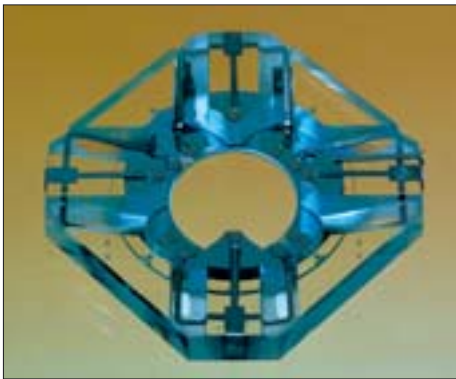




Fraunhofer Institut
Angewandte Optik
und Feinmechanik

Jahresbericht Annual Report 2002



Jahresbericht 2002
Fraunhofer-Institut für
Angewandte Optik
und Feinmechanik

Annual Report 2002
Fraunhofer Institute
for Applied Optics and
Precision Engineering

Inhalt

Vorwort	4
Institutsprofil	6
Kuratorium	8
Organisationsstruktur/Kontakte	10
Kernkompetenzen des Fraunhofer IOF	12
Fraunhofer IOF Statistik	13
Wichtige Ereignisse und Auszeichnungen im Jahr 2002	14
Die Fraunhofer-Gesellschaft	16
Ausgewählte Ergebnisse	18
Modulierte RGB-Laserquelle für das digitale Photofinishing	20
Mikrooptisches Beleuchtungsmodul für digitale Projektionsanwendungen	24
Musterbildung in UV-gehärteten Polymeren	28
Handhabung mikrooptischer Komponenten in der Mikromontage	32
Laserstrahllöten mikrooptischer Komponenten	36
Optimierung planarer Fluoreszenz-Biosensoren	42
Bewertung nanostrukturierter funktionaler Oberflächen: visuelle Inspektion vs. laserbasierte Messung	46
Messsystem zur Bestimmung der winkelabhängigen und totalen Lichtstreuung, Transmission und Reflexion bei 157 nm und 193 nm	50
Finite-Element-Analyse opto-mechanischer Baugruppen	54
Theoretische und experimentelle Untersuchungen an selbst-schmierenden Luftlagern	58
Messmittelfähigkeit eines optischen 3-D-Messsystems	64
Digitale Spaltlampe unter Anwendung von Mikrodisplays	70
Polymerchipbasierte mikrofluidische Komponenten für Anwendungen in den Life Sciences	74
Durchbruch bei Entwicklungen im Bereich EUV-Lithographie	80
Plasma-ionengestützte Beschichtung von Kunststoffen	86
Oberflächenplasmonen in dünnen Schichten	90
Namen, Daten, Ereignisse	94
Patente	98
Diplomarbeiten	100
Messebeteiligungen	101
Wissenschaftliche Publikationen	102
Der Weg zu uns	110

Contents

Preface	5
Institute profile	7
Advisory Committee	9
Organisational Structure/Contact Persons	10
Competences of Fraunhofer IOF	12
Fraunhofer IOF Statistics	13
Highlights and honors in the year 2002	14
The Fraunhofer-Gesellschaft	17
Selected results	19
Modulated RGB-laser source for digital photo finishing	21
Microoptical illumination module for digital projection applications	25
Pattern formation in UV-cured polymers	29
Handling of microoptical components for micro-assembly	33
Laser beam soldering of micro-optical components	37
Optimization of planar fluorescence biosensors	43
Visual inspection vs. laser measurement: a crucial link for the assessment of nanostructured functional surfaces	47
System for angle-resolved and total-light scattering, transmittance and reflectance measurements at 157 nm and 193 nm	51
Finite element analysis of opto-mechanical assemblies	55
Theoretical and experimental investigations into self-acting air bearings	59
Measurement capability of an optical 3-D measurement	65
Digital slit-lamps using microdisplays	71
Polymer microfluidic components for life science applications	75
A developmental breakthrough in EUV-Lithography	81
Polymers in plasma-assisted coating processes	87
Surface plasmon excitation in thin solid films	91
Names, Dates, Activities	94
Patents	98
Diploma Theses	100
Science Fair Participation	101
Scientific Publications	102
Directions of Fraunhofer IOF	111



Liebe Leser,

es ist vollbracht, das IOF hat sein neues Institutsgebäude bezogen.

Nach 27 Monaten Bauzeit konnten wir Ende des Jahres 2002 aus dem traditionsreichen „Eulen“-Gebäude im Zentrum Jenas ausziehen und ein modernes und größeres Institut auf dem Wissenschafts-Campus am Beutenberg in Besitz nehmen. Es bietet uns hervorragende Arbeitsbedingungen und lässt auch Raum für weiteres personelles und inhaltliches Wachstum. Hinzu kommt die räumliche Nähe zu wichtigen universitären und außeruniversitären Partnern im Netzwerk der optischen Technologien in Jena. Und für unsere Partner in der Wirtschaft bieten sich verbesserte Bedingungen für gemeinsame Projekte, schon dadurch, dass wir zusätzliche Fläche für die Installation neuer Geräte für High-Tech-Forschung gewonnen haben.

Das abgelaufene Jahr ist aber auch in anderer Hinsicht bemerkenswert. Am 26. Februar 2002 haben wir das zehnjährige Bestehen des Fraunhofer IOF mit unseren Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik feiern können. Die Thüringer Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Frau Professor Dagmar Schipanski, der Oberbürgermeister von Jena, Herr Dr. Peter Röhlinger, und der Vorstandsvorsitzende der Jenoptik AG, Herr Professor Dr. h. c. Lothar Späth, würdigten die Entwicklung des Instituts in einer Feierstunde im Jenaer Planetarium. Für die Mitarbeiter war es ein stolzes Erlebnis, von unseren Gästen zu hören, dass sie durch ihre Arbeit dem Fraunhofer IOF zu einem anerkannt guten Ruf verholfen haben. Zusätzlich unterstrich die Verleihung des Wissenschaftspreises 2002 des deutschen Stifterverbandes an ein Team aus Fraunhofer-Instituten und Firmen, zu dem maßgeblich auch Mitarbeiter unseres Instituts gehören, die hervorragenden Leistungen unserer Wissenschaftler und Techniker.

Schließlich konnten wir auch im Jahr 2002 – wider Erwarten und trotz der zusätzlichen Belastung durch den Umzug – eine überdurchschnittliche Bilanz ziehen. Unser Industrieertrag im Betriebshaushalt überschritt wieder die 50 % und der Gesamtertrag die 80 %. Doch die allenthalben spürbare unbefriedigende wirtschaftliche Gesamtsituation begann auch auf die Auftragslage aus der Industrie durchzuschlagen, ganz abgesehen von den nach wie vor niedrigen Anteilen öffentlich geförderter Projekte.

Mit einer zeitlichen Verzögerung zeichnet sich jetzt auch für uns eine zurückgehende Auftragslage ab, die Firmen können nicht mehr so intensiv in den Vorlauf investieren. Es ist also Stabilisierung der Arbeit im Institut angesagt. Die guten partnerschaftlichen Beziehungen zu den Firmen werden ausgebaut und neue Kontakte sind angebahnt. Die Vernetzung in den optischen Technologien schreitet fort, unsere Rolle im regionalen OptoNet hat sich gefestigt, die Zusammenarbeit innerhalb des FhG-Institutsverbundes Oberflächentechnik und Photonik wurde intensiviert und die internationale Kooperation in den letzten Monaten ausgebaut.

Für die Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung und das Thüringer Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst danken wir ebenso wie für die sehr gute Zusammenarbeit mit unseren Partnern weltweit in Industrie und Wissenschaft.

Ganz besonders aber danke ich allen Mitarbeitern des IOF für die hervorragenden Leistungen, die sie im letzten Jahr vollbracht haben.

Prof. Dr. Wolfgang Karthe
Institutsleiter

Dear reader,

The time has finally come: Fraunhofer IOF has now moved into its new institute building. After 27 months of construction, we were ready to leave the confines of the historic „Eulen“ building in the center of Jena and move into a larger, modern institute at the Beutenberg science campus in late 2002. Our new facility will provide us with excellent working conditions and with room for further growth, both in staff size and technical capacity, not to mention the advantages of geographical proximity to important university institutes and other partners in Jena's optical technology network. And precisely for our scientific associates, our new facility will offer improved conditions for joint projects, if only through the additional space for the installation of new high-tech research equipment.

The past year has been remarkable in other ways as well. We were able to celebrate Fraunhofer IOF's tenth anniversary on February 26, 2002 together with our economic, scientific and political partners. Prof. Dagmar Schipanski, Thuringia's minister for science, research and the arts, mayor of Jena, Dr. Peter Röhlinger, and the chairman of the board of Jenoptik AG, Prof. Dr. h. c. Lothar Späth, all paid homage to the institute's development at a ceremony in Jena's Planetarium. The institute's employees were proud to hear our guests praise their work, which has been key in establishing the IOF's strong reputation.

The 2002 Science Prize of the Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (Donors' Association for the Promotion of Sciences and Humanities in Germany), which was awarded to a team of scientists from Fraunhofer institutes and companies, with a large number of IOF staff members, was a further reflection of the excellent work of our scientists and technicians.

In all, the year 2002 has been an exceptionally successful one for the institute, defying all expectations and overcoming the additional burden of our move. Once again, industrial revenue surpassed 50 percent, and total revenue 80 percent of the operating budget. Nevertheless, the overall unsatisfactory economic situation did begin to affect the industrial order situation, not to mention the continuingly low percentage of projects receiving the support of state programs.

With some delay, we are now also experiencing a downturn in orders, as companies can no longer invest as intensively in the future as had once been the case. The institute is thus best served by a strategy of workload stabilization, solidifying partnership relationships with companies while paving the way for further contacts. Our optical technology network is expanding, with our role in the regional OptoNet now secure. Collaboration within the Fraunhofer Alliance Surface Engineering and Photonics has been intensified and our international cooperative endeavors have also increased over the past several months.

We would like to thank the German federal ministry of education and research and Thuringia's ministry for science, research and the arts for their support, as well as our scientific and industrial partners around the world for their excellent collaborative work.

Lastly, I would especially like to thank all the employees at IOF for the outstanding results that they have achieved over the past year.



Prof. Dr. Wolfgang Karthe
Director

Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF konzipiert und entwickelt optische und feinmechanische Verfahren, Module, Geräte und Systeme. Besondere Schwerpunkte sind optische Schichten, mikro- und integriert-optische Systeme, feinmechanische Präzisionsbaugruppen und -systeme sowie berührungslose Formvermessung und Oberflächencharakterisierung. Zentrale Kompetenzen des Instituts liegen auf den Gebieten des optischen Designs, vor allem für unkonventionelle Optiken, Mikro- und Integrierte Optik, komplexe Streulichtanalysen, optische Schichten sowie für opto-mechanische und präzisionsmechanische Systeme.

Zur Entwicklung von ultrastabilen Schichtsystemen für höchste Ansprüche im sichtbaren und ultravioletten Spektralbereich bis zu Wellenlängen von 1 nm und hohe Energiedichten stehen die zugehörigen Herstellungsverfahren zur Verfügung.

Im IOF entwickelte mikrooptische und integriert-optische Elemente auf der Basis von Kunststoffen, Glas und Silizium finden Einsatz in der Industrie. Anwendungsbereiche passiver und aktiver mikrooptischer Bauelemente und miniaturisierter opto-mechanischer Systeme liegen in der Tele- und Datenkommunikation, Sensorik, Beleuchtungs-, Fertigungs-, Medizin- und Umwelttechnik.

Industriell und in der Medizintechnik genutzt werden Verfahren zur berührungslosen 3-D-Koordinatenmessung und Defekterkennung an Oberflächen.

Die Entwicklung von Verfahren der Optikmontage sowie von Fertigungsmanipulatoren vorwiegend für miniaturisierte Optiken und Präzisionsbaugruppen für Mikroelektronik-equipment richten sich nach den Erfordernissen der Industriepartner des Instituts. Die Auftragsbearbeitung bezieht geräteinterne Mess- und Prüftechnik, Prototypenentwicklung und Testserienfertigung mit ein. Nationale wie internationale industrielle Auftraggeber können dadurch ihre Produktionstechniken verbessern und neue Produkte für den Markt schaffen.

Das Institut erhält Förderung aus öffentlichen Projekten des BMBF, des TMWFK sowie aus internationalen Projekten der Europäischen Union.

