Janunts, N.; Rockstuhl, C.; Hübner, U.; Möller, R.; Schneidewind, H.; Mattheis, R.; Popp, J.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; Pertsch, T.
Doubly resonant optical nanoantenna arrays for polarization resolved measurements of surface-enhanced Raman scattering
Optics Express 18 (2010) 5 p. 4184–4197, ISSN 1094-4087
- Petschulat, J.; Helgert, C.; Steinert, M.; Bergner, N.; Rockstuhl, C.; Lederer, F.; Pertsch, T.; Tünnermann, A.; Kley, E.-B.
Plasmonic modes of extreme subwavelength nanocavities
Optics Letters 35 (2010) 16 p. 2693–2695, ISSN 0146-9592
- Petschulat, J.; Chipouline, A.; Tünnermann, A.; Pertsch, T.; Menzel, C.; Rockstuhl, C.; Paul, T.; Lederer, F.
Simple and versatile analytical approach for planar metamaterials
Physical Review B 82 (2010) 7075102, ISSN 1098-0121
- Petschulat, J.; Yang, J.; Menzel, C.; Rockstuhl, C.; Chipouline, A.; Lalanne, P.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; Pertsch, T.
Understanding the electric and magnetic response of isolated metaatoms by means of a multipolar field decomposition
Optics Express 18 (2010) 14 p. 14454–14466, ISSN 1094-4087
- Pshenay-Severin, E.; Setzpfandt, F.; Helgert, C.; Hübner, U.; Menzel, C.; Chipouline, A.; Rockstuhl, C.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; Pertsch, T.
Experimental determination of the dispersion relation of light in metamaterials by white-light interferometry
Journal of the Optical Society of America B: Optical Physics 27 (2010) 4 p. 660–666, ISSN 0740-3224
- Pupeza, I.; Gu, X.; Fill, E.; Eidam, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.; Krausz, F.; Udem, Th.
Highly sensitive dispersion measurement of a high-power passive optical resonator using spatial-spectral interferometry
Optics Express 18 (2010) 25 p. 26184–26195, ISSN 0146-9592
- Pupeza, I.; Eidam, T.; Rauschenberger, J.; Bernhardt, B.; Ozawa, A.; Fill, E.; Apolonski, A.; Udem, T.; Limpert, J.; Alahmed, Z. A.; Azzeer, A. M.; Tünnermann, A.; Hänsch, T. W.; Krausz, F.
Power scaling of a high-repetition-rate enhancement cavity
Optics Letters 35 (2010) 12 p. 2052–2054, ISSN 0146-9592

- Ramirez, L. P.R.; Heinrich, M.; Richter, S.; Dreisow, F.; Keil, R.; Korovin, A.V.; Peschel, U.; Nolte, S.; Tünnermann, A. (invited paper)
Tuning the structural properties of femtosecond-laser-induced nanogratings
Applied Physics A: Materials Science & Processing 100 (2010) 1 p. 1–6, ISSN 0947-8396
- Ringleb, S.; Rademaker, K.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Monolithically integrated optical frequency converter and amplitude modulator in LiNbO₃ fabricated by femtosecond laser pulses
Applied Physics B: Lasers and Optics (2010) DOI: 10.1007/s00340-010-4275-4, ISSN 0340-3793
- Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Seise, E.; Krebs, M.; Tavella, F.; Willner, A.; Düsterer, S.; Schlarb, H.; Feldhaus, J.; Limpert, J.; Rossbach, J.; Tünnermann, A.
High average and peak power few-cycle laser pulses delivered by fiber pumped OPCPA system
Optics Express 18 (2010) 12 p. 12719–12726, ISSN 1094-4087
- Schimpf, D. N.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Optimization of high performance ultrafast fiber laser systems to > 10 GW peak power
Journal of the Optical Society of America B: Optical Physics 27 (2010) 10 p. 2051–2060, ISSN 0740-3224
- Schmidt, C.; Chipouline, A.; Käsebier, T.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.; Pertsch, T.
Thermal nonlinear effects in hybrid silica/polymer microdisks
Optics Letters 35 (2010) 20 p. 3351–3353, ISSN 0146-9592
- Schröder, S.; Herffurth, T.; Trost, M.; Duparré, A.
Angle-resolved scattering and reflectance of extreme-ultraviolet multilayer coatings: measurement and analysis
Applied Optics 49 (2010) 9 p. 1503–1512, ISSN 0003-6935
- Schultheiss, V.H.; Batz, S.; Szameit, A.; Dreisow, F.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Longhi, S.; Peschel, U.
Optics in Curved Space
Physical Review Letters 105 (2010) 14 143901, ISSN 0031-9007
- Schulz, U.; Munzert, P.; Bollwahn, N.; Kaiser, N.
Plasma processes for modifying the optical properties of polymers
Chinese Optics Letters 8 (2010) Supplement p. 177–179, ISSN 1671-7694
- Schulz, U.; Munzert, P.; Kaiser, N.
Plasma Surface Modification of PMMA for Optical Applications
Journal of adhesion science and technology 24 (2010) 7 p. 1283–1289, ISSN 0169-4243
- Smolik, W.T.; Świączkowski, W.; Kurzydłowski, K.J.; Bruinink, A.; Danz, N.
Image Processing Algorithm for Cell Force Sensor with a Micropillar Patterned Substrate
Biocybernetics and Biomedical Engineering 30 (2010) 3 p. 49–64, ISSN 0208-5216
- Steinmetz, A.; Nodop, D.; Martin, A.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Reduction of timing jitter in passively Q-switched microchip lasers using self-injection seeding
Optics Letters 35 (2010) 17 p. 2885–2887, ISSN 0146-9592
- Stürzebecher, L.; Harzendorf, T.; Vogler, U.; Zeitner, U.D.; Völkel, R.
Advanced Mask Aligner Lithography: fabrication of periodic patterns using pinhole array mask and Talbot effect
Optics Express 18 (2010) 19 p. 19485–19494, ISSN 1094-4087
- Swieszkowski, W.; Smolik, W.T.; Danz, N.; Förster, E.; Kaiser, J.-P.; Bruinink, A.; Kurzydłowski, K.J.
Microsensor for Cell Force Measurement
Sensor Letters 8 (2010) 5 p. 736–743, ISSN 1546-198X
- Szameit, A.; Dreisow, F.; Heinrich, M.; Keil, R.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Longhi, S.
Geometric potential and transport in photonic topological crystals
Physical Review Letters 104 (2010) 15 150403, ISSN 0031-9007
- Szameit, A.; Garanovich, I. L.; Heinrich, M.; Sukhorukov, A. A.; Dreisow, F.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Longhi, S.; Kivshar, Y.S.
Observation of Two-Dimensional Dynamic Localization of Light
Physical Review Letters 104 (2010) 22 223903, ISSN 0031-9007
- Szameit, A.; Kartashov, Y.V.; Zeil, P.; Dreisow, F.; Heinrich, M.; Keil, R.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Vysloukh, V.A.; Torner, L.
Wave localization at the boundary of disordered photonic lattices
Optics Letters 35 (2010) 8 p. 1172–1174, ISSN 0146-9592
- Tavella, F.; Willner, A.; Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Seise, E.; Düsterer, S.; Tschentscher, T.; Schlarb, H.; Feldhaus, J.; Limpert, J.; Tünnermann, A.; Rossbach, J.
Fiber-amplifier pumped high average power few-cycle pulse non-collinear OPCPA
Optics Express 18 (2010) 5 p. 4689–4694, ISSN 1094-4087
- Thomas, J.; Heinrich, M.; Zeil, P.; Hilbert, V.; Rademaker, K.; Riedel, R.; Ringleb, S.; Dubs, C.; Ruske, J.-P.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Laser direct writing: Enabling monolithic and hybrid integrated solutions on the lithium niobate platform
Physica Status Solidi (A) (2010) DOI: 10.1002/pssa.201026452, ISSN 1862-6319
- Tünnermann, A.; Nolte, S.; Limpert, J.
Femtosecond vs. Picosecond Laser Material Processing—Challenges in Ultrafast Precision Laser Micromachining of Metals at High Repetition Rates
Laser Technik Journal 7 (2010) 1 p. 34–38, ISSN 1613-7728
- Tünnermann, A.; Schreiber, T.; Limpert, J.
Fiber lasers and amplifiers: an ultrafast performance evolution
Applied Optics 49 (2010) 25 p. F71–F78, ISSN 0003-6935
- Tünnermann, A.
Laser – das besondere Licht
Physik in unserer Zeit 41 (2010) 5 S. 211, ISSN 0031-9252
- Voigtländer, C.; Richter, D.; Thomas, J.; Tünnermann, A.; Nolte, S.
Inscription of high contrast volume Bragg gratings in fused silica with femtosecond laser pulses
Applied Physics A: Materials Science & Processing (2010) DOI:10.1007/s00339-010-6065-6, ISSN 0947-8396
- Völkel, R.; Vogler, U.; Bich, A.; Pernet, P.; Weible, K.J.; Hornung, M.; Zoberbier, R.; Cullmann, E.; Stürzebecher, L.; Harzendorf, T.; Zeitner, U.D.
Advanced mask aligner lithography: new illumination system
Optics Express 18 (2010) 20 p. 20968–20978, ISSN 1094-4087
- Wachulak, P.W.; Bartnik, A.; Fiedorowicz, H.; Feigl, T.; Jarocki, R. J.; Kostecki, J.; Rakowski, R.; Rudawski, P.; Sawicka, M.; Szczurek, M.; Zawadzki, Z.
A compact, quasi-monochromatic laser-plasma EUV source based on a double-stream gas-puff target at 13.8 nm wavelength
Applied Physics B: Lasers and Optics 100 (2010) 3 p. 461–469, ISSN 0340-3793
- Wilbrandt, S.; Stenzel, O.; Kaiser, N.
All-oxide broadband antireflection coatings by plasma ion assisted deposition: design, simulation, manufacturing and re-optimization
Optics Express 18 (2010) 19 p. 19732–19742, ISSN 1094-4087