Das Fraunhofer IOF beschäftigt ca. 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Mehr als 5 000 m² Büros und modernste Labors stehen zur Bearbeitung der Forschungsaufträge zur Verfügung. Das Institut verfügt über moderne Anlagen und Ausstattungen zur Foto- und Laserlithografie, Trocken- und Nassätztechniken, vielfältige Beschichtungstechnologien, eine breite und qualitativ hoch entwickelte Oberflächenmesstechnik, umfangreiche optische Messtechnik und einen großen Software-Pool für Optik- und Mechanikentwicklung.

Institute profile

The Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering (IOF) designs and develops processes, modules, equipment and systems for use in optics and precision engineering. The institute focuses its work on optical coatings, microsystems and integrated optical systems, precision mechanics component assemblies and systems, and on non-contact shape metrology and surface characterization.

The institute's core competence lies in optical design, particularly the design of unconventional optical systems, microoptics and integrated optics, complex light-scattering analysis, optical coating and the design of optomechanical and precision engineering systems.

The institute is competent in developing extremely stable, high-performance coating systems for wavelengths in the visible and ultraviolet spectrums of up to 1 nm and high energy densities.

The industrial sector has utilized many plastic, glass and silicon microoptics and integrated optics components that have been developed at the IOF.

The institute's applications of passive and active microoptical components and miniaturized optomechanical systems include sensor systems, telecommunications and data transfer, as well as lighting, production, medical and environmental technology. IOF processes using three-dimensional coordinate measurements and surface fault recognition are being also implemented within the industrial sector and for medical technology.

In accordance with the requirements of each industrial partner, the institute develops processes for optics assembly and production manipulators, mostly for miniaturized optics and precision engineering components to be used in microelectronic equipment. Each order involves the use of mechanisms for measuring and testing embedded within the equipment, the development of prototypes and serial production testing. Companies both within Germany and abroad work with us to improve their production techniques and create new products for the market.

The institute receives support from public projects of the German Federal Ministry of Education and Research, the Ministry for Science, Research and the Arts of the Federal State of Thuringia and from international projects of the European Union.

About 100 employees carry out Fraunhofer IOF's research orders at its more than 5 000 square meters of offices and state-of-the-art laboratories. The institute is equipped with modern systems and facilities for photo- and laser lithography, dry and wet etch techniques, a wide variety of coating technologies, a broad range of highly developed surface metrology, a comprehensive selection of optical metrology techniques and a vast assortment of software for optical and mechanical development.

Kuratorium

Fraunhofer-Institut und Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft werden durch ein Kuratorium beraten, dem folgende Mitglieder angehören:

- **Dr. F.-F. von Falkenhausen**
Carl Zeiss Jena GmbH
(Vorsitzender)
- **Prof. Dr. H.-J. Tiziani**
Universität Stuttgart,
Lehrstuhlinhaber für Technische Optik
(stellvertretender Vorsitzender)
- **Dr. K. Bartholmé**
Ministerialrat im Thüringer Ministerium
für Wissenschaft, Forschung und Kunst (TMWFK)
- **Prof. Dr.-Ing. J. Herrmann**
- **Dr. L. Ross**
MuT Management- und Technologieberatung
Dr. Ross GmbH, Stutensee
- **Prof. Dr. R. Sauerbrey**
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Physikalisch-Astronomische Fakultät
Institut für Optik und Quantenelektronik
- **Prof. Dr. G. Scarbata**
TU Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik
und Informationstechnik, Fachgebiet
Elektronische Schaltungen und Systeme
- **J. von Schaewen a. G.**
Ministerialrat im Bundesministerium
für Bildung und Forschung, Bonn
- **Dr. N. Streibl**
Robert Bosch GmbH
- **Prof. Dr. B. Wilhelmi**
Jenoptik AG
Wissenschaftlicher Beirat

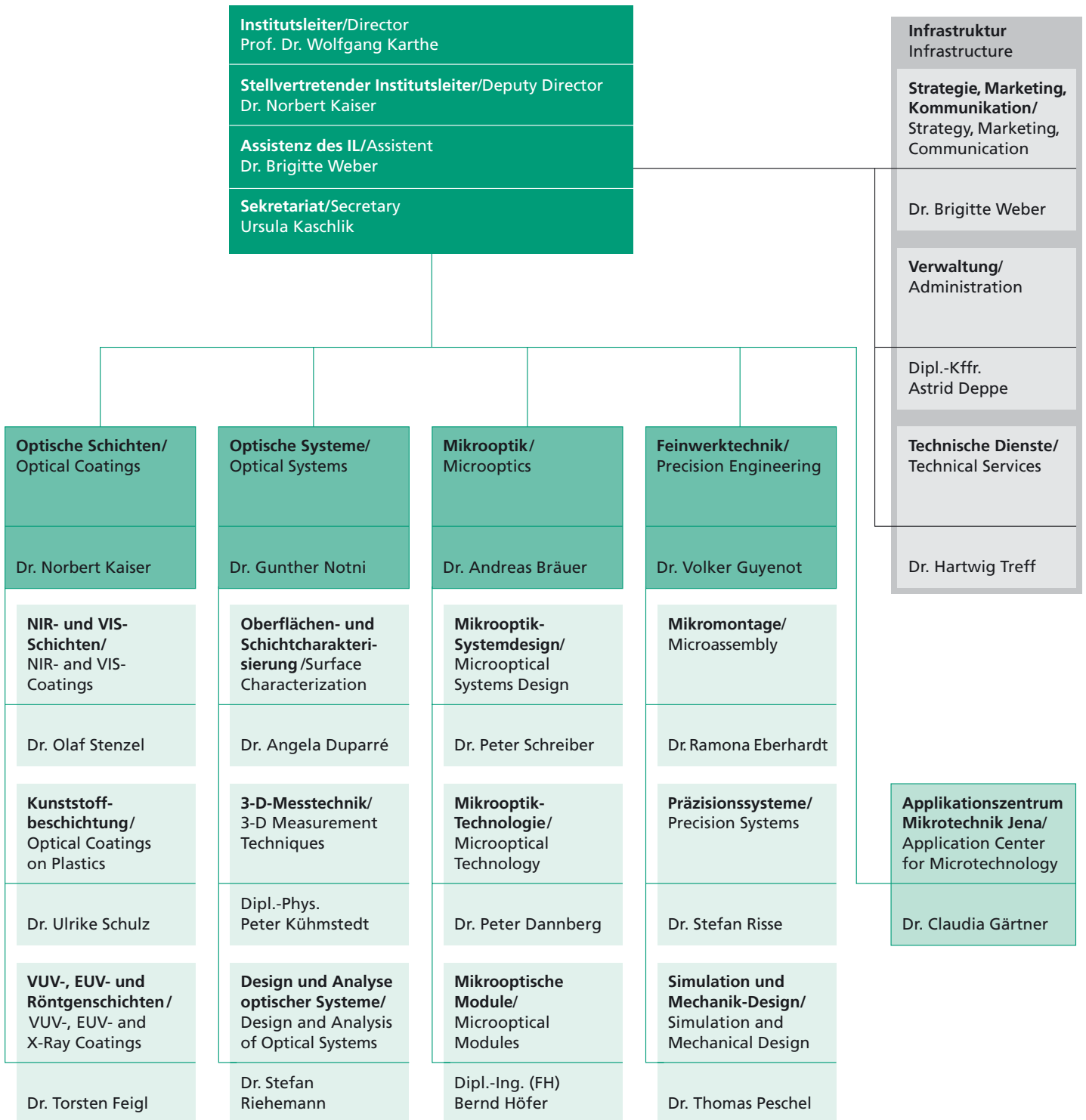
Advisory Committee

The Advisory Committee supports the Fraunhofer Institute as well as the Executive Board of the Fraunhofer-Gesellschaft and is comprised of the following members:

- **Dr. F.-F. von Falkenhausen**
Carl Zeiss Jena GmbH
(Chair)
- **Prof. Dr. H.-J. Tiziani**
University of Stuttgart,
Professor for Technical Optics
(Deputy chair)
- **Dr. K. Bartholmé**
Deputy minister of Thuringia's
ministry of science, research and the arts (TMWFK)
- **Prof. Dr.-Ing. J. Herrmann**
- **Dr. L. Ross**
MuT Management- und Technologieberatung
Dr. Ross GmbH, Stutensee
- **Prof. Dr. R. Sauerbrey**
Friedrich Schiller University, Jena
Faculty for Physics and Astronomy
Institute of Optics and Quantum Electronics
- **Prof. Dr. G. Scarbata**
Technical Univ. Ilmenau, Faculty for Electrical
Engineering and Information Technology,
Department of Electronic Circuits and Systems
- **J. von Schaewen a. G.**
Deputy minister of the federal ministry
for education and research, Bonn
- **Dr. N. Streibl**
Robert Bosch GmbH
- **Prof. Dr. B. Wilhelmi**
Jenoptik AG
Scientific advisory board

Organisationsstruktur/Kontakte

Organisational Structure/Contact Persons























Stand 15.1.2003



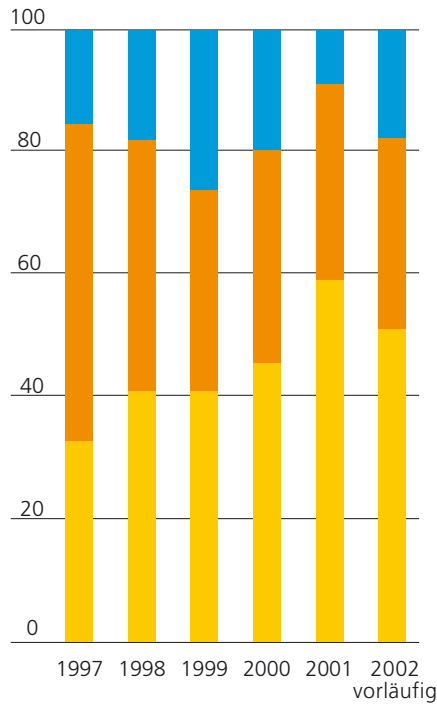
Gruppenbild/Group picture

Kernkompetenzen des Fraunhofer IOF

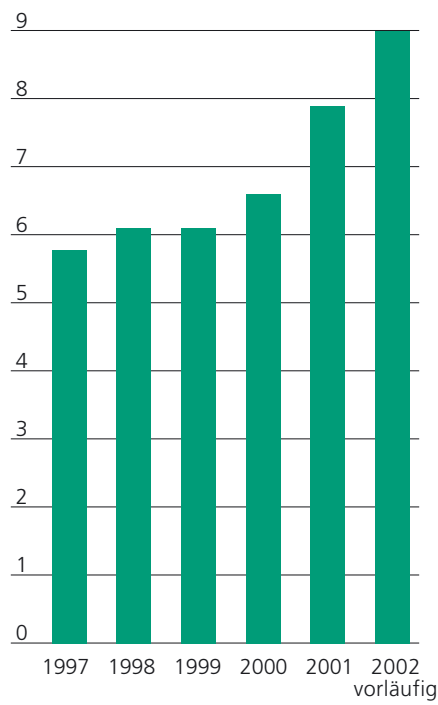
Competences of Fraunhofer IOF

Kernkompetenzen Competences Geschäftsfelder Business fields	Design und Analyse optischer und optomechanischer Systeme Design and analysis of optical and optomechanical systems	Mikrooptik Microoptics technology and systems	Optische Messtechnik Optical shape and surface measurement techniques	Funktionalisierung optischer Oberflächen Optical coatings technology
Bauelemente und Subsysteme für optische Informations-, Laser- u. Beleuchtungstechnik Devices and subsystems for optical information technology, laser technology a. illumination				
Optische Prüf- und Messmethoden/ optische Sensorik Optical test and measuring methods/ optical sensors				
Module für feinmechanische Präzisionssysteme Modules for precision mechanics systems				
Optische Beschichtungen Optical coatings				
Medizintechnisch-optische Geräte und Verfahren Medicaloptical equipment and methods				

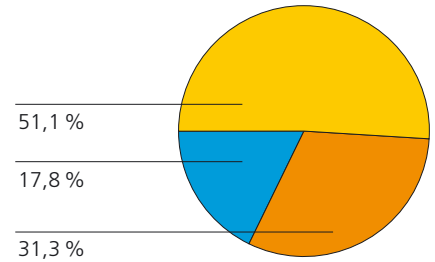
Budget (%)



Budget (Mio Euro)