- Yoo, G.; Lee, H.; Radtke, D.; Stumpf, M.; Zeitner, U. D.; Kanicki, J.
A maskless laser-write lithography processing of thin-film transistors on a hemispherical surface
Microelectronic Engineering 87 (2010) 1 p. 83–87, ISSN 0167-9317
- Yoo, G.; Fung, T.-Z.; Radtke, D.; Stumpf, M.; Zeitner, U. D.; Kanicki, J.
Hemispherical Thin-Film Transistor Passive Pixel Sensors
Sensors and Actuators A 158 (2010) 2 p. 280–283, ISSN 0924-4247
- Zeitner, U. D.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Photonic Submicron-Structures. Effective media for high-performance applications
Optik & Photonik 5 (2010) 2 p. 46–49, ISSN 1863-1460
- Zeuske, J. R.; Vukkadala, P.; Engelstad, R. L.; Mikkelsen, A. R.; Kalkowski, G.; Risse, S.; Müller, S.
Assessing the mask clamping ability of a low thermal expansion material chuck
Journal of Vacuum Science and Technology B 28 (2010) 6 C6E17, ISSN 1520-8567
- Eingeladene Vorträge/ Publikationen | Invited Lectures/Papers**
- Ancona, A.; Döring, S.; Hädrich, S.; Limpert, J.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Critical Performance Aspects of Ultrashort Pulse Laser Materials Processing at High Repetition Rates and Average Powers
International Congress on Applications of Lasers & Electro-optics (ICALEO), 26.–30. 9. 2010, Anaheim, California, USA
- Bischoff, M.; Gäbler, D.; Kaiser, N.
Plasma Assisted Deposition of Metal Fluoride Coatings 2010 Optical Interference Coatings Topical Meeting and Tabletop Exhibit, Tucson, Arizona, USA
- Bräuer, A.
Möglichkeiten moderner LED-Beleuchtung
NanoMat 2010, 13.–14. 4. 2010, Karlsruhe, Deutschland
- Bräuer, A.; Dannberg, P.
Microoptical systems – challenges for material science
10th International Symposium on Advanced Organic Photonics (ISAOP-10), 28.–30. 9. 2010, Tokyo, Japan
- Bräuer, A.; Wippermann, F.; Brückner, A.; Dannberg, P.
Wafer-scale fabricated imaging systems
7th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (ODF 2010), 19.–22. 4. 2010, Yokohama, Japan
- Eberhardt, R.; Beckert, E.; Wippermann, F.; Lange, N.
ActiveLens – Aktive mikrooptische Systeme in Nutzenfertigung
MST-Vision; Session I: Aufbau- und Verbindungstechnik sowie Fertigungstechnologien, 25. 11. 2010 Harnack-Haus, Berlin, Deutschland
- Eberhardt, R.
Optisches Systemdesign als nachhaltiger Beitrag in der Produkt- und Prozessentwicklung
Start des Roadmap-Prozesses »Ressourceneffizienz Thüringen« Forum Umweltwirtschaft, 1. 12. 2010, Erfurt, Deutschland
- Feigl, T.
Beschichtungen für die EUV Lithografie
2. Thüringer Kolloquium Dünne Schichten für die Optik, 9. 9. 2010, Gera, Deutschland
- Feigl, T.; Yulin, S.; Nesterenko, V.; Schürmann, M.; Perske, M.; Pauer, H.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
EUV Lithography Coatings at Fraunhofer IOF
Intel R&D Appreciation Day 2010, 22. 9. 2010, Leuven, Belgium
- Flämmich, M.; Michaelis, D.; Danz, N.; Setz, D.; Krummacher, B.; Frischeisen, J.; Schmidt, T.; Brütting, W.
Conclusive optical analysis of organic light-emitting devices
6th Global Plastic Electronics Conference & Exhibition, 19.–21.10. 2010, Dresden, Germany
- Gastinger, K.; Johnsen, L.; Kujawinska, M.; Jozwik, M.; Zeitner, U. D.; Dannberg, P.; Albero, J.; Bargiel, S.; Schaefel, C.; Beer, S.; Moosburger, R.; Lamberlet, P.; Pizzi, M.
Next generation test equipment for micro-production
SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPIE Proceedings Vol. 7718 (2010) 77180F, ISSN 978-0-8194-8191-7
- Geiss, R.; Helgert, C.; Hartung, H.; Kley, E.-B.; Rockstuhl, C.; Schrempel, F.; Lederer, F.; Tünnermann, A.; Wesch, W.; Pertsch, T.
Optical metamaterials and photonic crystals: Aspects of large-scale micro- and nanofabrication
27th Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS), 22.–26. 3. 2010, Xi'an, China
- Heinrich, M.; Kartashov, Y.V.; Ramirez, L. P. R.; Szameit, A.; Dreisow, F.; Keil, R.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Vysloukh, V. A.; Torner, L.
Observation of two-dimensional superlattice solitons
2nd International Conference on Nonlinear Waves: Theory and Applications, 26.–29. 6. 2010, Beijing, China
- Kaiser, N.
Entwicklungstendenzen in der Präzisionsoptik – Anforderungen an die Beschichtungstechnik
Otti-Seminar Schichtherstellungstechniken für die Präzisionsoptik, 20.–21.1. 2010 Regensburg, Deutschland
- Kaiser, N.; Awakowicz, P.; Brinkmann, R. P.; Frauenheim, T.; Musch, T.; Ohl, A.; Ristau, D.; Rolfes, I.; Stenzel, O.
Plasma und Optische Technologien (PluTO)
DPG – Frühjahrstagung, Symposium Plasmatechnik für die Optikherstellung (SYPT), 8.–12. 3. 2010, Hannover, Deutschland
- Kaiser, N.; Feigl, T.; Präfke, C.; Schulz, U.; Stenzel, O.
Optical Thin Films
8th International Conference on Coatings on Glass and Plastics (ICCG), 13.–17. 6. 2010, Braunschweig, Germany
- Kaiser, N.
Was ist Präzisionsoptik?
Otti-Seminar Schichtherstellungstechniken für die Präzisionsoptik, 20.–21. 1. 2010, Regensburg, Deutschland
- Kartashov, Y.; Szameit, A.; Heinrich, M.; Dreisow, F.; Keil, R.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Vysloukh, V.; Lederer, F.; Torner, L.
Inhibition of light tunneling in waveguide arrays
8th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, 25.–28. 5. 2010, Dresden, Germany
- Limpert, J.; Tünnermann, A.
Hochleistungs-Ultrakurzpulsfaserlaser für industrielle und wissenschaftliche Applikationen
International Laser-Symposium Fiber & Disc (FISC), 5.–6. 10. 2010, Dresden, Deutschland
- Nolte, S.; Thomas, J.; Voigtländer, C.; Becker, R.; Richter, D.; Tünnermann, A.
Femtosecond Laser Induced Fiber Bragg Gratings – Status and Prospects
Bragg Gratings, Photosensitivity, and Poling in Glass Waveguides (BGPP), 21.–24. 6. 2010, Karlsruhe, Germany
- Notni, G.
3-D-Messtechnik – vom stationären zum bewegten System
Kolloquium Bildverarbeitung – Quo vadis?, 18. 3. 2010, Erlangen, Deutschland