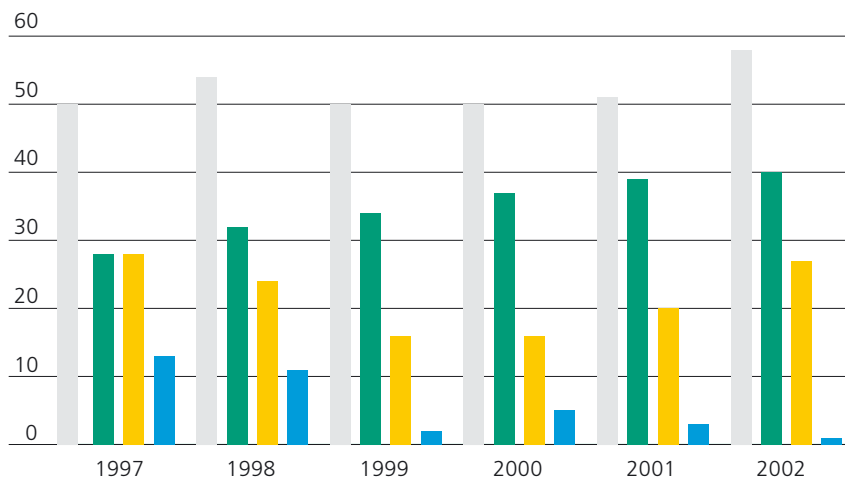


Budget Jahr 2002/ Budget year 2002

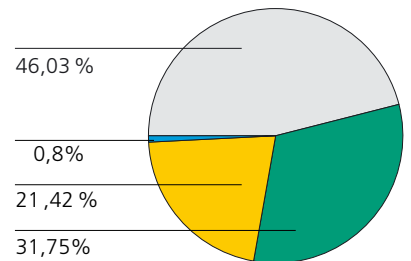


- Industrie/Contracts (Industry)
- öffentliche Aufträge/Contracts (Government)
- Grundfinanzierung/Ferdearl Funding

Beschäftigungsentwicklung/Staff (overall employment figures)



Beschäftigte 2002/Staff year 2002



- Wissenschaftler/Scientists
- Techniker/Technicians
- Schüler und Studenten/Undergraduate and graduate students
- Sonstige/Temporary contracts

Wichtige Ereignisse und Auszeichnungen im Jahr 2002 Highlights and honors in the year 2002



Feierlichkeiten anlässlich des 10-jährigen Bestehens des Fraunhofer IOF.
Celebrations on the occasion of the tenth anniversary of the Fraunhofer IOF.

Unser neues Institutsgebäude.
Our new institute building.



Der Umzug.
The move.



Optonet-Workshop.





Aus: „Photonik“ Fachzeitschrift für die Optischen Technologien No. 2.2002



Neue Phänomene in optischen Wellenleitern – Preis der DPG geht an Jenaer FH-Absolvent

Thomas Zentgraf (25) aus Jena ist Georg-Simon-Ohm-Preisträger. Diese Auszeichnung wird von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) für die beste Diplomarbeit auf dem Gebiet der technischen Physik verliehen und ist mit 1500 Euro dotiert. Thomas Zentgraf studierte Physikalische Technik an der Fachhochschule Jena und schloss sein Studium im März 2001 mit dem Prädikat „Sehr gut“ ab. Derzeit absolviert der Diplomingenieur ein Ergänzungsstudium Physik an der Technischen Universität Clausthal, um sich auf eine Promotion vorzubereiten. Den Preis erhält er für seine Abschlussarbeit, die er am Fraunhofer Institut für angewandte Optik und Feinmechanik in Jena angefertigt hat. Zentgraf beschäftigte sich mit dem experimentellen Nachweis von photonischen Bloch-Oszillationen. ...

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum unmittelbaren Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftliche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft eine Plattform zur fachlichen und persönlichen Qualifizierung für verantwortliche Positionen in ihren Instituten, in der Wirtschaft und in anderen Bereichen der Wissenschaft.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 13 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von etwa einer Milliarde Euro. Davon fallen etwa 900 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Für rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft Erträge aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein Drittel wird von Bund und Ländern beigesteuert, um damit den Instituten die Möglichkeit zu geben, Problemlösungen vorzubereiten, die in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

Ihren Namen verdankt die Gesellschaft dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787–1826).

The Fraunhofer-Gesellschaft

The Fraunhofer-Gesellschaft undertakes applied research of direct utility to private and public enterprise and of wide benefit to society. Its services are solicited by customers and contractual partners in industry, the service sector and public administration. The organization also accepts commissions and funding from German federal and Länder ministries and government departments to participate in future-oriented research projects with the aim of finding innovative solutions to issues concerning the industrial economy and demands faced by society in general.

By developing technological innovations and novel systems solutions for their customers, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. Through their work, they aim to promote the economic development of industrial society, paying particular regard to social and environmental concerns.

As an employer, the Fraunhofer-Gesellschaft offers a platform that enables its staff to acquire the necessary professional and personal qualifications to assume positions of responsibility within their institute, in industry and in other scientific domains.

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains roughly 80 research units, including 57 Fraunhofer Institutes, at over 40 different locations in Germany. A staff of about 13,000, predominantly qualified scientists and engineers, work with an annual research budget of around one billion euros. Of this sum, approximately € 900 million is generated through contract research. Roughly two thirds of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. The remaining one third is contributed by the German federal and Länder governments, as a means of enabling the institutes to pursue more fundamental research in areas that are likely to become relevant to industry and society in five or ten years' time.

Affiliated Research Centers and Liaison Offices in Europe, the USA and Asia provide contact with the regions of greatest importance to future scientific progress and economic development.

The Fraunhofer-Gesellschaft was founded in 1949 and is a recognized nonprofit organization. Its members include wellknown companies and private patrons who help to shape the Fraunhofer-Gesellschaft's research policy and strategic development.

The organization takes its name from Joseph von Fraunhofer (1787–1826), the illustrious Munich researcher, inventor and entrepreneur.

Ausgewählte Ergebnisse

Im vorliegenden Bericht werden ausgewählte Resultate aus den Forschungsfeldern des Fraunhofer IOF vorgestellt. Es sind Ergebnisse, die sowohl aus Projekten mit Großunternehmen als auch mit kleinen und mittelständischen Unternehmen hervorgegangen sind, die in öffentlich geförderten Verbundprojekten oder auch in hausinternen Vorlaufprojekten entstanden sind. Sie sollen dem Leser einen Eindruck über die Breite und Vielfalt unserer Forschungs- und Entwicklungsarbeit vermitteln und die schablonenhafte Darstellung der Kompetenzen des IOF in Form der Kompetenzmatrix anschaulicher machen.

Auch in diesem Bericht sind wieder Beiträge aus allen Kompetenzfeldern des IOF zusammengefasst. Im Feld Mikrooptik wird die Verschiebung der Anwendungsschwerpunkte auf Beleuchtungsprobleme deutlich, ergänzt durch Beiträge zum immer wichtiger werdenden Gebiet der Aufbau-, Verbindungs- und Montagetechniken bis hin zu neuen Integrationstechniken.

Die Kompetenzen in der Feinwerktechnik sind bei der Mikrooptikmontage ebenso wie bei Aufgaben der klassischen Optik und der Präzisionsmechanik von essentieller Bedeutung. Die beiden Beiträge zu Luftlagern und der theoretischen Behandlung opto-mechanischer Aufgaben unterstreichen das.

Mit der Verkleinerung der Strukturen und neuen Effekten aus der Nanotechnologie werden die im IOF ständig weiter entwickelten Methoden der Streulichtmessung für eine Vielzahl von zukunftssträchtigen Anwendungen immer interessanter, sei es durch das Vordringen zu sehr kurzen Messwellenlängen oder die Kombination mit nicht-optischen Messmethoden.

Wie weit die Verfahren der optischen 3-D-Messung unter Nutzung von digitalen Bildgebern inzwischen in die industrielle Anwendung vordringen, zeigen zwei Beiträge zur Prozessfähigkeit solcher Systeme und zu einer Anwendung in der Ophthalmologie.

Die hervorragenden Kompetenzen im Feld optische Schichten werden durch Beiträge unterstrichen, die den Bogen von der Untersuchung grundlegender Effekte bis zur sehr industriebezogenen Anwendung für die EUV-Lithografie schlagen.

Schließlich demonstriert ein Beitrag aus dem Applikationszentrum die Fähigkeit des IOF, die Kompetenzen in der Mikrosystemtechnik für Life Science-Anwendungen zur Verfügung zu stellen.

Selected results

The Fraunhofer IOF report features selected results from the institute's various fields of endeavor. This includes the results of projects carried out together with large, small and midsized companies, publicly sponsored cooperative projects and institute-internal research geared towards the future. These results are presented in the report to provide the reader with an impression of the breadth and variety of our research and development work and to fill out the brief depiction of the institute's areas of competence as offered in diagram form.

This report will also, as in the past, summarize contributions from all of IOF's focuses of activity. In the field of microoptics, for instance, it becomes apparent that our work has clearly shifted towards light source matters, while our efforts have also intensified in the ever more important field of assembly, connection and installation methods, involving new integration techniques.

Light engineering know-how is of essential importance in microoptics assembly as well as for activities in classical optics and precision mechanical engineering. This is borne out in the two articles on air bearings and optomechanical design theory.

In view of the continuing miniaturization of structures and the emerging ramifications of nanotechnology, the new methods in light-scattering measurement that are under continual development at the IOF are of growing interest for use in a number of promising future applications. This remains true whether as a result of the use of extremely short measurement wavelengths or that of new combinations with non-optical measurement techniques.

The impact that optical three-dimensional measurement systems featuring digital imagers have thus far had on industrial applications is illustrated in two articles on the process applicability of such systems and on their applications in ophthalmology.

Other articles underscore the institute's wealth of expertise in the field of optical coating, spanning the gamut from scientific groundwork to extremely specific industrial applications for EUV lithography.

Lastly, one article by the researchers of the applications center demonstrates the IOF's competence in microsystem technology for life science applications.

Modulierte RGB-Laserquelle für das digitale Photofinishing

Peter Schreiber, Bernd Höfer, Peter Dannberg



Peter Schreiber

Einführung

Digitale Minilabs für das Photofinishing erzeugen preiswerte, hochqualitative Fotoabzüge in kurzen Zykluszeiten. Eine der Kernkomponenten dieser Minilabs ist die computergesteuerte Belichtungseinheit, die entweder auf sequenziellem Laserscanning oder parallelen, digitalen Imagern, z. B. Mikrospiegelarrays, basiert. Scannende Systeme bieten exzellente Bildqualität und große Flexibilität hinsichtlich Bildformat und -größe. Ein Problem ist der große benötigte Bauraum bei Verwendung von Gasionenlasern als Lichtquelle. Um eine weitgehende Miniaturisierung zu erreichen, wurde eine kompakte RGB-Quelle unter Verwendung einer roten Laserdiode und frequenzverdoppelten, diodengepumpten Festkörperlasern (DPSSL) für den blauen und grünen Kanal sowie Miniatur-Festkörpermodulatoren aufgebaut.

Systemkonzept

Das prinzipielle Systemdesign ist schematisch in Abb. 1. dargestellt. Zunächst erfolgt eine Anpassung der Bündel der drei Laser an die Aperturen der Modulatoren. Eine zweite Strahlformungseinheit ist für die Anpassung an den nachfolgenden Polygonscanner und die dichroitische Kombination der drei Bündel zuständig.

Die Laserquellen wurden von der LASOS GmbH entwickelt, die Miniaturmodulatoren stammen von der LINOS Photonics GmbH & Co. KG.

Die Systemspezifikationen erfordern eine Taillenabbildung aller Laser auf den Polygonspiegel mit sehr kleinen Toleranzen hinsichtlich Bildgröße und -lage. Da die Taillentoleranzen der Quellen diese Spezifikationen wesentlich übersteigen, muss die Abbildungsoptik eine Kompensation dieser Schwankungen erlauben. Das kann entweder durch gezielte Vignettierung oder durch Strahlaufweitung mit variablem Vergrößerungsverhältnis erreicht werden. Dieses Verfahren wurde auf Grund der höheren Systemtransmission bevorzugt. Üblicherweise erfordern derartige zoombare beam expander mindestens drei Linsen und vergleichsweise großen Bauraum. Um kleine Baugrößen zu erzielen, nutzen wir in diskreten Schritten zoombare, zweilinsige Teleskope mit Linsenarrays mit gechirpter Brennweite. Eine nähere Beschreibung dieses Lösungsansatzes erfolgt anhand des Laserdiodenmoduls (Abb. 2). Nach Kollimation mit einer Asphäre erfolgt die Einstellung des Strahldurchmessers und die Zirkularisierung durch ein anamorphotisches Teleskop, bestehend aus einer Fokussierlinse und gekreuzten Zylindermikrolinsen negativer Brennweite. Diese Linsen sind Bestandteile von Arrays mit gechirpter Brennweite.