- Notni, G.
Verbesserte präzisionsbearbeiteter Oberflächen – Von der Makrogeometrie bis zur Oberflächenrauheit
BVAu 2010 – Bildverarbeitung in der Automation, Jahreskolloquium, 10. 11. 2010, Lemgo, Deutschland
- Ramirez, L. P. R.; Heinrich, M.; Richter, S.; Dreisow, F.; Keil, R.; Korovin, A. V.; Peschel, U.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Tuning the structural properties of femtosecond-laser-induced nanogratings
Applied Physics A: Materials Science & Processing 100 (2010) 1 p. 1–6, ISSN 0947-8396
- Schreiber, P.,
Effizientes Optikdesign für LED-Systeme
OTTI Fachforum Energieeffiziente Beleuchtung mit LEDs, 18. 1. 2010, Regensburg, Deutschland
- Schreiber, P.
Neue Systemarchitekturen durch mikrooptische Lösungen
JENAer Carl-Zeiss-Optikkolloquium, 14. 12. 2010, Jena, Deutschland
- Schreiber, T.
Optical lithography and next generation EUV light sources
Centro de Investigacion e Innovacion Tecnologica, Instituto Politecnico Nacional (CIITEC-IPN), Mexico City, Mexico
- Schreiber, T.
Optische Lithographie und EUV Quellen
Auswärtsseminar der Arbeitsgruppe Optische Technologien, 1.–3. 9. 2010, Archa, Deutschland
- Schreiber, T.; Hädrich, S.; Rothhardt, J.; Krebs, M.; Nolte, S.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Novel optical light sources based on high power fiber lasers and amplifiers
14th International Conference Laser Optics 2010, Symposium on High-Power Fiber Lasers, 28. 6.–2. 7. 2010, Saint Petersburg, Russia
- Schreiber, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Scaling of fiber laser systems based on novel components and high power capable packaging and joining technologies
NATO Workshop on Mid-IR Fiber Lasers, 28.–29. 9. 2010, Saint-Louis, France
- Schröder, S.; Duparré, A.
Total scattering and surface roughness
EOS Symposium on Trends in Optical Technologies (ESTO 2010), 15.–18. 6. 2010, Frankfurt, Germany
- Stenzel, O.; Wilbrandt, S.
Remote control features in OptiLayer software: Status report on application to virtual and real PIAD experiments
14th OptiLayer Workshop on Optical Coatings for Modern Applications, 22.–24. 4. 2010, Hannover, Germany
- Tünnermann, A.
50 Jahre Lasertechnik – von einer technischen Spielerei zur Schlüsseltechnologie mit einem Multi-Milliarden-Euro-Markt ...
Analystenkonferenz SPECTARIS 2010
- Tünnermann, A.
Advanced solid state laser: status and perspectives
SAOT-Seminar, 31. 5. 2010, Erlangen, Germany
- Tünnermann, A.
Fiber laser technology: Status and prospects
Kolloquium PTB, 7. 4. 2010, Braunschweig, Germany
- Tünnermann, A.
Green Photonics: nachhaltige Lösungen für die Zukunft
Carl-Friedrich-Gauß Kolloquium, 30. 4. 2010, Braunschweig, Deutschland
- Tünnermann, A.
Green Photonics – optical solution for the future
Deutsch-Französisches Kolloquium: 50 Jahre im Licht des Lasers, 5.–6. 11. 2010, Berlin, Germany
- Tünnermann, A.
High average power ultrafast lasers and critical components
ICFA-ICUIL Workshop High Power Laser Technology for Future Accelerators, 8.–10. 4. 2010, Darmstadt, Germany
- Tünnermann, A.; Limpert, J.
Industrial Perspectives of Ultrafast High Energy and High Average Power Fiber Lasers
CLEO 2010 Market Focus
- Tünnermann, A.
Potenziale und Lösungsmöglichkeiten der Photonik für die globalen Herausforderungen
Spectaris Round-Table-Gespräch, 13. 3. 2010
- Tünnermann, A.; Limpert, J.; Nolte, S.
Ultrafast Fiber Laser Technology: Status and Prospects
SPIE Photonics West, Plenary talk, 25.–28. 1. 2010, San Francisco, California, USA
- Völkel, R.; Vogler, U.; Hornung, M.; Zoberbier, R.; Stürzebecher, L.; Harzendorf, T.; Zeitner, U. D.
Micro-Optics: Key Enabling Technology (KET) for Advanced Mask Aligner Lithography
3rd EOS Annual Meeting 2010 (EOSAM 2010), Micro-Optics, 26.–29. 10. 2010, Paris, France
- Yulin, S., Feigl, T., Kaiser, N.
Current state of EUV multilayer optics in IOF
The XIV Nanophysics and Nanoelectronics Symposium 2010, 26. 11. 2010, Nischni Nowgorod, Russia
- Zeitner, U. D.
Considerations on achromatic diffraction
SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
- Zeitner, U. D.; Stürzebecher, L.; Harzendorf, T.
Sub-micrometer pattern generation by diffractive proximity lithography
8th Fraunhofer IISB Lithography Simulation Workshop, 23.–25. 9. 2010, Hersbruck, Germany
- Vorträge, Poster, Konferenzen|
Lectures, Posters, Conferences
- Alvarez-Chavez, J. A.; Martinez-Piñon, F.; Wirth, C.; Schreiber, T.
Large Mode Area Fibre Designs for Micro-machining Applications
SPIE Proc. Vol. 7839 (2010) 783917, ISBN 978-0-819-48360-7
- Baumgartl, M.; Ortaç, B.; Lecaplain, C.; Hideur, A.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
130 nJ 77 fs Dissipative Soliton Fiber Laser
Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) CFK3, ISBN 978-1-55752-890-2
- Beckert, E.; Burkhardt, T.; Hornaff, M.; Kamm, A.; Scheiding, I.; Stiehl, C.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Submicron accuracy optimization for laser beam soldering processes
SPIE Proc. Vol. 7585 (2010) 758505, ISBN 978-0-8194-7981-5
- Beckert, E.; Eberhardt, R.; Banse, H.; Tünnermann, A.; Buchmann, F.; Fettke, M.
Hybrid micro-optical system integration by laserbeam soldering
SPIE Proc. Vol. 6459 (2007) p. 645904, ISBN 978-0-8194-6572-6
- Beckert, E.; Strassmeier, K. G.; Woche, M.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.; Andersen, M.
Waveguide image-slicers for ultrahigh resolution spectroscopy
SPIE Proc. Vol. 7018 (2008) 70182J, ISBN 978-0-8194-7228-1
- Bingel, A.; Fücksel, K.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Transparente leitfähige ZnO:Al-Schichten
6. Thüringer Grenz- und Oberflächentage (ThGOT) und 2. Thüringer Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 7.–9. 9. 2010, Gera, Deutschland

- Brahm, A.; Tymoshchuk, M.; Pradarutti, B.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A. **Multichannel THz-system based on 128-dipole photoconductive antennas** 4th Workshop on Terahertz Technology – International Forum on Terahertz Spectroscopy and Imaging, 2.–3. 3. 2010, Kaiserslautern, Germany
- Brahm, A.; Schmidt, D.; Riehemann, S.; Notni, G.; Wöstmann, F.J.; Tünnermann, A. **Non-destructive determination of the density distribution of polymer foam models with THz-pulses** IRMMW-THz 2010 – 35th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 5.–10. 9. 2010, Rome, Italy Proc. IRMMW-THz 2010 (2010) 10.1109/ICIMW.2010.5612870, ISBN 978-1-4244-6655-9
- Brahm, A.; Riehemann, S.; Kunz, M.; Notni, G.; Tünnermann, A. **THz tomography for the spatial identification of chemical substances** 4th Workshop on Terahertz Technology - International Forum on Terahertz Spectroscopy and Imaging, 2.–3. 3. 2010, Kaiserslautern, Germany
- Brahm, A.; Kunz, M.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A. **Volumetric analysis using terahertz-tomography techniques** IRMMW-THz 2010 – 35th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 5.–10. 9. 2010, Rome, Italy Proc. IRMMW-THz 2010 (2010) 10.1109/ICIMW.2010.5612868, ISBN 978-1-4244-6655-9
- Bräuer-Burchardt, C.; Möller, M.; Munkelt, C.; Kühmstedt, P.; Notni, G. **Comparison and evaluation of correspondence finding methods in 3D measurement systems using fringe projection** Image and Signal Processing for Remote Sensing XVI, 20.–23. 9. 2010, Toulouse, France SPIE Proc. Vol. 7830 (2010) 783019, ISBN 978-0-8194-8347-8
- Bräuer-Burchardt, C.; Munkelt, C.; Heinze, M.; Kühmstedt, P.; Duparré, A.; Notni, G. **Fringe Code Reduction for 3D Measurement Systems Using Epipolar Geometry** ISPRS Technical Commission III Symposium on Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis (PCV 2010), 1.–3. 9. 2010, Paris, France International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 3A, p. 192–197, ISSN 1682-1750
- Breitbarth, A.; Kühmstedt, P.; Heinze, M.; Schmidt, I.; Notni, G. **Ultra-mobile 3D-Mess-technik – Handgeführter 3D-Scanner »kolibri CORD-LESS«** Spectaris Technologieforum, Photokina 2010, 21.–26. 9. 2010, Köln, Deutschland Bruchmann, C.; Burkhardt, T.; Kamm, A.; Gebhardt, S.; Beckert, E.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A. **New results of unimorph laser mirrors with screen printed actuator** SPIE Proc. Vol. 7595 (2010) 75950J, ISBN 978-0-8194-7991-4
- Brückner, A.; Duparré, J.; Dannberg, P.; Leitel, R.; Bräuer, A. **Driving microoptical imaging systems towards miniature camera applications** SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium SPIE Proc. Vol. 7716 (2010) 77160J, ISBN 978-0-8194-8189-4
- Brückner, A.; Duparré, J.; Leitel, R.; Dannberg P.; Bräuer, A. **Ultra-compact close-up microoptical imaging system** SPIE Optical Engineering and Applications, 1.–5. 8. 2010, San Diego, California, USA SPIE Proc. Vol. 7786 (2010) 77860A, ISBN 978-0-8194-8282-2
- Burkhardt, T.; Hornaff, M.; Beckert, E.; Possner, T.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A. **Hermetischer Verschluss biomedizinischer Geräte mittels Solderjet Bumping** 2. GMM Workshop Technologien und Werkstoffe der Mikrosystem- und Nanotechnik, 10.–11. 5. 2010, Darmstadt, Deutschland GMM-Fachbericht 65 Technologien und Werkstoffe der Mikrosystem- und Nanotechnik (2010) S. 100–103, ISBN 978-3-8007-3253-1
- Burkhardt, T.; Hornaff, M.; Beckert, E.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A. **Laser-basiertes Löten - Fügetechnologie für den hermetischen Verschluss miniaturisierter medizinischer Geräte** 44. DGBMT Jahrestagung, 3-Länder-Tagung D-A-CH, 5.–8. 10. 2010 Rostock, Deutschland Proc. Biomed Tech 2010 55 (2010) (Suppl. 1), DOI 10.1515/BMT.2010.631
- Burkhardt, T.; Kamm, A.; Hornaff, M.; Beckert, E.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A. **Precision photonic packaging using laser-based Solderjet Bumping** Smart System Integration 2010. 4th European Conference & Exhibition on integration issues of miniaturized systems – MEMS, MOEMS, ICs and electronic components, 23.–24. 3. 2010, Como, Italy Proc. Smart System Integration 2010, Paper 14, ISBN 978-3-8007-3208-1
- Burkhardt, T., **Soldering of hermetically sealed windows for biomedical devices** InnovationForum für Mikro-technik 2010, 23. 2. 2010, Villingen-Schwenningen, Germany
- Coriand, L.; Schröder, S.; Duparré, A. **PSD-Analyse: Schlüssel zur funktionsgerechten Rauheitscharakterisierung optischer Oberflächen** 111. Tagung der DGaO, 25.–29. 5. 2010, Wetzlar, Deutschland
- Coriand, L.; Mitterhuber, M.; Duparré, A. **Roughness Structures of Ultrahydrophobic and Hydrophilic Coatings on Glass** Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA OSA Technical Digest (2010) ThD8, ISBN 978-1-55752-891-9
- Dannberg, P.; Wippermann, F.; Schreiber, P.; Bräuer, A. **Complex micro-optical systems based on UV curing polymers on glass** Workshop Alternative patterning methods for the manufacture of optical components and systems (ACAPOLY), 3. 9. 2010, Berlin, Germany
- Danz, N.; Sonntag, F.; Kick, A.; Schmieder, S.; Höfer, B.; Klotzbach, U.; Mertig, U. **SPR Plattformtechnologie zur Multi-Parameter-Analyse auf polymeren Chips** 15. Heiligenstädter Kolloquium, 27.9.2010, Heilbad Heiligenstadt, Deutschland; Technische Systeme für die Lebenswissenschaften – 15. Heiligenstädter Kolloquium, IBA Heiligenstadt (2010) S. 177-183, ISBN 978-3-00-032249-5
- Dreisow, F.; Heinrich, M.; Keil, R.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Szameit, A. **Light Evolution in Optical Lattices with Second-Order Inter-Site Coupling** Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) CTuEE4, ISBN 978-1-55752-890-2
- Dreisow, F.; Ornigotti, M.; Szameit, A.; Heinrich, M.; Keil, R.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Longhi, S. **Octave spanning 50:50 beam splitting via interrupted STIRAP** Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) CThW3, ISBN 978-1-55752-890-2

- Duparré, A.
Charakterisierung von Mikro- und Nanostrukturen an Oberflächen
Fraunhofer Vision-Technologietag 2010, 29.–30. 9. 2010, Stuttgart, Deutschland
- Eichhorn, V.; Jasper, D.; Krohs, F.; Bøggild, P.; Fahlbusch, S.; Oliva, M.; Krause, O.; Hascke, H.; Fatikow, S.
NanoBits: Exchangeable and customizable scanning probe tips as a versatile tool for nanoscale applications
7th International Workshop on Microfactories, 24.–27. 10. 2010, Daejeon, Korea
- Eidam, T.; Hanf, S.; Andersen, T.V.; Seise, E.; Wirth, C.; Schreiber, T.; Gabler, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
830 W Average Power Femtosecond Fiber CPA System
Advanced Solid-State Photonics (ASSP), 31. 1.–3. 2. 2010, San Diego, California, USA
- Eidam, T.; Hanf, S.; Andersen, T.V.; Seise, E.; Wirth, C.; Schreiber, T.; Gabler, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Fiber based ultrashort pulse system with kilowatt level average power
Proc. Conference on Optical Fiber Communication/Collocated National Fiber Optic Engineers Conference OFC/NFOEC 2010 (2010) OTuJ1, ISBN 978-1-55752-884-1
SPIE Proc. Vol. 7580 (2010) 75801M, ISBN 978-0-8194-7976-1
- Erdmann, M.; Kley, E.-B.; Zeitner, U.D.
Development of a large blazed transmission grating for the GAIA Radial Velocity Spectrometer
ICSO 2010 – Int. Conf. on Space Optics, 4.–8. 10. 2010, Rhodes Island, Greece
- Feigl, T.; Perske, M.; Pauer, H.; Yulin, S.; Schürmann, M.; Schröder, S.; Trost, M.; Duparré, A.; Kaiser, N.; Böwering, N.; Khodykin, O.; Fomenkov, I.V.; Brandt, D.
Enhanced optical performance of 5.5 sr LPP collector mirror
SPIE Advanced Lithography 2010, 21.–25. 2. 2010, San Jose, California, USA
- Feigl, T.; Yulin, S.; Schürmann, M.; Perske, M.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Coating of world's largest EUV mirror
COST Action MP0601 Working Group Meeting Short Wavelength Laboratory Sources, 27.–28. 5. 2010, Krakow, Poland
- Finck, A.v.; Hauptvogel, M.; Duparré, A.
Instrument for Close-To-Process Light Scatter Measurements of Thin Film Coatings and Substrates
Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA
- Flämmich, M.; Roth, S.; Danz, N.; Michaelis, D.; Bräuer, A.; Gather, M.-C.; Meerholz, K.
Measuring the dipole orientation in OLEDs
SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPIE Proc. Vol. 7722 (2010) 77220D, ISBN 978-0-8194-8195-5
- Flämmich, M.; Danz, N.; Michaelis, D.; Wächter, C. A.; Bräuer, A.; Gather, M.-C.; Meerholz, K.
Measuring the internal luminescence quantum efficiency of OLED emitter materials in electrical operation
Photonics West 2010, 23.–28. 1. 2010, San Francisco, USA
SPIE Proc. Vol. 7617 (2010) 761715, ISBN 978-0-8194-8013-2
- Flämmich, M.; Michaelis, D.; Danz, N.; Wächter, C.; Dannberg, P.; Bräuer, A.
Micro-optical beam-shaper for tailoring light emission from OLEDs
SPIE Proc. Vol. 7716 (2010) 771616, ISBN 978-0-8194-8189-4
- Freese, W.; Kämpfe, T.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Multi-phase-level diffractive elements realized by binary effective medium patterns
SPIE Proc. Vol. 7591 (2010) 75910Z, ISBN 978-0-8194-7987-7
- Füchsel, K.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Käsebier, T.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Nanostructured SIS solar cells
SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPIE Proc. Vol. 7725 (2010) 772502, ISBN 978-0-8194-8198-6
- Füchsel, K.; Schulz, U.
Nanostrukturierte SIS Solarzellen
10. OPTATEC, 15.–18. 6. 2010, Frankfurt am Main, Deutschland
- Füchsel, K.; Schulz, U.
Niedertemperaturabscheidung von transparenten und leitfähigen Schichten
10. OPTATEC, 15.–18. 6. 2010, Frankfurt am Main, Deutschland
- Füchsel, K.
Transparent leitfähige Schichten – Eigenschaften, Herstellung und Anwendungspotential
CIS Forschungsinstitut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH, 1. 10. 2010, Erfurt, Deutschland
- Füchsel, K.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Transparent leitfähige Schichten für SIS Solarzellen
6. Thüringer Grenz- und Oberflächentage (ThGOT) und 2. Thüringer Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 7.–9. 9. 2010, Gera, Deutschland
Proc. S. 335–340, ISBN 978-3-00-031733-0
- Gäbler, D.
Plasmageschützte Prozesse
DPG Frühjahrstagung der Sektion AMOP (SAMOP), 8.–12. 3. 2010, Hannover, Deutschland
- Gather, M.-C.; Meerholz, K.; Danz, N.; Leosson, K.
Optically amplified long-range surface plasmon polaritons
SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
- Gebhardt, A.; Kühmstedt, P.; Scheiding, S.
Asphere Measurement by 3D Profilometer (UA3P) and Noncontacting 3D Shape Measurement at Fraunhofer IOF
4. UPOB – High Level Expert Meeting (HLEM) 2010 – Asphärenmesstechnik, 10.–11. 3. 2010, Braunschweig, Germany
- Gebhardt, A.; Steinkopf, R.; Scheiding, S.; Risse, S.; Damm, C.; Zeh, T.; Kaiser, S.
MERTIS: optics manufacturing and verification
SPIE Optical Engineering + Applications, 1.–5. 8. 2010, San Diego, California, USA
SPIE Proc. Vol. 7808 (2010) 78080Q, ISBN 978-0-8194-8304-1
- Gebhardt, A.; Steinkopf, R.; Kolbmüller, A.
Ultraprecision manufacturing and alignment of aspherical mirrors for a thermal infrared imaging spectrometer
10th Int. Conf. of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, 31. 5.–3. 6. 2010, Delft, Netherlands (2010) p. 132–135, ISBN 978-0-9553082-8-4
- Gödeker, C.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Improved Resistance for Antireflective Coatings on Sapphire
Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA
OSA Technical Digest (Optical Society of America 2010) (2010) MA5, ISBN 978-1-55752-891-9
- Gödeker, C.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Hochstabile Antireflexschichten auf Saphir
Proc. 6. Thüringer Grenz- und Oberflächentage (ThGOT) und 2. Thüringer Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 7.–9. 9. 2010, Gera, Deutschland (2010) S. 365–366, ISBN 978-3-00-031733-0

- Gödeker, C.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Material- und Designoptimierungen für hochstabile AR-Schichten auf Saphir
6. Thüringer Grenz- und Oberflächentage (ThGOT) und 2. Thüringer Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 7.–9. 9. 2010, Gera, Deutschland
- Großmann, C.; Frey, K.; Hager, B.; Palme, M.; Lippmann, U.; Riehemann, S.; Notni, G.
Multimedienprojektionssystem mit OLED-Mikrodisplays
111. Tagung der DGaO, 25.–29. 5. 2010, Wetzlar, Deutschland
- Großmann, C.; Dufour, O.; Zilstorff, C.; Notni, G.
OLED based projection systems for mobile application
SID-ME Dresden, 18.–19. 3. 2010, Dresden, Germany
- Großmann, C.; Palme, M.; Lippmann, U.; Riehemann, S.; Notni, G.
OLED based RGB-micro-projection system for mobile application
SID Conference 2010 (Society of Information Displays), 23.–28. 5. 2010, Seattle, Washington, USA
- Hädrich, S.; Rothhardt, J.; Gottschall, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
2-GW peak power 71-fs pulses at 50 kHz based on nonlinear compression of a fiber CPA system
SPE Proc. Vol. 7580 (2010) 75800V, ISBN 978-0-8194-7976-1
- Hädrich, S.; Krebs, M.; Nolte, S.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
High Repetition Rate Fiber Laser Systems for High Field Physics
Proc. Advanced Solid-State Photonics (ASSP), OSA Technical Digest (Optical Society of America 2010) (2010) AMA4
- Harzendorf, T.; Stürzebecher, L.; Vogler, U.; Zeitner, U. D.; Völkel, R.
Half-tone proximity lithography
SPE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPE Proc. Vol. 7716 (2010) 77160Y, ISBN 978-0-8194-8189-4
- Heger, A.; Schreiber, P.; Höfer, B.
Development and characterisation of a miniaturized laser projection display based on MEMS-scanning-mirrors
SPE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPE Proc. Vol. 7716 (2010) 771619, ISBN 978-0-8194-8189-4
- Heidler, N.; Schenk, C.; Bauer, R.; Risse, S.; Scheiding, S.; Schubert, S.
Dynamical investigation of a wrap-around gas bearing design in a vacuum environment
10th Int. Conf. of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, 31. 5.–3. 6. 2010, Delft, Netherlands
Proc. of the 10th Int. Conf. of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology (2010) p. 400-403, ISBN 978-0-9553082-8-4
- Heinrich, M.; Kartashov, Y. V.; Ramirez, L. P.; Szameit, A.; Dreisow, F.; Keil, R.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Vysloukh, V. A.; Torner, L.
Solitons in Two-Dimensional Binary Superlattices
Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) QTuC5, ISBN 978-1-55752-890-2
- Heinrich, M.; Keil, R.; Szameit, A.; Dreisow, F.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Soliton formation near topological defects in waveguide arrays
SPE Proc. Vol. 7589 (2010) 75890V, ISBN 978-0-8194-7985-3
- Helm, R.; Mauroner, O.
Soft starters, research boutiques and product-oriented firms: different business models for spin-off companies
8th Interdisciplinary European Conference on Entrepreneurship Research (IECER), 10. 3. 2010, Regensburg, Germany
- Herffurth, T.; Schröder, S.; Trost, M.; Duparré, A.
Roughness Measurement of Ultra Precision Surfaces using Light Scattering Techniques and Analysis
Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA
- Herffurth, T.; Schröder, S.; Trost, M.; Duparré, A.
Roughness Measurement of Ultra Precision Surfaces using Light Scattering Techniques and Analysis
OSA Topical Meeting, Optical Fabrication and Testing (OF&T), 13.–17. 6. 2010, Jackson Hole, Wyoming, USA
Proc. OSA Technical Digest (Optical Society of America 2010) (2010) OTuA5
- Hornaff, M.; Beckert, E.; Burkhardt, T.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.; Zoerb, H.; Hedrich, S.
Spannungsarmes Löten von Linsenbaugruppen
111. Tagung der DGaO, 25.–29. 5. 2010, Wetzlar, Deutschland
Proc. 111. Tagung der DGaO (2010) B 9, ISSN 1614-8436
- Hugger, S.; Aidam, R.; Bronner, W.; Fuchs, F.; Yang, Q. K.; Wagner, J.; Romasew, E.; Raab, M.; Tholl, H. D.; Höfer, B.; Matthes, A.
Power-scaling of quantum cascade laser modules via multi-emitter beam combining
Photonics West 2010, 23.–28. 1. 2010, San Francisco, USA
- Jansen, F.; Baumgartl, M.; Otto, H.-J.; Jauregui, C.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Influence of Index Depressions in Active Large Pitch Fibers
Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) CWC6, ISBN 978-1-55752-890-2
- Jansen, F.; Nodop, D.; Jauregui, C.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Suppression of stimulated Raman scattering in high-power fiber laser systems by lumped spectral filters
SPE Proc. Vol. 7580 (2010) 75802I, ISBN 978-0-8194-7976-1
- Jauregui, C.; Böhme, S.; Wenetiadis, G.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
All-fiber side pump combiner for high-power fiber lasers and amplifiers
SPE Proc. Vol. 7580 (2010) 75801E, ISBN 978-0-8194-7976-1
- Jauregui, C.; Stutzki, F.; Thomas, J. U.; Voigtländer, C.; Nolte, S.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Passive All-Fiber Transversal Mode Filter for High-Power CW Fiber Laser Applications
Advanced Solid-State Photonics (ASSP), 31. 1.–3. 2. 2010, San Diego, California, USA
Proc. OSA Technical Digest (Optical Society of America 2010) (2010) AWB10
- Joswig, A.; Bartholome, P.; Risse, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Femtosecond Laser Structuring of Diamond Tool Tips for Microoptics Fabrication
Proc. of the 10th Int. Conf. of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, 31. 5.–4. 6. 2010, Delft, Netherlands (2010) p. 156–159, ISBN 978-0-9553082-8-4