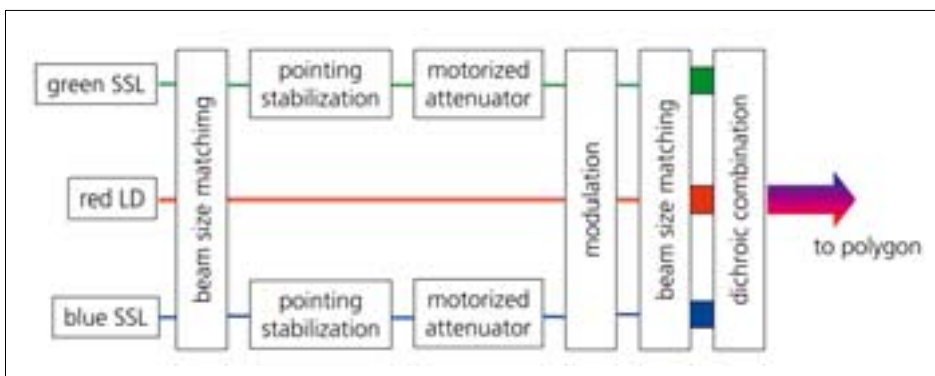


Abb. 1: Schematische Darstellung der RGB-Quelle.

Fig. 1: Schematic system layout of the RGB-laser source.

Modulated RGB-laser source for digital photo finishing

Peter Schreiber, Bernd Höfer, Peter Dannberg

Introduction

The digital minilab systems for photo finishing equipment which are currently entering the market, produce low-cost, high-quality photo prints at high speed. One crucial component of these minilabs is a computer-controlled exposure system which uses either sequential exposure by laser scanning or parallel digital imaging with devices such as micro-mirror arrays. Laser-scanning systems offer excellent picture quality and great flexibility in picture size, but require a large amount of space as they use gas lasers as the RGB source. To overcome this problem we have developed a compact RGB-laser source using frequency-doubled diode-pumped solid state lasers (DPSSL) for the blue and green channel and a laser diode for the red channel in conjunction with miniaturized solid state modulators and various microoptical elements.

System layout

The basic system layout is shown schematically in fig. 1. The outputs of the three laser sources are set up to pass through the modulator apertures. A second beam-shaping optics unit is responsible for adapting the beams to the polygon scanner and for the dichroic combination of the laser sources.

The lasers were developed by LASOS GmbH while the miniaturized modulators originate from LINOS Photonics GmbH & Co. KG.

The system specifications require waist imaging of all three laser sources onto the scanning polygon mirror with very tight tolerances for image size and focusing. Because the sources' waist size tolerances exceed these specifications considerably, the imaging optics must compensate for these deviations. This can be achieved either by controlled truncation of the laser beams or by using beam-expanders with variable enlargement. We favored the beam-expander method in order to avoid truncation losses. Usually, a zoomable expander as described here requires at least three lenses and a comparatively large amount of space in the direction of the light propagation. In order to reduce the space required, we used lens arrays with chirped focal length to build two-element systems which are zoomable in discrete steps. Fig. 2 depicts the red laser diode module and describes this approach in more detail. After collimation by an aspheric lens, the adjustment of beam size and circularity is accomplished using an anamorphic telescope consisting of a focusing lens followed by crossed negative cylindrical micro-lenses for recollimation. These cylindrical lenses are elements of lens arrays with chirped focal length.



Bernd Höfer



Peter Dannberg

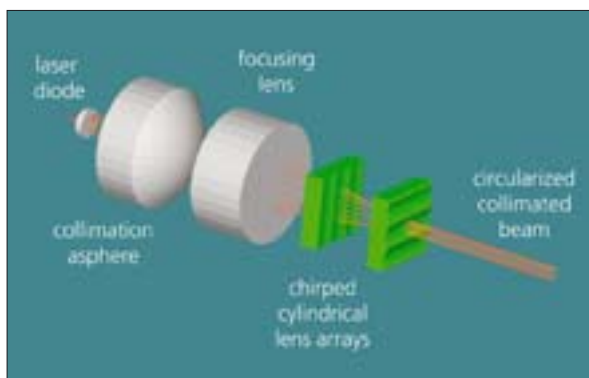


Abb. 2:
Schematische Darstellung der Laserdiodenkollimation und -zirkularisierung.

Fig. 2:
Schematic drawing of laser diode collimation and circularization.

Durch laterale Verschiebung der Arrays selektiert man die Linse mit der erforderlichen Brennweite zur Erreichung der geforderten Taillendurchmesser in beiden Achsen, dann erfolgt die axiale Justage zur Rekollimation. Mit dieser Technik gelingt eine präzise Kompensation der Taillentoleranzen und des Astigmatismus der Laserdiode. Ein analoger Ansatz wird zur Anpassung der DPSSL an die Modulatoren und zur Erreichung der geforderten Spotparameter auf dem Polygon eingesetzt.

Weitere wesentliche Teile des Systemdesigns sind Leistungskontrolle und Strahlage-Stabilisierung für die Festkörperlaser. Der geforderte Temperaturbereich der RGB-Quelle machte den Einsatz einer aktiven Strahlage-stabilisierung erforderlich. Dafür wird ein Teil des Laserlichts auf einen positionssensitiven Detektor (PSD) zur Monitorierung der lateralen Taillenposition ausgekoppelt. Eine mittels Piezoaktuator bewegte Linse der Strahlauflaufweite vor dem Modulator erlaubt dann eine Kompensation der Pointingschwankungen.

Eine unabhängige Leistungsregelung der drei Farbkanäle ist zur Ausnutzung des vollen Dynamikbereichs der Modulatoren erforderlich. Monitordioden vor und nach den Modulatoren liefern Informationen zur Steuerung der Laserleistung und des Arbeitspunkts der Modulatoren. Die Leistungsregelung im roten Kanal erfolgt durch Stromsteuerung der Laserdiode, die Leistungen im grünen und blauen Kanal werden durch motorgetriebene Halbwellenplatten gesteuert.

Herstellung

Die Linsenarrays werden durch Replikation von Reflow Mikrolinsen hergestellt /1/. Der Chirp wird durch geringfügige Veränderungen der Linsenbreite von lenslet zu lenslet erzielt. Abb. 3 zeigt die Originalstrukturen für Arrays von zirkularen und Zylinderlinsen zur nachfolgenden Abformung durch UV-Reaktionsguss auf ein Glassubstrat. Nach Antireflexionsbeschichtung weisen die Arrays hohe Transmission und sehr präzise und glatte Oberflächen, die eine weitgehende Erhaltung der Strahlqualität der Laserbündel erlauben, auf (Abb. 4). Entsprechend den gemessenen Divergenzen der Laserquellen werden Teilarrays, bestehend aus 8 lenslets, mit einer Wafersäge ausgeschnitten. Die Auswahl des richtigen lenslets

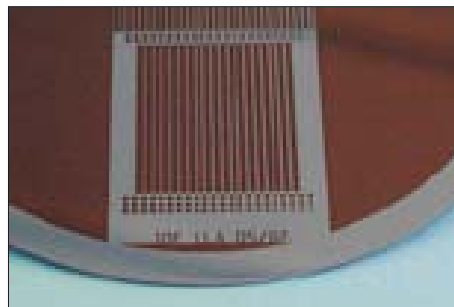


Abb. 3:
Gechirptes zirkulares und Zylinderlinsenarray.

Fig. 3:
Chirped cylindrical and circular reflow lens arrays.

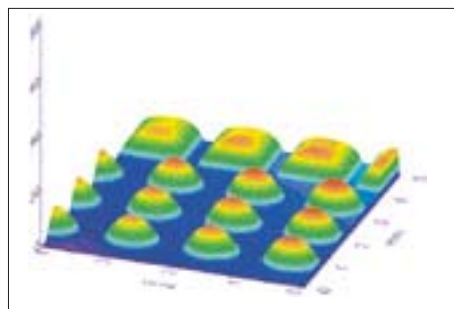


Abb. 4:
Oberflächenprofil der Arrays.

Fig. 4:
Surface profile of part of the chirped arrays.

während der Montage ermöglicht eine Feinabstimmung. Die mikrooptischen Komponenten zusammen mit den Kataloglinsen und den aktiven Komponenten sind auf einem Edelstahlchassis montiert, dessen Form die Integration in die Belichterkassette des Minilabs ermöglicht. Die Zusammenfassung von Subbaugruppen wie Strahlauflaufweite mit integriertem Quellmonitor, Modulator mit motorisierter Halbwellenplatte oder Strahlagedetektoreinheit ermöglichen einen modularisierten Systemaufbau. Zur Montage kritischer mikrooptischer Bauelemente nutzen wir Präzisionssteller und UV-Justierkleben. Der Justagezustand hinsichtlich Spotgröße, -lage und -qualität erfolgt mit einem Strahlanalyse-System in der Filmebene. Abb. 6 zeigt eine frühe Ausbaustufe des Demonstratorsystems.

Zusammenfassung

Der Einsatz der Mikrooptiktechnologie erlaubt die Herstellung hochwertiger, gechirpter Linsenarrays. Durch den Einsatz dieser Arrays konnten zoombare beam expander, bestehend aus nur zwei Elementen, aufgebaut und erfolgreich in einer komplexen RGB-Laserquelle getestet werden.

Dank

Diese Arbeit wurde unter dem Kennzeichen 16 SV 1228 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert.

Literatur:

/1/ P. Dannberg, G. Mann, L. Wagner, A. Bräuer: „Polymer UV-molding for micro-optical systems and O/E-integration“, Proc. SPIE 4179 (2000), pp. 137–45.

Through lateral movement of the arrays we select the lenslets with the correct focal width to achieve the required waist sizes in both axes. Then the arrays are axially adjusted for collimated output. With this technique a precise amount of compensation of laser diode waist size tolerances and astigmatism is achieved. An analogous approach is utilized for adapting the beam size of the DPSSL to pass through the modulators and to match the size of the modulated beams to the required spot on the polygon.

Other important features of the system design are intensity control and pointing stabilization for the DPSSL: The working temperature range of the RGB source required active pointing control to guarantee the perfect overlap of the three colored spots on the film plane. Part of the laser light is thus directed with a beam sampler onto a position sensitive detector (PSD) to monitor the actual lateral waist position. Pointing error is compensated for by using a piezoactuator which moves one of the lenses in the beam expander telescope in front of the modulator. Furthermore, power control of all three color channels is required in order to use the full dynamic range of the modulators for



Abb. 5:
Mechanische Konstruktion der kompletten RGB-Quelle.

Fig. 5:
Mechanical construction of the complete RGB source.

film exposure. Monitor diodes before and after the modulators provide information about the current signal in order to control laser power and modulator bias for all three channels. The power of the red laser diode is regulated by current control, the green and blue channel is controlled by a rotating half-wave plate, driven by a miniature step motor.

Manufacturing

The chirped lens arrays are manufactured by replication of reflow microlens arrays [1]. The chirp is achieved by varying the width slightly from lenslet to lenslet. Fig. 3 shows the master structures for chirped circular and cylindrical lens arrays used as a tool for subsequent replication by UV-molding of a polymer onto a glass substrate. After AR-coating, the reflow lenses provide high transmission as well as very accurate and smooth surface profiles, enabling the preservation of laser beam quality (fig. 4). In accordance with the measurements of the laser sources' divergence, an appropriate part of the array consisting of 8 lenslets is selected with a wafer dicing saw. By choosing the correct lenslet of these arrays, the fine tuning of the image spot sizes is achieved to satisfy system specifications. The micro-optical components, together with the stock lenses and active components, are mounted on a stainless steel motherboard, which is shaped to fit into the laser scanning unit of an existing minilab (fig. 5).

Mounting posts for subsystems such as beam expanders with integrated power monitor, modulators with motorized power control and pointing monitors allow for modularized assembly. For the adjustment of critical micro-optical elements, we used precision positioning stages with subsequent fixing by UV-curing glue. Adjustment is carried out

through the assessment of spot size, position and quality with a beam profiler situated in the film plane. Fig. 6 shows an early stage demonstration system.