- Joswig, A.; Risse, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Laser generated and structured prototypes of diamond tool tips for microoptics fabrication
Proc. of the 25th Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering (2010) p. 53–56, ISBN 978-1-887706-56-8
- Kaiser, N.; Bischoff, M.; Feigl, T.; Schulz, U.; Stenzel, O.
Nanoscale Coatings
Proc. Optical Interference Coatings, OSA Technical Digest (Optical Society of America 2010) (2010) WA1, ISBN 978-1-55752-891-9
- Kalkowski, G.; Rohde, M.; Risse, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Direct bonding of glass substrates
218th ECS Meeting, 10.–15. 10. 2010, Las Vegas, Nevada, USA
- Kalkowski, G.; Semmler, C.; Risse, S.; Peschel, T.; Damm, C.; Müller, S.; Bauer, R.
Electrostatic chucking of EUVL masks: coefficients of friction
SPIE Proc. Vol. 7636 (2010) 76362J, ISBN 978-0-8194-8050-7
- Kim, J. K.; Hagemann, C.; Schreiber, T.; Peschel, T.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Monolithic all-glass device combining pump coupling and end cap scheme for high-power fiber lasers
SPIE Proc. Vol. 7580 (2010) 75802F, ISBN 978-0-8194-7976-1
- Kroll, M.; Käsebier, T.; Otto, M.; Salzerc, R.; Wehrspohn, R.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.; Pertsch, A.
Optical modeling of needle like silicon surfaces produced by an ICPRIE process
SPIE Proc. Vol. 7725 (2010) 772505, ISBN 978-0-8194-8198-6
- Kühmstedt, P.
3D Messtechnik für den Dentalbereich
Einführung in die Welt der digitalen Zahnheilkunde – Zahnersatz ohne Abdruck, Seminar der Pannon Laser & CAD/CAM Centrum GmbH u. Hint-Els GmbH, 18. 9. 2010, Budapest, Ungarn
- Kühmstedt, P.; Notni, G.
Konfokale Verfahren - Triangulationsverfahren – Lichtschnitt – Streifenprojektion
Fraunhofer-Allianz Vision. Optische 3-D-Messtechnik für die Qualitätssicherung in der Produktion, 18.–19. 11. 2010, Stuttgart, Deutschland
- Kühmstedt, P.; Heinze, M.; Schmidt, I.; Notni, G.
Ultra-mobile 3D-Messtechnik - Handgeführter 3D-Scanner
Fraunhofer Vision-Technologie Tag 2010 »kolibri CORDLESS«, 29.–30. 9. 2010, Stuttgart, Deutschland
- Leitel, R.; Stollberg, K.; Brückner, A.; Duparré, J.; Dannberg, P.; Bräuer, A.
A wafer-level camera approach based on the Gabor superlens
SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPIE Proc. Vol. 7716 (2010) 77160L, ISBN 978-0-8194-8189-4
- Lutzke, P.; Kühmstedt, P.; Notni, G.
Optische 3D-Vermessung transluzenter Materialien
111. Tagung der DGaO, 25.–29. 5. 2010, Wetzlar, Deutschland
Proc. 111. Tagung der DGaO (2010) A 16, ISSN 1614-8436
- Mauroner, O.
Regional Innovation Clusters by Fraunhofer – The Case of the Jena Optics Region in Germany
3rd Knowledge Cities World Summit, 16.–19. 11. 2010, Melbourne, Australia
- Mohaupt, M.; Beckert, E.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Alignment procedures for micro-optics
Precision assembly technologies and systems: 5th IFIP WG 5.5 International Precision Assembly Seminar, IPAS 2010, 14.–17. 2. 2010, Chamonix, France p. 143-150, ISBN 978-3-642-11597-4
- Mohaupt, M.; Beckert, E.; Hornaff, M.; Burkhardt, T.; Damm, C.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Precisely assembled Multi Deflection Arrays - key components for Multi Shaped Beam lithography
Proc. MNE 2009 – Micro Nano Engineering 2009, 28. 9.–1. 10. 2009, Ghent, Belgium (2010) p. 143–150, ISSN 1868-4238
- Munkelt, C.; Breitbarth, A.; Notni, G.; Denzler, J.
Multi-View Planning for Simultaneous Coverage and Accuracy Optimisation
British Machine Vision Conference 2010 (BMVC), 31. 8. 2010–3. 9. 2010, Aberystwyth, Wales, UK
Proc. British Machine Vision Conference 2010 (BMVC) (2010) doi:10.5244/C.24.118, ISBN 1-901725-40-5
- Munzert, P.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Schöneberger, W.; Fahland, M.
Thin film growth on nanostructured polymer webs for anti-reflection purposes
Twelfth Int. Conf. on Plasma Surface Engineering (PSE), 13.–17. 9. 2010, Garmisch-Partenkirchen, Germany
- Nawrodt, R.; Schwarz, C.; Kroker, S.; Martin, W.; Brückner, F.; Cunningham, L.; Große, V.; Grib, A.; Heinert, D.; Hough, J.; Käsebier, T.; Kley, E.-B.; Neubert, R.; Reid, S.; Rowan, S.; Seidel, P.; Thürk, M.; Tünnermann, A.
Investigation of mechanical losses of thin silicon flexures at low temperatures
E-paper of the Cornell University Library, arXiv.org (2010) arXiv:1003.2893v1
- Nesterenko, V.; Yulin, S.; Perske, M.; Pauer, H.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Cr/V multilayer mirrors for the water window spectral region
14th Int. Conf. „Laser Optics 2010“, 26. 6.–2. 7. 2010, Conference Hotel St. Petersburg, Saint Petersburg, Russia
- Nodop, D.; Jauregui, C.; Schimpf, D.; Steinmetz, A.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
High Power Picosecond Mid-Infrared and Visible Source Based on Degenerated Four-Wave-Mixing in a Large Mode Area Photonic Crystal Fiber
Proc. Advanced Solid-State Photonics (ASSP), OSA Technical Digest (Optical Society of America 2010) (2010) AWD4
- Nolte, S.; Tünnermann, A.
Femtosecond Laser Induced Bragg Gratings – Status and Prospects
Proc. Bragg Gratings, Photosensitivity, and Poling in Glass Waveguides, OSA Technical Digest (Optical Society of America 2010) (2010) BWA2
- Notni, G.
Blick in die Zukunft: Zerstorungsfreie Prüfung mit Terahertz-Tomographie
Fraunhofer-Allianz Vision. Wärmefluss-Thermographie als zerstörungsfreies Prüfverfahren für die Qualitätssicherung in der Produktion, 4.–5. 11. 2010, Erlangen, Deutschland
- Notni, G.; Kühmstedt, P.; Schmidt, I.; Großmann, C.
Dual-beam CT for measurements of precision mechanical components and optical systems
High-Resolution X-ray CT Symposium, 31. 8.–2. 9. 2010, Dresden, Germany
- Notni, G.; Riehemann, S.; Brahm, A.
Grundlagen der Terahertz-Messtechnik
Fraunhofer Vision-Technologie Tag 2010, 29.–30. 9. 2010, Stuttgart, Deutschland

- Notni, G.
Multi-view 3D Geometrieerfassung mit Streifenprojektion vom Mikro- bis Makrobereich
Fachkonferenz Messen Prüfen Kalibrieren MPK 2010, 19. 5. 2010, Potsdam, Deutschland
- Notni, G.
Terahertz spectroscopy and imaging for green vision
8th NEMO-SpectroNet Collaboration Forum, 26. 8. 2010, Jena, Deutschland
- Oliva, M.; Michaelis, D.; Benkenstein, T.; Dunkel, J.; Harzendorf, T.; Matthes, A.; Zeitner, U.D.
A novel approach for design, interpretation and fabrication of high efficient three-level grating
3rd EOS Annual Meeting 2010 (EOSAM 2010), Micro-Optics, 26.–29. 10. 2010, Paris, France
- Oliva, M.; Benkenstein, T.; Dunkel, J.; Harzendorf, T.; Matthes, A.; Michaelis, D.; Zeitner, U.D.
Smart technology for blazed multilevel gratings in resonance domain
SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPIE Proc. Vol. 7716 (2010) 77161L,
ISBN 978-0-8194-8189-4
- Ortaç, B.; Zaviyalov, A.; Nielsen, C.K.; Egorov, O.; Iliw, R.; Limpert, J.; Lederer, F.; Tünnermann, A.
Generation of Soliton Molecules with Independently Evolving Phase in a Mode-Locked Fiber Laser
Proc. Int. Conf. on Ultrafast Phenomena, OSA Technical Digest (2010) NTuA5
- Pabst, O.; Perelaer, J.; Beckert, E.; Becker, H.; Schubert, U.S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Inkjet Printing and Argon Plasma Sintering of an Electrode Pattern on Polymer Substrates Using Silver Nanoparticle Ink
26th Int. Conf. on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication, 19.–23. 9. 2010, Austin, Texas, USA
- Palme, M.; Großmann, C.; Kühmstedt, P.; Notni, G.
Kontrolle des Montagezustands von Optischen Systemen mittels CT-Messtechnik
111. Tagung der DGaO, 25.–29. 5. 2010, Wetzlar, Deutschland
- Pauer, H.; Perske, M.; Yulin, S.; Nesterenko, V.; Schürmann, M.; Schröder, S.; Trost, M.; Duparré, A.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Enhanced optical performance of 5.5 sr LPP collector mirror
The 10th Int. Conf. on the Physics of X-Ray Multilayer Structures, 14.–18. 2. 2010, Big Sky Resort, Montana, USA
- Pauer, H.; Perske, M.; Feigl, T.; Yulin, S.; Nesterenko, V.; Schürmann, M.; Kaiser, N.
Multilayer optics for EUV and beyond
2010 Int. Workshop on Extreme Ultraviolet Sources, 14.–15. 11. 2010, University College Dublin, Belfield, Dublin, Ireland
- Perske, M.; Pauer, H.; Feigl, T.; Kaiser, N.
5 sr collector mirror coatings for high power laser produced plasma EUV sources
2010 Int. Workshop on Extreme Ultraviolet Sources, 14.–15. 11. 2010, University College Dublin, Belfield, Dublin, Ireland
- Perske, M.; Pauer, H.; Yulin, S.; Nesterenko, V.; Schürmann, M.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Laterally Graded Mo/Si Multilayer for a 5 Steradian EUV Collector
Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA
OSA Technical Digest (2010) MD3,
ISBN 978-1-55752-891-9
- Petschulat, J.; Menzel, C.; Chipouline, A.; Rockstuhl, C.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; Pertsch, T.
Understanding optical activity and EIT-analogous in optical metamaterials with an analytical multipole analysis
Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) JWA17,
ISBN 978-1-55752-890-2
- Präfke, C.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Organic layers for UV protection of polycarbonate
8th Int. Conf. on Coatings on Glass and Plastics (ICCG), 13.–17. 6. 2010, Braunschweig, Germany
Proc. 8th Int. Conf. on Coatings on Glass and Plastics (ICCG) (2010) p. 355–358,
ISBN 978-3-00-031387-5
- Präfke, C.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Organische Schichten für den UV-Schutz von Polycarbonat
6. Thüringer Grenz- und Oberflächentage (ThGOT) und 2. Thüringer Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 7.–9. 9. 2010, Gera, Deutschland
Proc. S. 351–360,
ISBN 978-3-00-031733-0
- Pupeza, I.; Eidam, T.; Pronin, O.; Rauschenberger, J.; Bernhardt, B.; Ozawa, A.; Udem, T.; Holzwarth, R.; Limpert, J.; Apolonski, A.; Hänsch, T.; Tünnermann, A.; Krausz, F.
Femtosecond High Repetition Rate External Cavity beyond the Average Power Limit for Linear Enhancement
Proc. Advanced Solid-State Photonics (ASSP), OSA Technical Digest (Optical Society of America 2010) (2010) AWC6
- Radtke, D.; Stumpf, M.; Zeitner, U.
Advances in lithography on non-planar surfaces
SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPIE Proc. Vol. 7716 (2010) 77160Z,
ISBN 978-0-8194-8189-4
- Ramirez, L.P.R.; Heinrich, M.; Richter, S.; Dreisow, F.; Keil, R.; Korovin, A.V.; Peschel, U.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Birefringent elements based on femtosecond laser-induced nanogratings
SPIE Proc. Vol. 7589 (2010) 758919,
ISBN 978-0-8194-7985-3
- Richter, D.; Voigtländer, C.; Thomas, J.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Sub micron fs inscribed volume Bragg gratings in fused silica
Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) CMLL3,
ISBN 978-1-55752-890-2
- Riehemann, S.; Palme, M.; Peschel, T.; Kunert, G.; Notni, G.; Blum, M.
An opto-mechanical model of the accomodating and aging human eye
5th European Meeting on Visual and Physiological Optics (EMVPO), 22.–24. 8. 2010, Stockholm, Sweden
- Riehemann, S.; Notni, G.
Bildgebende THz-Messtechnik zur zerstörungsfreien Prüfung
Thermografie-Forum-Eugendorf 2010, 9.–11. 9. 2010, Eugendorf/Salzburg, Österreich
- Riehemann, S.; Brahm, A.; Kunz, M.; Notni, G.; Tünnermann, A.
Räumliche Identifikation chemischer Substanzen durch THz-Tomographie
111. Tagung der DGaO, 25.–29. 5. 2010, Wetzlar, Deutschland
Proc. 111. Tagung der DGaO (2010) B 34,
ISSN 1614-8436

- Riehemann, S.; Brahm, A.; Notni, G.; Tünnermann, A. **THz System mit 128 Kanal Linienemitter und -detektor** 111. Tagung der DGaO, 25.–29. 5. 2010, Wetzlar, Deutschland Proc. 111. Tagung der DGaO (2010) B 35, ISSN 1614-8436
- Rohloff, R.-R.; Gebhardt, A.; Schönherr, V.; Risse, S.; Kinast, J.; Scheiding, S.; Peschel, T. **A novel athermal approach for high performance cryogenic metal optics** SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation 2010, 27.6.–2. 7. 2010, San Diego, California, USA SPIE Proc. Vol. 7739 (2010) 77394E, ISBN 978-0-8194-8229-7
- Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Gottschall, T.; Clausnitzer, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.; Rothhardt, M.; Becker, M.; Brückner, S.; Bartelt, H. **Coherent Picosecond Pulse Stacking by Cascaded Fiber Bragg Gratings for Flat-Top Pulse Generation** Advanced Solid-State Photonics (ASSP), 31. 1.–3. 2. 2010, San Diego, California, USA OSA Technical Digest (2010) AMB23
- Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Gottschall, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.; Rothhardt, M.; Becker, M.; Brückner, S.; Bartelt, H. **Simple and monolithic picosecond pulse shaper based on fiber Bragg gratings** SPIE Proc. Vol. 7580 (2010) 75801B, ISBN 978-0-8194-7976-1
- Scheiding, S.; Gebhardt, A.; Steinkopf, R.; Risse, S. **References – A Key Issue for Freeform Structuring** Euspen Special Interest Group Meeting. Structured and Freeform Surfaces Topical Meeting, 10.–11. 2. 2010, Aachen, Germany
- Scheiding, S.; Damm, C.; Holota, W.; Peschel, T.; Gebhardt, A.; Risse, S.; Tünnermann, A. **Ultra-precisely manufactured mirror assemblies with well-defined reference structures** SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation 2010, 27. 6.–2. 7. 2010, Town and Country Resort and Convention Center, San Diego, California, USA SPIE Proc. Vol. 7739 (2010) 773908, ISBN 978-0-8194-8229-7
- Schimpf, D.N.; Seise, E.; Eidam, T.; Hädrich, S.; Limpert, J.; Tünnermann, A. **Advantage of circularly polarized light in nonlinear fiber-amplifiers** SPIE Proc. Vol. 7580 (2010) 75802E, ISBN 978-0-8194-7976-1
- Schimpf, D.N.; Eidam, T.; Seise, E.; Limpert, J.; Tünnermann, A. **Model-Based Phase-Shaping for SPM-Compensation in mJ-Pulse-Energy Fiber CPA-systems** Advanced Solid-State Photonics (ASSP), 31. 1.–3. 2. 2010, San Diego, California, USA
- Schimpf, D.N.; Röser, F.; Eidam, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A. **Spectral-temporal management of Yb-doped fiber CPA-systems** SPIE Proc. Vol. 7580 (2010) 75800Z, ISBN 978-0-8194-7976-1
- Schimpf, D.N.; Limpert, J.; Tünnermann, A. **Towards the Minimum Pulse-Duration from mJ-class Fiber CPA-Systems** Advanced Solid-State Photonics (ASSP), 31. 1.–3. 2. 2010, San Diego, California, USA
- Schmidt, O.; Wirth, C.; Nodop, D.; Limpert, J.; Tünnermann, A.; Schreiber, T.; Eberhardt, R. **208-W average power and 6.3-mJ pulse energy from four spectrally combined fiber amplified Q-switched nanosecond laser sources using low-cost interference filter** SPIE Proc. Vol. 7580 (2010) 75801T, ISBN 978-0-8194-7976-1
- Schmidt, O.; Wirth, C.; Nodop, D.; Limpert, J.; Schreiber, T.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A. **Fiber Amplified Q-Switched ns-Sources Spectrally Combined by the Use of Interference Filters** Advanced Solid-State Photonics (ASSP), 31. 1.–3. 2. 2010, San Diego, California, USA OSA Technical Digest (2010) AMB24
- Schmitz, D.; Schröder, S.; Duparré, A. **Separation von Streulichte effekten zur zerstörungsfreien Detektion von Sub-Surface-Damage** 111. Tagung der DGaO, 25.–29. 5. 2010, Wetzlar, Deutschland
- Schreiber, P.; Dannberg, P.; Wippermann, F. **Chirped lens-array LED spot-array generator with individually coloured spots** SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium SPIE Proc. Vol. 7716 (2010) 771617, ISBN 978-0-8194-8189-4
- Schreiber, P.; Bräuer, A. **Homogeneous and structured LED-illumination modules** EOS Symposium on Trends in Optical Technologies (ESTO 2010), 15.–18. 6. 2010, Frankfurt, Germany
- Schreiber, P.; Sieler, M.; Dannberg, P. **The array projector - a new approach for super-slim, high-brightness projection devices** SID-ME Dresden, 18.–19. 3. 2010, Dresden, Germany
- Schröder, S.; Herffurth, T.; Blaschke, H.; Duparré, A. **ARS: An Effective Method for Characterizing Structural and Alteration Effects in Thin Film Coatings** Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA
- Schröder, S.; Trost, M.; Herffurth, T.; Duparré, A. **Bewertung der Poliergüte schwer zugänglicher Oberflächen durch Streulichtmethoden** 111. Tagung der DGaO, 25.–29. 5. 2010, Wetzlar, Deutschland
- Schröder, S.; Duparré, A.; Füchsel, K.; Kaiser, N.; Harvey, J.E.; Tünnermann, A. **Scattering of roughened TCO films – modeling and measurement** Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA OSA Technical Digest (2010) ThD3, ISBN 978-1-55752-891-9
- Schulz, U.; Kaiser, N. **Antireflective coating with nanostructured organic top-layer** Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA OSA Technical Digest (2010) WA2, ISBN 978-1-55752-891-9
- Schulz, U.; Präfke, C.; Holz, M.; Kaiser, N. **Optical properties of evaporated organic thin films** Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA
- Schulz, U.; Präfke, C.; Munzert, P.; Gödeker, C.; Kaiser, N. **Physical vapor deposition and plasma-etching of organic compounds for optical applications** 12th Int. Conf. on Plasma Surface Engineering (PSE), 13.–17. 9. 2010, Garmisch-Partenkirchen, Germany