Conclusions

Micro-optics technology enables the manufacturing of high-quality lens arrays with chirped focal length. Using these arrays, compact zoomable beam expanders consisting of only two optical elements were manufactured and successfully applied for beam matching in a complex RGB-laser source.

Acknowledgement

This work was funded under grant number 16 SV 1228 by the German Federal Ministry of Education and Research BMBF.

References:

- [1] P. Dannberg, G. Mann, L. Wagner, A. Bräuer: „Polymer UV-molding for micro-optical systems and O/E-integration“, Proc. SPIE 4179 (2000), pp. 137–45.



Abb. 6:
Frühe Ausbaustufe eines Demonstratorsystems.

Fig. 6:
Early stage system demonstrator without motorized power control.

Mikrooptisches Beleuchtungsmodul für digitale Projektionsanwendungen

Uwe Detlef Zeitner, Peter Schreiber, Ralf Rosenberger,
Arne Tröllsch*, Armin Leitel*

*Carl Zeiss Jena GmbH



Uwe Detlef Zeitner

Einleitung

Technische Systeme versorgen heute den Nutzer mit einer zunehmenden Menge an verschiedensten Informationen. Die Schlüsselschnittstelle zwischen dem System und Benutzer ist dabei die Visualisierung der Daten über Displays. Diese entscheidet oft über die Akzeptanz des gesamten Systems. In enger Kooperation mit der Carl Zeiss Jena GmbH entwickelt das Fraunhofer IOF neue innovative Konzepte für Displaylösungen in mobilen Anwendungen, wie z. B. der Integration von digitaler Projektion in mobilen Computern.

Realisierung des Beleuchtungsmoduls

Projektoren bestehen in der Regel aus drei Hauptbestandteilen: der Lichtquelle, einer elektronisch ansteuerbaren Bildgebermatrix und dem Projektionsobjektiv. Alle diese Komponenten müssen für mobile miniaturisierte Projektionsanwendungen speziell angepasst werden. Im Folgenden wird eine Variante der Bildgeberbeleuchtungseinheit beschrieben, die für solche Anwendungen entwickelt wurde. In nahezu allen Datenprojektoren werden so genannte UHP-Lampen als Lichtquelle eingesetzt. Trotz deren stetiger Weiterentwicklung in der Vergangenheit haben diese Lampen einige Nachteile. Der benötigte Reflektor führt häufig zu geometrischen Abmessungen, die speziell für mobile Anwendungen zu groß sind. Ein signifikanter Anteil der abge-

strahlten Energie geht durch die typischerweise sequenzielle Selektion der drei Grundfarben mit Filtern aus dem breitbandigen Spektrum der UHP-Lampen verloren. Die Gesamtlichtleistung dieser Lampen ist sehr gut geeignet für Videoprojektionen auf großen Leinwänden mit einer Fläche von mehreren Quadratmetern. In mobilen Anwendungen werden diese Großprojektionen jedoch häufig nicht benötigt – die Projektionsflächen sind meist deutlich kleiner. Allerdings ist es nicht möglich, UHP-Lampen in ihrer Ausgangsleistung zu dimmen, so dass eine Anpassung nur schlecht möglich ist.

Im neu entwickelten System werden rote, grüne und blaue LEDs als Lichtquellen eingesetzt. In der Vergangenheit waren LEDs nicht hell genug, um als Beleuchtung in Projektionsanwendungen genutzt zu werden. Mit der Entwicklung der so genannten high-brightness LEDs hat sich dies in den letzten Jahren teilweise geändert. Durch den Einsatz von LEDs lässt sich der Wärmeverlust in den Systemen deutlich verringern, da die verschiedenen Farben sequentiell angesteuert werden können und die Selektion mit Farbfiltern entfällt. Zusätzlich bietet die Nutzung von LEDs oder LED-Arrays als Lichtquelle ein enormes Potenzial für die Verringerung der Gesamtgröße der Projektionssysteme.

Microoptical illumination module for digital projection applications

Uwe Detlef Zeitner, Peter Schreiber, Ralf Rosenberger, Arne Trölsch*, Armin Leitel*

*Carl Zeiss Jena GmbH

Introduction

Today's technical systems provide the user with an ever increasing amount of diverse information. One of the key points of contact between systems and their users is the visualization of data via displays, often acting as a deciding factor in the users' acceptance of any given system. In close cooperation with Carl Zeiss Jena GmbH, the Fraunhofer IOF is developing new innovative concepts for potential display strategies in the area of mobile applications. One such example is the integration of digital projection into mobile computers.

Realization of the illumination module

Projectors usually consist of three main parts: a light source, an electronically controlled imager matrix and a projection lens. All three must be adapted to the special demands of mobile miniaturized projection applications. A description below illustrates the configuration of an imager matrix illumination which has been specially developed for such applications.

The vast majority of data projectors use UHP lamps as a source of light. In spite of the continued development of these lamps in the past they are still subject to certain shortfalls. The reflectors required often take on geometrical dimensions which, especially in the case of mobile applications, are usually too large. Furthermore, a significant amount of radiated energy is lost due to the selection of the RGB colors in filtering the broadband spectrum of the UHP lamps. The total amount of light emitted from such UHP lamps is well suited for video projection onto screens with an area of several square meters, but is not necessary in the projection of images onto smaller surface areas, which is often the case in the above-mentioned applications. The fact that it is not possible to dim the output power of UHP lamps imposes serious limitations on the adaptability of their applications.

The newly developed system contains red, green, and blue LEDs as a source of light. In the past, LEDs have been unable to emit a sufficient amount of light for use in projection applications. However, this has changed to an extent due to recent progress made in the development of high-brightness LEDs. As a consequence of the use of LEDs, the system's heat dissipation can be reduced significantly which is a result of the sequential addressing of the different colors, which in turn makes color filters unnecessary. In addition, the use of LEDs or LED arrays as a light source offers great potential for a noteworthy reduction in the overall size of the system.



Peter Schreiber



Arne Trölsch



Ralf Rosenberger



Armin Leitel

Um die LED-Arrays an die hier betrachtete Beleuchtungsaufgabe anzupassen, wurden verschiedene mikrooptische Elemente im Beleuchtungsstrahlengang mit konventioneller Optik kombiniert. Für die Kollimation der Lichtquelle wurde ein spezielles Mikrolinsenarray berechnet und mittels Reflow-Technologie hergestellt sowie mit einem UV-Reaktionsgussverfahren repliziert /1/. Jeder LED-Chip im Array wird separat mit einer eigenen Linse kollimiert.

Abb. 1 zeigt das Kollimationslinsenarray vor der Montage auf das LED-Array. Die zweite Aufgabe, die mit Hilfe von Mikrolinsenarrays gelöst wurde, ist die Homogenisierung der Ausleuchtung auf der Bildgebermatrix /2/. Der so genannte Lichtmischstab, der in konventionellen Projektoren eingesetzt wird, ist beim vorliegenden System durch Paare von Mikrolinsenarrays für jede der drei LED-Arrays und eine gemeinsame Fokussierlinse ersetzt worden.

Durch diese Anordnung konnte die Gesamtlänge des Systems von der Lichtquelle bis zum Bildgeber reduziert werden.

Abb. 2 zeigt das montierte Beleuchtungsmodul, bestehend aus den drei LED-Arrays mit der Homogenisierung, dem Farbmischwürfel, der Fokussierlinse und dem Strahlteilerwürfel, der im endgültigen Aufbau direkt vor der Bildgebermatrix angeordnet ist.

Zusammenfassung

Es wurde ein neues Beleuchtungskonzept für Bildgebermatrizen in digitalen Projektoren entwickelt und experimentell demonstriert, welches auf dem Einsatz von LED-Lichtquellen und mikrooptischen Komponenten basiert. In Zusammenhang mit der absehbaren Weiterentwicklung von so genannten

High-brightness LEDs eröffnen solche Konzepte ein enormes Potenzial für die Miniaturisierung von Projektoren und damit für ihren Einsatz in mobilen Systemen.

Danksagung

Diese Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert unter der Vertragsnummer 01BD150.

Literatur:

- /1/ P. Dannberg, L. Erdmann, R. Bierbaum, A. Krehl, A. Bräuer, E.-B. Kley: „Micro-optical elements and their integration to glass and optoelectronic wafers“, *Microsystem Technologies* 6, pp. 41–47, (1999).
- /2/ A. Büttner, U. D. Zeitner: „Wave optical analysis of light-emitting diode beam shaping using microlens arrays“, *Opt. Eng.* Vol. 41 No. 10, 2393–2401, Oct. 2002.



Abb. 1:
Mikrolinsenarray für die Kollimation
des LED-Arrays.

Fig. 1:
Microlens array for collimation of the LED-Array.

In order to adapt the LED arrays to the illumination task in question, various micro-optical elements were combined with conventional optical components in the light path. A special micro-lens array was designed and fabricated using reflow technology and UV-reaction molding for the collimation of the light source /1/. Each LED chip in the array is collimated separately with its own lens. Fig. 1 shows the collimation lens-array before it is mounted onto the LED array. The homogenization of the illuminated area on the imager matrix followed as the second task, carried out with the help of micro-lens arrays /2/. The light tunnel used in conventional projectors was replaced in the current system by pairs of micro-lens arrays for each of the three LED arrays, and a joint focusing lens. As a result of this arrangement it was possible to reduce the overall distance from light source to imager.

Fig. 2 illustrates the assembled illumination module consisting of three LED arrays together with the homogenization unit, a color combiner, the focusing lens and the beam splitter cube, for placement directly in front of the imager matrix in the final set-up.

Conclusion

A new concept for the illumination of the imager matrix in digital projectors based on LED light sources and micro-optical components has been developed and experimentally demonstrated. In view of the likely further development of high-brightness LEDs, such concepts offer great potential in the miniaturization of projectors. This will prove necessary especially as applied in connection with mobile systems.

Acknowledgements

This work was sponsored by the German Ministry of Education and Research under contract 01BD150.

References:

- /1/ P. Dannberg, L. Erdmann, R. Bierbaum, A. Krehl, A. Bräuer, E.-B. Kley: „Micro-optical elements and their integration to glass and optoelectronic wafers“, *Microsystem Technologies* 6, pp. 41–47, (1999).
- /2/ A. Büttner, U. D. Zeitner: „Wave optical analysis of light-emitting diode beam shaping using microlens arrays“, *Opt. Eng.* Vol. 41 No. 10, 2393–2401, Oct. 2002.

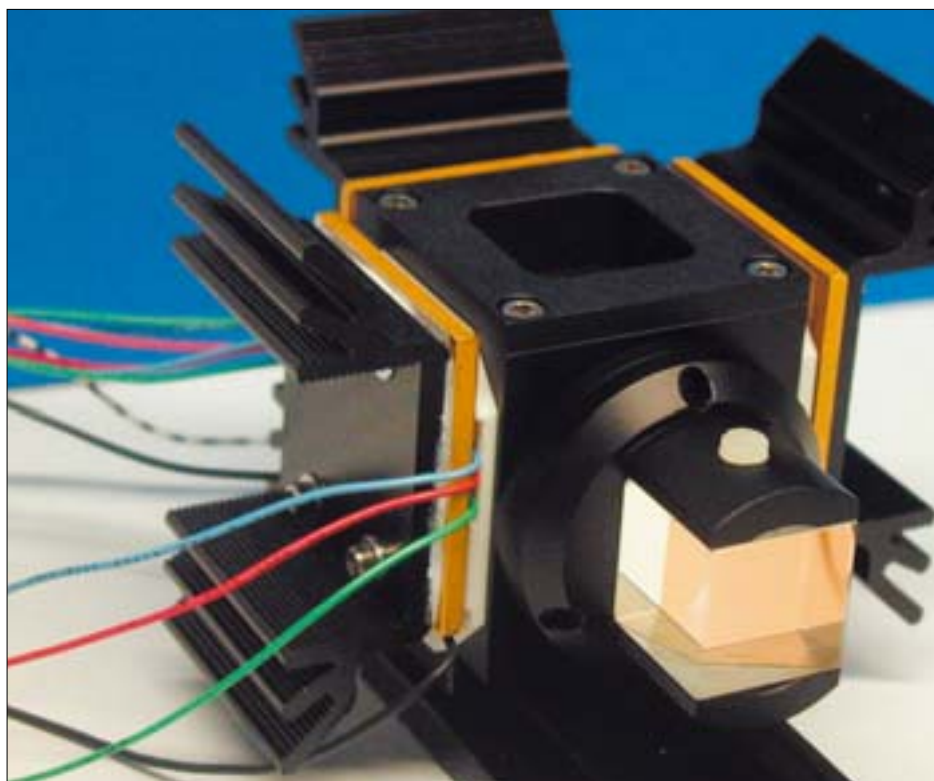


Abb. 2: Montiertes Beleuchtungsmodul.

Fig. 2: Assembled illumination module.



Ulrich Streppel

Einführung

In den letzten Jahren verzeichnete die Entwicklung und die Herstellung mikrooptischer Elemente ein rasantes Wachstum. Dies wurde getrieben durch viele neue Anwendungen z. B. aus den Gebieten der Telekommunikation, der Sensorsysteme oder der Displaytechnik. Die fortschreitende Miniaturisierung aller Komponenten in solchen Systemen hält weiter an und erfordert eine weitergehende Zusammenführung von Mikrooptik und Mikroelektronik, um die geforderten Integrationsdichten und Ortsauflösungen zu erreichen. Dies erfordert die Entwicklung geeigneter Herstellungsmethoden, die einerseits Kosten- und Zeiteffizienz bieten und gleichzeitig die Integrationsfähigkeit zu optoelektronischen Substraten im Wafermaßstab leisten können. Lithographische Mikrostrukturierung von UV-sensitiven Polymeren besitzt das Potenzial, speziell die Randbedingungen der Integrationsfähigkeit und die Vielfalt der herstellbaren Strukturen zu erfüllen, wie dies schon z. B. mit der Realisierung hochpräziser Mikrolinsenarrays durch UV-Reaktionsguss demonstriert werden konnte [1].

Bei der Herstellung von dickeren Strukturen, z. B. hochaperturigen Mikrolinsen mit Pfeilhöhen im Bereich größer 100 μm , geraten die herkömmlichen Fabrikationsverfahren an ihre Grenze, da während des UV-Härtungsvorgangs

Inhomogenitäten auftreten, die die optische Funktion des Elementes stark beeinträchtigen. Unser Ziel ist es daher, den physikalischen Hintergrund des bei der UV-Belichtung stattfindenden Strukturbildungsprozesses zu untersuchen und insbesondere zu verstehen, welche Parameter die Systemantwort des Polymermaterials bei UV-Belichtung beeinflussen. Mit dieser Grundlage wären wir dann in der Lage die Strukturbildung gezielt zu steuern, um z. B. die Homogenität des UV-gehärteten Materials zu verbessern oder aber, um die selbstorganisierte Strukturbildung direkt zur Herstellung mikrooptischer Elemente zu nutzen.

Integrierende Nichtlinearität

Unsere Untersuchungen zeigten, dass eine nichtlineare, irreversible Änderung des Brechungsindex während des Belichtungsprozesses der grundlegende Effekt ist. Für die untersuchten anorganisch-organischen ORMOCER® Hybridpolymere betragen die Indexänderungen bis zu 0,03, wobei die Belichtung bei niedrigen Belichtungsintensitäten von 2 bis 10 mW/cm^2 erfolgt. In der ersten Phase, kurz nach Start der Belichtung, steigt der Index schnell an und geht dann langsam in einen Sättigungswert über. Dabei ist der Betrag der absorbierten Energie das Kriterium, welches die Geschwindigkeit des Indexanstiegs bestimmt (Abb. 1).

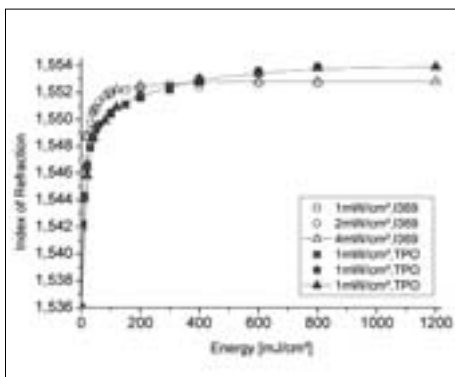


Abb. 1: Brechungsindex des ORMOCER®1 Polymers als Funktion der während der UV-Belichtung deponierten Energie.

Fig. 1: Refractive index of ORMOCER®1 polymer as a function of the deposited energy during UV-curing.

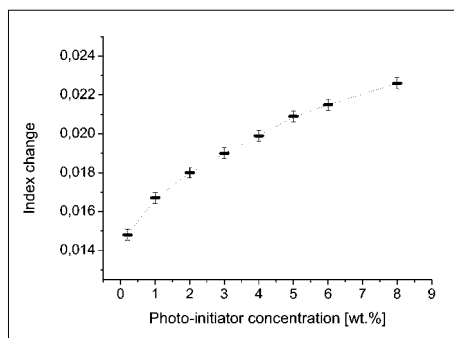


Abb. 2: Brechungsindex des ORMOCER®1 Polymers als Funktion der Konzentration des Photoinitiators.

Fig. 2: Refractive index change of ORMOCER®1 polymer as a function of the photo-initiator concentration.

Introduction

In recent years, the development and fabrication of micro-optical elements has been growing rapidly due to various new applications in the fields of telecommunications, sensor systems and data visualization. The further miniaturization of the components of such systems has remained consistent and now demands an ongoing integration of micro-optics and opto-electronics in order to reach high integration densities and spatial resolutions. This requires the development of suitable fabrication methods, which are both time and cost-efficient as well as capable of achieving the integration potential provided by opto-electronic substrates in wafer-scale. The lithographic micro-fabrication using UV-sensitive polymers has the potential to address questions of integration potential and flexibility in connection with the various kinds of structures fabricated as already demonstrated, for example, by the fabrication of very precise microlens arrays with UV reaction molding [1].

In the manufacturing of thicker structures, such as high NA microlenses with sags in the range of over 100 μm , conventional UV-curing processes are approaching their limits due to refractive index inhomogeneities which arise during the curing process. It is therefore our aim to investigate the physical background of the structure formation and to understand which factors influence the UV response of the material. With this knowledge, we would be able to influence the structure forma-

tion in such a way as to improve the homogeneity of the UV-cured material and would be in a position to use the self-organized structure formation for the production of the micro-optical elements themselves.

Integrating non-linearity

Our investigations demonstrated that a non-linear, irreversible change of the refractive index during the exposure process is the basic effect. For the inorganic-organic hybrid ORMOCER® materials, index changes of up to 0.03 at low power densities of 2 to 10 mW/cm^2 can be achieved. The refractive index at first changes rapidly before becoming gradually saturated. The amount of absorbed energy is the criterion that defines the speed of index growth (fig. 1).



Peter Dannberg



Christoh Wächter



Andreas Bräuer

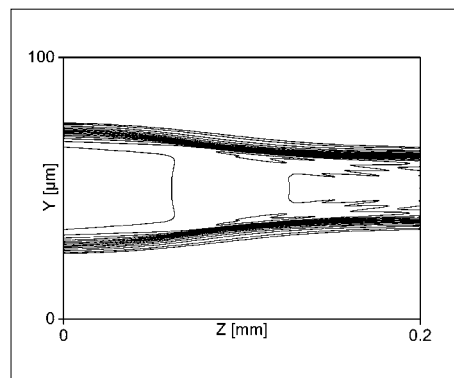


Abb. 3: Resultierende Brechungsindexverteilung für eine Supergauß Eingangintensitätsverteilung (Ordnung 3), erzielt durch iterative BPM-Simulation. Eine Isolinie entspricht $\Delta n = 0.001$.

Fig. 3: Refractive index distribution achieved with BPM simulation for an initial supergaussian intensity profile of order 3. One contour line equals $\Delta n = 0.001$

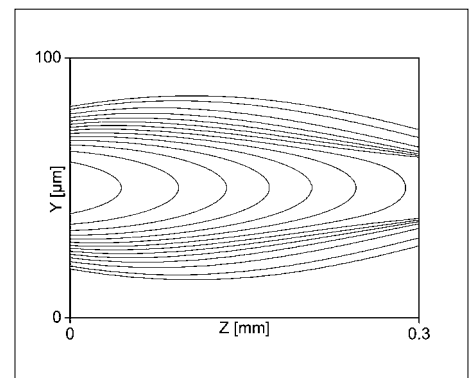


Abb. 4: Berechnete resultierende Brechungsindexverteilung für UV-Belichtung mit divergentem Feld (Brennweite $-200 \mu\text{m}$). Eine Isolinie entspricht $\Delta n = 0.001$.

Fig. 4: Refractive index distribution for divergent exposure with focal length $-200 \mu\text{m}$. One contour line equals $\Delta n = 0.001$

Der erreichbare gesamte Indexhub wird allerdings durch das Material selber und insbesondere durch die Konzentration des zuzufügenden Photoinitiators gegeben (Abb. 2). Dies weist auf ein mögliches Instrument zur Steuerung des Musterbildungsprozesses hin. Die nicht-lineare Indexänderung kann mit Hilfe eines einfachen reaktionskinetischen Ratenmodells, das sich auf die zeitabhängigen Ratengleichungen für die am Polymerisationsprozess beteiligten Reagenzien stützt, berechnet werden. Dabei werden alle Prozessparameter, wie z. B. die Photostarter-Konzentration und die Absorption, als zeitabhängige Funktionen berücksichtigt /2/.

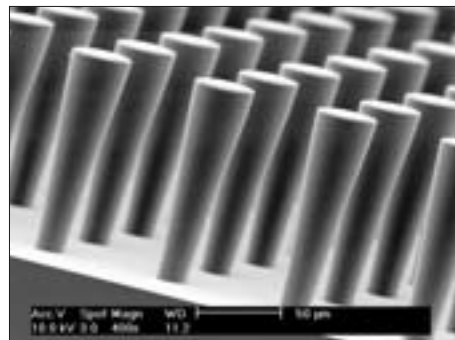
Simulation der Musterbildung

Dies ist die grundlegende Voraussetzung für die Simulation des Strukturbildungsprozesses, die durch die Implementierung eines iterativen 2-D-BPM („Beam Propagation Method“) Algorithmus realisiert wurde. Jeder Rechenzyklus startet mit der vorgegebenen Anfangsfeldverteilung, propagiert dieses Signal durch das Polymergebiet hindurch und liefert im Ergebnis die resultierende Indexverteilung. Diese bildet den Startpunkt für den nächsten Zyklus. Nach jedem Zyklus wird eine Diffusionskorrektur ausgeführt. Um die endgültige Geometrie der entstehenden Mikrostruktur zu erhalten, wird der im Experiment nach der Belichtung auszuführende Entwicklungsvorgang durch eine Schwellwert-Korrektur simuliert. Dabei wird berücksichtigt, dass die betrachteten ORMOCER® Hybridpolymere als Negativ-Resist wirken, d. h. unbelichtetes Material wird mit einem geeigneten Entwickler ausgewaschen.

Die Simulation zeigt, dass in der Tat eine Störung des Eingangsfeldes, z. B. durch Beugung an den Rändern des Signals oder an den Aperturen des

optischen Belichtungssystems, verstärkt wird und zur Filamentierung des resultierenden Indexprofils führt (Abb. 3). Offensichtlich wird das zur Belichtung verwendete UV-Licht in der selbstgeschaffenen Brechungsindexverteilung geführt. Treibender Faktor ist dabei die auftretende Selbstfokussierung. Diese beeinflusst sowohl die Brechzahlverteilung innerhalb der Mikrostrukturen als auch deren äußere Geometrie, wie die Form der Seitenwände. Die äußere Gestalt der Mikrostrukturen wird zudem entscheidend durch die Variation von Prozessparametern und dabei insbesondere durch das Belichtungsregime beeinflusst. Der Beitrag der Selbstfokussierung wird so z. B. durch den Gradient des Eingangsfeldes gegeben. So zeigt die Simulation, dass die Selbstfokussierung mittels einer zusätzlich eingefügten Strahldivergenz des Belichtungsfeldes ausbalanciert werden kann. Dies führt zu einer konvexen Wölbung der Seitenwände der Struktur, was für Anwendungen zur Herstellung lichtsammelnder Mikrostrukturen interessant ist.

Das Simulationsmodell konnte erfolgreich durch einen Vergleich von experimentellen und theoretischen Ergebnissen getestet werden. Zunächst wurden mittels UV-Kontaktbelichtung durch eine Blendenmaske hindurch in eine dicke ORMOCER® Schicht Strukturen hohen Aspektverhältnisses hergestellt. Unbelichtetes Material wurde aus



den Zwischenräumen mit einem Lösungsmittel herausgewaschen (Abb. 5). Die Vermessung der inneren Brechungsindexverteilung im Fuß der Mikrostrukturen erfolgte anschließend durch optische Reflektrometrie. Eine gute Übereinstimmung mit den Simulationsergebnissen konnte erzielt werden (Abb. 6). Die neu entwickelten Methoden stellen somit die Basis für die Simulation zukünftiger Herstellungsprozesse von Mikrostrukturen mit optischer Funktionalität dar. Der Effekt einer diffusen Flutbelichtung auf die Filamentierung der inneren Indexverteilung der Elemente wird hierzu noch in das Simulationsverfahren eingefügt.