- Schürmann, M.; Yulin, S.; Nesterenko, V.; Feigl, T.; Kaiser, N.; Tkachenko, B.; Schürmann, M.C.
Multi-technique study of carbon contamination and cleaning of Mo/Si mirrors exposed to pulsed EUV radiation
SPIE Advanced Lithography 2010, 21.–25. 2. 2010, San Jose, California, USA
SPIE Proc. Vol. 7636 (2010) 76361P,
ISBN 978-0-8194-8050-7
- Schürmann, M.; Jobst, P.J.; Kaiser, N.; Luck, F.U.; Beier, B.; Thaut, M.
Tuning the etching properties of reactively deposited chromium oxide by N₂
9th Int. Conf. on Reactive Sputter Deposition 2010, 9.–10. 12. 2010, Ghent, Belgium
- Schürmann, M.; Jobst, P.J.; Kaiser, N.; Kolbmüller, A.; Müller, S.; Gebhardt, A.; Risse, S.; Eberhardt, R.
Ultrapräzise optische Bauelemente mit bearbeitbarer Siliziumschicht
6. Thüringer Grenz- und Oberflächentage (ThGOT) und 2. Thüringer Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 7.–9. 9. 2010, Gera, Deutschland
Proc. S. 370 – 371,
ISBN 978-3-00-031733-0
- Schürmann, M.; Jobst, P.J.; Kaiser, N.; Kolbmüller, A.; Müller, S.; Gebhardt, A.; Risse, S.; Eberhardt, R.
Ultra-precise optical components with machinable silicon layer
Proc. Optical Interference Coatings, OSA Technical Digest (Optical Society of America 2010) (2010) PDWD15,
ISBN 978-1-55752-891-9
- Seise, E.; Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Tavella, F.; Willner, A.; Dusterer, S.; Tschentscher, T.; Schlarb, H.; Feldhaus, J.; Limpert, J.; Rossbach, J.; Tünnermann, A.
High Repetition Rate 5 GW Peak Power Fiber Laser Pumped Few-Cycle OPCPA with CEP Control
Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) CWA3,
ISBN 978-1-55752-890-2
- Seise, E.; Schimpf, D.N.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Improved performance of nonlinear CPA-systems by spectral clipping
SPIE Proc. Vol. 7580 (2010) 75800X,
ISBN 978-0-8194-7976-1
- Seise, E.; Schimpf, D.N.; Eidam, T.; Hädrich, S.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Pulse Quality Improvement in Nonlinear Fiber Amplifiers by Using Circularly Polarized Light
Advanced Solid-State Photonics (ASSP), 31. 1.–3. 2. 2010, San Diego, California, USA
- Seise, E.; Eidam, T.; Schimpf, D.N.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Transform-limited pulses from a mJ-class nonlinear fiber CPA-system by phase shaping
SPIE Proc. Vol. 7580 (2010) 75802J,
ISBN 978-0-8194-7976-1
- Setz, D.S.; Schmidt, T.D.; Flämmich, M.; Nowy, S.; Frischeisen, J.; Krummacher, B. C.; Dobbertin, T.; Heuser, K.; Michaelis, D.; Danz, N.; Brütting, W.; Winnacker, A.
Comprehensive efficiency analysis of organic light emitting devices
SPIE Optics + Photonics 2010, 21.–25. 8. 2010, San Diego, USA
- Setzpfandt, F.; Sukhorukov, A. A.; Neshev, D.N.; Schiek, R.; Tünnermann, A.; Kivshar, Y.S.; Pertsch, T.
Multiband Quadratic Solitons in Waveguide Arrays
Proc. Nonlinear Photonics, OSA Technical Digest (2010) NWC7
- Setzpfandt, F.; Sukhorukov, A.A.; Neshev, D.N.; Schiek, R.; Tünnermann, A.; Pertsch, T.
Phase Transition of Discrete Quadratic Solitons
Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) QTuC1,
ISBN 978-1-55752-890-2
- Sieler, M.; Schreiber, P.; Dannberg, P.; Bräuner, A.
Array projection optics: Multi-channel design for ultra slim projectors
SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPIE Proc. Vol. 7716 (2010) 77161A,
ISBN 978-0-8194-8189-4
- Sieler, M.; Schreiber, P.; Sokolov, K.; Steinkopf, R.; Dannberg, P.
Bi-directional HMD optics with integrated eye-tracking
SID-ME Dresden, 18.–19. 3. 2010, Dresden, Germany
- Sieler, M.; Schreiber, P.; Dannberg, P.; Bräuer, A.
Arrayed optics – the key to slim projection optics
Spectaris Technologieforum, Photokina 2010, 21.–26. 9. 2010, Köln, Germany
- Steinkopf, R.; Kolbmüller, A.; Gebhardt, A.; Risse, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.; Lindig, K.; Dobschal, H.; Rudolph, G.
Ultra precision shaping of complex prototypes with multi freeform surfaces
Proc. ASPE 2010, 31. 10.–4. 11. 2010,
ISBN 978-1-887706-56-8
- Steinmetz, A.; Nodop, D.; Limpert, J.; Hohmuth, R.; Richter, W.; Tünnermann, A.
2 MHz repetition rate, 200 ps pulse duration from a monolithic passively Q-switched microchip laser
SPIE Proc. Vol. 7578 (2010) 75781O,
ISBN 978-0-8194-7974-7
- Steinmetz, A.; Nodop, D.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Novel Concept of Timing Jitter Reduction of a Passively Q-Switched Microchip Lasers Using Self-Injection Seeding
Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) JTuD118,
ISBN 978-1-55752-890-2
- Stenzel, O.; Wilbrandt, S.; Schürmann, M.; Kaiser, N.
Oxydische Mischschichten für UV-Anwendungen
6. Thüringer Grenz- und Oberflächentage (ThGOT) und 2. Thüringer Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 7.–9. 9. 2010, Gera, Deutschland
Proc. S. 308-312,
ISBN 978-3-00-031733-0
- Stenzel, O.; Wilbrandt, S.; Schürmann, M.; Kaiser, N. et al.
Tailored Nanocomposite Coatings for Optics
Proc. Optical Interference Coatings, OSA Technical Digest (2010) MD2,
ISBN 978-1-55752-891-9
- Stutzki, F.; Jauregui, C.; Voigtländer, C.; Thomas, J.U.; Limpert J.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Passively stabilized 215-W monolithic CW LMA-fiber laser with innovative transversal mode filter
SPIE Proc. Vol. 7580 (2010) 75801K,
ISBN 978-0-8194-7976-1
- Stürzebecher, L.; Harzendorf, T.; Vogler, U.; Zeitner, U.D.; Voelkel, R.
Periodical microstructure fabrication based on the Talbot effect
3rd EOS Annual Meeting 2010 (EOSAM 2010), Micro-Optics, 26.–29. 10. 2010, Paris, France