Danksagung

Die Autoren danken M. Popall, Fraunhofer-Institut für Silikatforschung, Würzburg, für die Synthese und Auslieferung der ORMOCER® Polymere.

Literatur:

- /1/ P. Dannberg, L. Erdmann, R. Bierbaum, A. Bräuer, E. B. Kley: „Micro-optical elements and their integration to glass and optoelectronic wafers“, *Microsystem Technol.* 6, S. 41–47 (1999).
- /2/ U. Streppel, P. Dannberg, C. Wächter, A. Bräuer, L. Fröhlich, R. Houbertz and M. Popall: „New wafer-scale fabrication method for stacked optical waveguide interconnects and 3D microoptic structures using photo-responsive (inorganic-organic hybrid) polymers“, *Optical Materials*, Vol. 21/1–3, S. 475–483 (2002).

Abb. 5:
Array von konischen Strukturen hohen Aspektverhältnisses, hergestellt durch Kontaktlithographie (Material: ORMOCER® 1).

Fig. 5:
Array of high aspect ratio conic structures, fabricated with contact lithography (ORMOCER® 1).

However, the total index change depends on the material and, in particular, on the photo-initiator concentration (fig. 2), which in itself could be considered to be a possible control instrument in the patterning process. The non-linear index change can be calculated with the help of a simple chemical kinetic rate model, which is based on time-dependent rate equations of the reagents involved in the polymerization process. All process parameters, such as photo-initiator concentration and absorption, are considered to be time-dependent factors [2].

Simulation of the pattern formation

The modelling of the refractive index change is an essential requirement for the simulation of the patterning process which has been accomplished by the implementation of an iterative 2-D BPM (beam propagation method) algorithm. Each cycle starts with the initial field distribution, propagates this signal and delivers a resulting 2-D refractive index distribution, which provides the starting point for the next cycle. A diffusion correction is performed after each cycle. In order to realize the final geometry of the microstructure, the refractive index distribution is corrected by a threshold correction used to simulate the development process, all of which must take place after the UV-exposure. It has been taken into consi-

deration that during this procedure the investigated ORMOCER® polymers act as a negative resist with unexposed material being washed out by a suitable solvent.

The simulations demonstrated that a perturbation of the initial field by, for instance, diffraction at the border of the signal or at apertures in the optical exposure system, is in fact amplified and leads to a filamentation of the index profile (fig. 3). The irradiation clearly reaches confinement in its self-written refractive index distribution, whereby self-focusing is an important driving factor for the resulting inner pattern and for the form of the outer side walls of the resulting microstructure. The outer geometry can be influenced by the variation of the process parameters and in particular by the exposure regime. Self-focusing is achieved by the field gradient of the initial field distribution. The simulations thus demonstrated that the self-focusing effect can be balanced by a suitable input divergence of the exposure field, which in turn leads to convex side walls of the microstructures (fig. 4). This result could be of significant interest for applications focusing on light-collecting microstructures. It was possible to test the simulation model successfully by comparing theoretical and experimental results. In order to do this, the index distribution inside the microstructures had to be

investigated. High aspect ratio structures were first fabricated by contact UV exposure through an aperture mask onto a thick ORMOCER® layer. Unexposed material was washed out by a solvent (fig. 5). The measurement of the refractive index profile of the structure footprints by optical reflectometry coincided well with the theoretical prediction (fig. 6). These newly developed exposure methods can therefore be regarded as the basis for future simulations of the fabrication process of structures with optical functionality. The effect of a diffuse flood exposure on the internal refractive index filaments of the elements will be integrated into the simulation model.

Acknowledgements

The authors wish to thank M. Popall, Fraunhofer Institute for Silicate Research, Würzburg, Germany, for the synthesis and delivery of the ORMOCER® polymers.

References:

- /1/ P. Dannberg, L. Erdmann, R. Bierbaum, A. Bräuer, E. B. Kley: „Micro-optical elements and their integration into glass and optoelectronic wafers“, *Microsystem Technol.* 6, 41–47 (1999).
- /2/ U. Streppel, P. Dannberg, C. Wächter, A. Bräuer, L. Fröhlich, R. Houbertz and M. Popall: „New wafer-scale fabrication method for stacked optical waveguide interconnects and 3D micro-optic structures using photo-responsive (inorganic-organic hybrid) polymers“, *Optical Materials*, Vol. 21/1–3, pp 475–483 (2002).

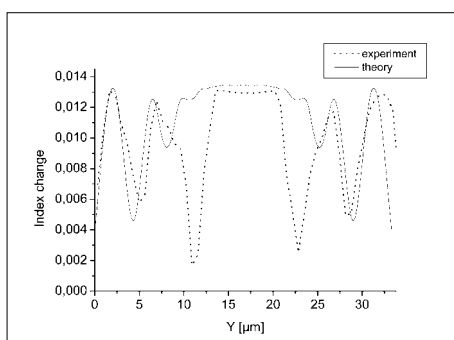


Abb. 6: Querschnitt (nach 160 µm Propagationslänge) der resultierenden Indexverteilung nach der UV-Belichtung, vor Ausführung des Entwicklungsprozesses.

Fig. 6: Cross-section (after 160 µm propagation) of the resulting index distribution after UV exposure before development.

Handhabung mikrooptischer Komponenten in der Mikromontage

Erik Beckert, Matthias Mohaupt, Gerd Harnisch, Ramona Eberhardt



Erik Beckert

Einführung

Gegenwärtig wird der größte Teil hybrider mikrooptischer Systeme von Hand bzw. mit Hilfe teilmechanisierter Vorrichtungen montiert. Dadurch können die hohen Anforderungen der Systeme an die Montagegenauigkeit nur mit hohem zeit- und kostenintensiven Aufwand erfüllt werden [1]. Um Baugruppen, die hybride mikrooptische Systeme enthalten, in höheren Stückzahlen zu produzieren, ist es daher notwendig, verbesserte Technologien und Einrichtungen zum Handhaben, Positionieren und Fügen von miniaturisierten Bauteilen zu entwickeln. Die Handhabungseinrichtungen müssen dabei nicht nur in der Lage sein, kleine und oft sehr empfindliche Teile genau zu greifen und zu positionieren bzw. auszurichten, sondern sich auch problemlos in eine industrielle Fertigung großer Stückzahlen mit gleichbleibend hoher Qualität integrieren lassen.

Entwicklung von Handhabungssystemen für mikrooptische Komponenten

Der Handhabungsprozess und die dafür notwendigen Einrichtungen werden von allen anderen Teilprozessen der Montage (Bauteilmagazinierung, -positionierung und Fügeprozess) beeinflusst. Zusätzlich müssen die besonderen Eigenschaften mikrooptischer Bauteile, wie zum Beispiel geringe Abmessungen (< 0.1 mm bis ca. 5 mm), geringes Gewicht (ca. 1 mg bis 10 g), große Formenvielfalt, Vorhandensein optischer Funktionsflächen und hohe Anforderungen an die Positionsgenauigkeit, berücksichtigt werden.

Daraus resultierend sind Handhabungseinrichtungen für solche Bauteile zumeist nicht nur einfache Greifer, sondern vielmehr komplexe Handhabungssysteme, die oft mehrere der folgenden Funktionalitäten in sich vereinen:

- Bauteilgreifer: meist als miniaturisierter mechanischer Greifer oder Vakuumgreifer ausgeführt. Es sind besondere konstruktive Maßnahmen notwendig, um die Adhäsion zwischen Bauteil und Greiferbacke zu verringern.
- Kraftmessung: zur Vermeidung von Schädigungen des zu handhabenden Bauteils durch Greif- oder Fügekräfte.
- Feinpositionierung: da insbesondere mikrooptische Bauteile häufig mit einer Genauigkeit im Submikrometerbereich positioniert werden müssen. Makroskopische Positioniersysteme sind dazu in der Regel nicht in der Lage bzw. zu teuer. Deshalb werden zunehmend Feinpositionierer, z. B. Piezotranslatoren, in das Handhabungssystem integriert.

Der Entwicklungsprozess für derartig komplexe Handhabungssysteme kann als ein Algorithmus aufgefasst werden, bei dem zunächst das zu handhabende Bauteil und die Einschränkungen, die sich aus dem gesamten Montageprozess und dessen Teilbereichen ergeben, analysiert werden.

Handling of microoptical components for micro-assembly

Erik Beckert, Matthias Mohaupt, Gerd Harnisch, Ramona Eberhardt

Motivation

Currently, the majority of hybrid microoptical systems is still assembled manually or semi-mechanized. The high level of accuracy required for these systems can therefore only be achieved with a considerable amount of time, effort and cost [1]. In order to be able to produce devices containing hybrid microoptical systems in large quantities, superior procedures and tools for the positioning and assembly of miniaturized components are required. Handling procedures and tools not only need to be appropriate for the precise gripping, positioning and aligning of small and often very sensitive microoptical components, but also must be capable of integration into an industrial production line producing large quantities at a consistently high quality.

Design of handling tools for microoptical parts

The handling process and the appropriate tools are influenced by all sub-tasks in the assembly process, i.e. component storage, positioning and joining. The handling of microoptical components requires the consideration of their particular characteristics, such as small dimensions (< 0.1 to 5 mm), low weight (1 mg to 10 g), a wide variety of shapes, functionality of surfaces with an optic function and low tolerance levels in high demands on positioning accuracy. As a result, a

handling tool for such components can usually be described not as a gripper in the common sense but rather as a complex, miniaturized handling system that combines some or all of the following functionalities:

- Component gripping: usually done by small mechanical or vacuum grippers. The gripper jaws need to be specially designed so that components are prevented from sticking to the gripper as the result of the high adhesion forces involved compared to the components weight.
- Measurement: of force to prevent component damage resulting from gripping and joining forces.
- Fine positioning: since microoptical components often need to be positioned with sub-micron accuracy. Macroscopic positioning systems are usually not capable of this or are too expensive. For this reason, miniaturized fine positioning systems such as piezo translators are being integrated into the handling tool more and more.

The design process for such a complex handling system can be described as an algorithm that analyses the component to be handled and the restrictions involved in the assembly process.



Matthias Mohaupt



Gerd Harnisch



Ramona Eberhardt



Abb. 1: Dreibackengreifer mit freier optischer Apertur für miniaturisierten Laserresonatorspiegel.

Fig. 1: 3-jaw gripper for miniaturized laser resonator mirror, free optical aperture.

An die Festlegung der notwendigen Greiferparameter (Greifkraft, Greiffläche, notwendige Greifgenauigkeit) schließt sich die Analyse des Zusammenwirkens mit den anderen Teilprozessen der Montage an:

- Bauteilmagazinierung: Die Genauigkeit der Position, mit der ein Bauteil bereitgestellt wird, zieht gegebenenfalls erhöhten Aufwand zur Detektion und Referenzierung der Bauteillage nach sich.
- Bauteilpositionierung: Die erforderliche Genauigkeit beeinflusst die eventuell notwendige Integration von Feinpositioniersystemen. Die Messung der tatsächlichen Bauteilposition kann entweder durch Bildverarbeitung oder durch die Messung der optischen Funktion des Bauteils erfolgen. Dazu ist jedoch die Sichtbarkeit der entsprechenden Bauteilgeometrien bzw. eine freie optische Apertur (Abb. 1) zu gewährleisten.
- Fügen des Bauteils: zunehmend realisiert durch innovative Verfahren wie Mikrokleben oder Laserlöten. Beide Verfahren erfordern einen mehr oder weniger freien Zugang zum Bauteil an der Fügeposition zur Applikation von UV-Licht oder Laserstrahl.
- Generelle Einschränkungen: z. B. Reinraumanforderungen oder Schirmung elektrostatischer bzw. magnetischer Felder.

Gewöhnlich beginnt der Entwickler mit der Auswahl eines geeigneten Greifprinzips und fügt sukzessive weitere Funktionen hinzu. Für eine automatisierte Montage wird zusätzlich die Integration geeigneter, intelligenter Schnittstellen zwischen den einzelnen Modulen des Handhabungssystems notwendig, damit das gesamte System oder sogar Teile von ihm während der Montage ausgetauscht und somit an verschiedene Bauteile und Montageaufgaben angepasst werden können.