- Szameit, A.; Dreisow, F.; Heinrich, M.; Keil, R.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Longhi, S.
Photonic Topological Crystals: Transport, Curvature, and Geometric Potential
Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) JTuD9, ISBN 978-1-55752-890-2
- Szameit, A.; Garanovich, I. L.; Heinrich, M.; Sukhorukov, A. A.; Dreisow, F.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Longhi, S.; Kivshar, Y.S.
Two-Dimensional Dynamic Localization of Light
Proc. 2010 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) (2010) QMA7, ISBN 978-1-55752-890-2
- Tavella, F.; Willner, A.; Hädrich, S.; Rothhardt, J.; Seise, E.; Limpert, J.; Dusterer, S.; Schlarb, H.; Feldhaus, J.; Roßbach, J.; Tünnermann, A.
96 kHz Fiber-Amplifier-Pumped Few-Cycle Pulse Optical Parametric Chirped Pulse Amplifier System
Proc. Int. Conf. on Ultrafast Phenomena, OSA Technical Digest (2010) TuC2
- Thomas, J.U.; Voigtländer, C.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Jovanovic, N.; Marshall, G. D.; Withford, M. J.; Steel, M.
Mode selective fiber Bragg gratings
SPIE Proc. Vol. 7589 (2010) 75890J, ISBN 978-0-8194-7985-3
- Thomas, J.U.; Jovanovic, N.; Marshall, G. D.; Becker, R.; Voigtländer, C.; Steel, M.; Withford, M. J.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Tailored Mode Coupling with Highly Localized Intracore Fiber Bragg Gratings
Proc. Bragg Gratings, Photosensitivity, and Poling in Glass Waveguides, OSA Technical Digest (2010) BThC6
- Trost, M.; Schröder, S.; Feigl, T.; Duparré, A.
Influence of Substrate Finish and Thin Film Roughness on the Optical Performance of Mo/Si Multilayers
Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA
Proc. OSA Technical Digest (2010) MD4, ISBN 978-1-55752-891-9
- Tsybin, I.; Kim, J. K.; Hagemann, C.; Schreiber, T.; Peschel, T.; Böhme, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Monolithic all-glass pump combiner scheme for high-power fiber laser systems
14th Int. Conf. "Laser Optics 2010", Symposium on High-Power Fiber Lasers, 28. 6.–2. 7. 2010, St. Petersburg, Russia
- Tünnermann, A.; Limpert, J.
Ultrafast fiber laser technology: status and prospects
SPIE Proc. Vol. 7579 (2010) 75791F, ISBN 978-0-8194-7975-4
- Voigtländer, C.; Richter, D.; Thomas, J.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Efficient VBG In Fused Silica Induced By Femto-second Laser Pulses
Proc. Bragg Gratings, Photosensitivity, and Poling in Glass Waveguides, OSA Technical Digest (2010) BMB2
- Wächter, C.; Michaelis, D.
Simulation of Metallic Nanoparticles in Layered Structures
8th Int. Conf. of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2010), 16.–20. 9. 2010, Rhodes, Greece
AIP Conference Proc., ICNAAM 2010: Int. Conf. of Numerical Analysis and Applied Mathematics 2010 1281 (2010) p. 1626-1629, ISBN 978-0-7354-0831-9
- Wilbrandt, S.; Stenzel, O.; Kaiser, N.
Combined in-situ and ex-situ optical analysis for fluoride coatings deposited by PIAD
Optical Interference Coatings (OIC), 6.–11. 6. 2010, Tucson, Arizona, USA
- Wilbrandt, S.; Stenzel, O.; Kaiser, N.
Optimierte Präparationsstrategien breitbandiger oxidischer AR-Systeme
6. Thüringer Grenz- und Oberflächentage (ThGOT) und 2. Thüringer Kolloquium Dünne Schichten in der Optik, 7.–9. 9. 2010, Gera, Deutschland
Proc. S. 302–306, ISBN 978-3-00-031733-0
- Wippermann, F.; Beckert, E.; Dannberg, P.; Messerschmidt, B.; Seyffert, G.
Disposable low cost video endoscopes for straight and oblique viewing direction with simplified integration
Photonics West 2010, 23.–28. 1. 2010, San Francisco, USA
SPIE Proc. Vol. 7556 (2010) 755607, ISBN 978-0-8194-7952-5
- Wippermann, F.; Beckert, E.; Dannberg, P.; Eberhardt, R.; Bräuer, A.; Messerschmidt, B.
Low cost video endoscopes with simplified integration
SPIE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPE Proc. Vol. 7716 (2010) 77160M, ISBN 978-0-8194-8189-4
- Wirth, C.; Schreiber, T.; Rekas, M.; Tsybin, I.; Peschel, T.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
High-power linear-polarized narrow linewidth photonic crystal fiber amplifier
SPIE Proc. Vol. 7580 (2010) 75801H, ISBN 978-0-8194-7976-1
- Yulin, S.; Nesterenko, V.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Collector optics for the „water window“
10th Int. Conf. on the Physics of X-Ray Multilayer Structures, 14.–18. 2. 2010, Big Sky Resort, Montana, USA
- Yulin, S.; Nesterenko, V.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Collector optics for the „water window“
59th Annual Conference on Applications of X-ray Analysis, 2.–6. 8. 2010, Denver, Colorado, USA
- Yulin, S.; Schürmann, M.; Nesterenko, V.; Feigl, T.; Kaiser, N.; Schürmann, M. C.; Tkachenko, B.; Hill, S. B.; Lucatorto, T.B.
Lifetime of EUV optics under pulsed source
2010 Int. Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography, 17.–20. 10. 2010, Kobe, Japan
- Yulin, S.; Nesterenko, V.; Schürmann, M.; Feigl, T.; Kaiser, N.; Schürmann, M. C.; Caudillo, R.
Lifetime of EUV optics with different capping layers under pulsed source
SPE Advanced Lithography 2010, 21.–25. 2. 2010, San Jose, California, USA
- Zeitner, U. D.; Michaelis, D.; Kley, E.-B.; Erdmann, M.
High Performance Gratings for Space Applications
SPE Photonics Europe 2010, 12.–16. 4. 2010, Brussels, Belgium
SPE Proc. Vol. 7716 (2010) 77161K, ISBN 978-0-8194-8189-4
- Zeitner, U. D.; Oliva, M.; Michaelis, D.; Józwick, M.; Kujawińska, M.
Nano-optical grating interferometer for SMART Inspection system High Speed and multifunctional testing of MEMS and MOEMS (SMARTIEHS)
3rd EOS Annual Meeting 2010 (EOSAM 2010) Micro-Optics, 26.–29. 10. 2010, Paris, France

DER WEG ZU UNS HOW TO REACH US



Bahn/Busverbindung

(ca. 20 Minuten inkl. Gehweg)

Ab Bahnhof Jena-Paradies (Nord-Südverbindung)
ca. 5 Minuten Fußweg in die Innenstadt. An der Haltestelle
»Teichgraben« die Linien 11, 12 oder 13 nehmen.

An der Haltestelle »Beutenberg Campus« aussteigen und
der Ausschilderung folgen.

Ab Bahnhof Jena-West (Ost-Westverbindung) ca. 1 Minute
zur Haltestelle »Westbahnhofstr.«, dann die gleichen Busver-
bindungen nutzen.

Auto

Autobahn A4 bis Abfahrt Jena-Göschwitz. Auf der Bundes-
straße B88 stadteinwärts, links in Richtung Winzerla, entlang
der Winzerlaer Straße immer der Ausschilderung »Fachhoch-
schule – Beutenberg Campus« folgen.

Auf der linken Seite liegt dann sichtbar das Fraunhofer IOF.
Benutzen Sie die Einfahrt Beutenberg Campus, von dort aus
folgen Sie der Ausschilderung.

Flugzeug

Ab Flughafen Leipzig/Halle auf der Autobahn A9 nach Süden
bis zum Hermsdorfer Kreuz und dann auf die A4 Richtung
Frankfurt wechseln; diese dann bei Jena-Göschwitz verlassen,
weiter siehe Auto.

Oder ab Flughafen Erfurt auf der Autobahn A4 Richtung
Dresden bis Abfahrt Jena-Göschwitz.

By train

(app. 20 minutes with footpath)

If you take the route from north to south you will arrive
at the station Jena-Paradies.

Please go to the bus stop on "Teichgraben" (5 minutes into
the city) and take the Number 11, 12 or 13.

Step off the bus at "Beutenberg Campus" and follow the
direction sign to Fraunhofer IOF.

If you take the route from west to east, leave the train at the
station Jena-West. After the bridge on the right hand you will
see the bus stop "Westbahnhofstraße". Use the same lines to
Beutenberg Campus.

By car

Leave the A4 motorway at the exit Jena-Göschwitz, follow the
federal highway B88 into town, turn off left toward Winzerla,
along Winzerlaer road always the direction sign "Fachhoch-
schule – Beutenberg Campus". On the left side you will see
the Fraunhofer IOF. Use the gateway Beutenberg Campus and
follow the direction sign.

By airplane

Starting from airport Leipzig/ Halle on the A9 motorway to the
south (direction Munich) up to the Hermsdorfer Kreuz. Here
you have to change the motorway, follow the A4 motorway
westward (direction Frankfurt) and leave it at the exit Jena-
Göschwitz, further see car.

Or starting from airport Erfurt on the A4 motorway direction
Dresden to exit Jena-Göschwitz

IMPRESSUM IMPRINT

Herausgeber | Editor

Fraunhofer-Institut für
Angewandte Optik und Feinmechanik IOF
Albert-Einstein-Straße 7
07745 Jena
Telefon +49 3641 807-0
Fax +49 3641 807-600
www.iof.fraunhofer.de

Institutsleiter | Director

Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Telefon +49 3641 807-201
andreas.tuennermann@iof.fraunhofer.de

Redaktion | Editorial staff

Dr. Brigitte Weber
Dipl.-Ing. Sylvia Bathke

Redaktion | Editorial deadline

1. 3. 2011

Gestaltung | Graphic design

calibris | marketing + design
Unter den Bergen 4
06647 Bad Bibra
Spitzweidenweg 107
07743 Jena
www.calibris.de

Druck | Print

SDC Satz+Druck Centrum Saalfeld GmbH
Am Cröstener Weg 4
07318 Saalfeld

Bildnachweis | Photo Acknowledgements

Seite | page 6:
© VDI Technologiezentrum GmbH/Frank Nürnberger.

Seite | page 8:
Links: © OptoNet e.V.

Seite | page 9:
© OptecNet e.V.

Seite | page 11:
© Fraunhofer/Dirk Mahler.

Seite | page 14:
Links: © Fraunhofer IOF/Christian Meyer,
rechts: © Fraunhofer/Matthias Heyde.

Seite | page 29:
Panoramabild, rechtes Motiv:
Copyright © 2010 RapidEye AG. All rights reserved.

Seiten | pages 51, 81, 105:
Panoramabild, rechtes Motiv:
© Fraunhofer IOF/Thomas Ernsting.

Seite | page 122:
© Fraunhofer.

Seite | page 125:
Links: © Fraunhofer IOF/Thomas Ernsting,
rechts: © Fraunhofer FEP.

Seite | page 126:
Links: © Fraunhofer ILT, rechts: © Fraunhofer IST.

Seite | page 127:
Links: © Fraunhofer IPM, rechts: © Fraunhofer IWS.

Seite | page 128:
© OptoNet e.V. 2009.