Anwendungen

Die folgenden Beispiele verdeutlichen die diskutierten Problemstellungen und zeigen mehr oder weniger komplexe Handhabungssysteme, die am Fraunhofer IOF zur Umsetzung verschiedenster Montageprozesse entwickelt wurden.

Abb. 2 zeigt einen Greifer für laser gelötete mikrooptische Baugruppen. Das Handhabungsobjekt ist ein miniaturisiertes Prisma mit einer Kantenlänge von 3 mm. Die Reproduzierbarkeit bezüglich der Bauteilverkippung im verwendeten Vakuumgreifer ist besser ± 1 mrad. Zusätzlich ist das Hand-

Abb. 2:
Vakuumgreifer für Prisma,
einschließlich Kraftsensorik und
Positioniersystem.

Fig. 2:
Vacuum gripper for prism,
including force sensor and
positioning system.

habungssystem mit einer Sensorik zur Messung von Fügekräften und mit einem Feinpositioniersystem zur Verkipfung der Reflektionsebene des Prismas in einem Bereich von $\pm 2,5$ mrad und einer Auflösung von $0,5 \mu\text{rad}$ ausgerüstet.

Abb. 3 zeigt ein Handhabungssystem für einzelne Monomode-Glasfasern. Es besteht aus einem mechanischen Zweibackengreifer zur Zugentlastung mit relativ geringer Genauigkeit und einem hochpräzisen Vakuumgreifer für das entmantelte Ende der Faser. Das angepasste Design des Vakuumgreifers greift nur minimal in die Baugruppengeometrie ein und verhindert die Beschädigung von bereits montierten Fasern. Die Genauigkeit des Vakuumgreifers beträgt ca. $\pm 20 \mu\text{m}$ senkrecht und $\pm 10 \mu\text{m}$ koaxial zur Faserachse.

Literatur:

- /1/ Weiss, Stephanie A.: „The Automation Crisis“, In: Photonics Spectra, June 2001, pp. 98–110.
- /2/ Eberhardt, R. et al.: „Hybrid assembly of microoptical systems“, In: Proceedings vol. 1 MICRO.tec 2000, pp. 459–464.
- /3/ Gengenbach, U.; Eberhardt, R.: „Montagelösungen für hybride Mikrosysteme“, In: F & M 108 (2000) 3, pp. 40–43.



After the necessary parameters for the handling process itself (gripping force, gripping area, gripping accuracy) have been determined, the interactions with the other assembly processes are analyzed:

- Component storage: The accuracy and repeatability of the component's pick up position may require additional effort to detect its position in the magazine.
- Component positioning: The degree of accuracy required determines whether special fine positioning systems need to be integrated into the system. The measurement of the component's position can be accomplished either by using a vision system or by measuring the optical function of the component itself. There has to be, however, a free view of the component or a free optical aperture (fig. 1).
- Component joining: This is increasingly being accomplished by innovative joining methods such as adhesive dosage or laser beam soldering. Both methods require a clear view of the component for UV-light or laser beam application.
- General requirements of the component itself such as the need for a clean-room environment or sensitivity to electrostatic or magnetic fields.

Usually the designer begins with the selection of a suitable gripping principle and adds successively more functionality.

For an automated assembly, the integration of suitable and intelligent interfaces is necessary so that the handling tool or even parts thereof can be exchanged during the assembly process to adapt to different components and assembly tasks.

Examples

The following examples illustrate the topics discussed. They are more or less complex handling tools, developed at the IOF for use in various assembly processes.

Fig. 2 depicts a gripper used in a laser beam soldering process for micro-optical assemblies. The object to be handled is a miniaturized prism with an edge length of 3 mm. The gripping accuracy of the vacuum gripper system is better than ± 1 mrad. The handling system is also equipped with a joining force sensor and a fine positioning system to rotate the reflection surface of the prism within a range of ± 2.5 mrad at a resolution of $0.5 \mu\text{rad}$.

Fig. 3 depicts a handling system for a monomode fiber insertion process. The system consists of a two-jaw mechanical gripper for strain relief with a relatively low level of accuracy and a precise vacuum gripper for the uncoated tip of the fiber. The special mechanical design of the vacuum gripper prevents damage of previously inserted fibers. The accuracy of the vacuum gripper was found to be $\pm 20 \mu\text{m}$ perpendicular and $\pm 10 \mu\text{m}$ along the fiber axis.

References:

- /1/ Weiss, Stephanie A.: „The Automation Crisis“, In: Photonics Spectra, June 2001, pp. 98–110.
- /2/ Eberhardt, R. et al.: „Hybrid assembly of microoptical systems“, In: Proceedings vol.1 MICRO.tec 2000, pp.459–464.
- /3/ Gengenbach, U.; Eberhardt, R.: „Montagelösungen für hybride Mikrosysteme“, In: F & M 108 (2000) 3, pp. 40–43.

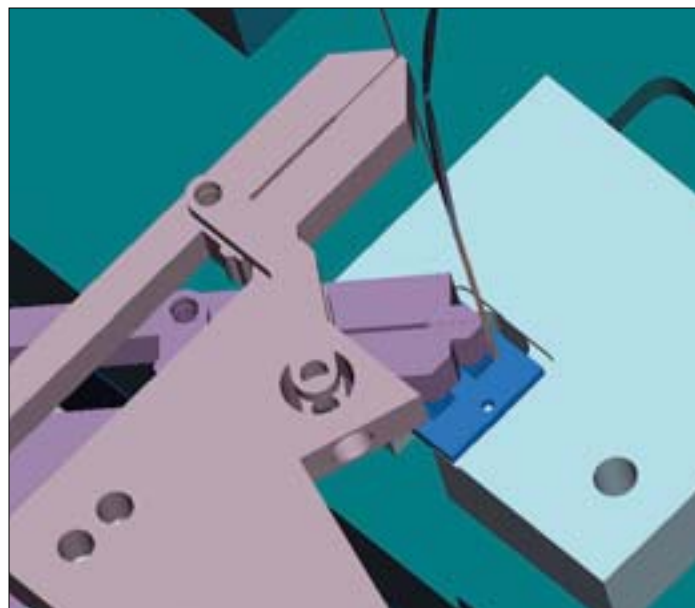


Abb. 3:
Greifer für
Monomode-Fasern.

Fig. 3:
Gripper for single
monomode fibers.



Henrik Banse

Einführung

Beim Aufbau hybrider mikrooptischer Systeme wird bisher hauptsächlich das Justierkleben als Fügeverfahren eingesetzt. Auf Grund der Eigenschaften der als Klebstoffe verwendeten organischen Polymere werden mikrooptische Systeme in ihrer Anwendung beschränkt. Eine Ergänzung dieser Füge-technik im Hinblick auf Anforderungen bezüglich Feuchttestabilität, Laserstabilität, UV-Beständigkeit, Temperaturwechselbelastung und Langzeitstabilität, insbesondere in Bereichen wie Telekommunikation und Lithographie, ist erforderlich.

Vor diesem Hintergrund stellt das Laserstrahllöten von Optiken ein alternatives Fügeverfahren dar. Eigenschaften wie:

- lokal eng begrenzter und zeitlich definierter Energieeintrag
- temperaturgeregelte Prozessführung
- Möglichkeit der direkten und indirekten Erwärmung der Bauteile
- berührungslose Füge-technik

bilden sehr gute Voraussetzungen, um die genannten Forderungen an eine Verbindungstechnologie für empfindliche optische Bauelemente zu erfüllen. Bei der Montage optischer Komponenten ist in die Lötlasereinheit zusätzlich eine dem Demonstrator angepasste Justageeinrichtung zu integrieren, um die hohen Forderungen an die Lagegenauigkeit der Bauteile zueinander zu erfüllen. Auch sind entsprechende Prüftechnologien zur Charakterisierung der Baugruppe (z. B. Lagetoleranz, Verkipfung) aufzubauen.

Entwicklung des Schichtsystems

Grundvoraussetzung für das Laserstrahllöten optischer Komponenten ist die lokal begrenzte reproduzierbare Applikation lötfähiger Metallisierungen auf den zu fügenden Bauteilen. Die Lotaufbringung auf unterschiedliche optische Trägermaterialien wie Glas, Glaskeramik oder Kristalle erfordert die Herstellung extrem haftfester Metallisierungen. Diese dienen als Untermetallisierung, auf welche das eigentliche Lot aufgebracht wird. Die Lotapplikation kann in Form von dünnen Lot-schichten, von Lotbumps oder Lotpreforms erfolgen.

Stand der Technik ist das Aufbringen der Schichten mittels Vakuumbeschichtung bzw. elektrochemischen Verfahren (Galvanisieren) /1/. Der Einsatz von gesputterten Schichtsystemen ist besonders vorteilhaft, da in Vakuumfolge die Untermetallisierung und das Lot in einer gleichmäßigen reproduzierbaren Schichtdicke und Reinheit (Verunreinigungen, Oxidationen) aufgebracht werden können /2/.

Laser beam soldering of micro-optical components

Henrik Banse, Erik Beckert, Ramona Eberhardt, Wieland Stöckl

Introduction

Until now, adhesive bonding has mainly been used to assemble and adjust hybrid micro-optical systems. However, the properties of the organic polymers used for the adhesives limit the application of these systems. In fields such as telecommunications and lithography, improvements on current joining techniques are necessary to enhance certain properties such as humidity resistance, laser stability, UV stability, thermal cycle reliability and lifetime reliability. The laser beam soldering of optical components is thus a reasonable joining technology alternative.

The following properties correspond with the conditions required in the joining of sensitive optical components:

- energy input narrowly restricted in time and area
- energy input which can be controlled by the process temperature
- direct and indirect heating of the components
- non-contact joining of components

In addition to the laser beam soldering tool, positioning units are necessary in the assembly of optical components. These ensure the high-accuracy adjustment of component positions before joining begins. Furthermore, suitable measurement methods need to be developed for the soldering assemblies (e.g. position tolerance, angular misalignment).

Development of the coating system

The repeatable application of solderable metallization layers onto components within a confined area is a basic prerequisite in the laser beam soldering of optical components. The application of solder onto different optical carrier materials such as glass, glass ceramics and crystal requires exceptionally adhesive metallization layers. These are used as a plating base onto which the solder material itself is applied in the form of thin layers of solder, solder bumps or solder preforms.

Vacuum coating and electrochemical processes (galvanization) are now state of the art in the application of solderable layers /1/. The use of sputtered layers is especially favorable, making it possible to deposit both the underlying metallization and the solder layer with regular a thickness and a high level of purity (low contamination and oxidation), all in one vacuum process /2/.



Erik Beckert



Ramona Eberhardt



Wieland Stöckl

Als Beschichtungsverfahren wird das DC-Magnetronspütern eingesetzt. Das aus der Literatur bekannte Unterschichtsystem /3/, bestehend aus Ti/Pt /Au, dient sowohl als Haftvermittler als auch als Diffusionsbarriere für die Funktionsschicht (Lot).

Versuche zur Optimierung des Schichtsystems zeigten, dass mechanisch stabile Lötverbindungen auch ohne die Au-Benetzungsschicht hergestellt werden können. Diese Vereinfachung des Unterschichtsystems ermöglichte eine Kostenreduzierung des Beschichtungsprozesses. Gleichzeitig wird gesichert, dass durch den Fügeprozess die Zusammensetzung des Lotes und damit eine homogene Gefügestruktur nicht beeinflusst werden.

Als Schichtmaterial für die Funktionsschicht wird eutektisches AuSn (80/20 Gew.-%-Target) verwendet. Das Gesamtschichtsystem weist eine Dicke von ca. 3,5 µm auf. Das eutektische 80Au20Sn-Lot als hochschmelzendes Weichlot hat sehr gute Festigkeitseigenschaften, hohe Zuverlässigkeitseigenschaften und ermöglicht eine flussmittelfreie Prozessführung /4/. Die gesputterte Untermetallisierung mit Au-Benetzungsschicht kann auch für Lötprozesse mit extern zugeführten AuSn-Loten sowie mit aus der Halbleiterindustrie bekannten niedrigschmelzenderen Weichloten wie PbSn oder SnAg verwendet werden. Notwendige Bedingung ist, dass das Lot die Au-Schicht ausreichend benetzt und sich infolge der Interdiffusion in der Legierungszone eine möglichst dünne, feinkörnige intermetallische Phase ausbildet.

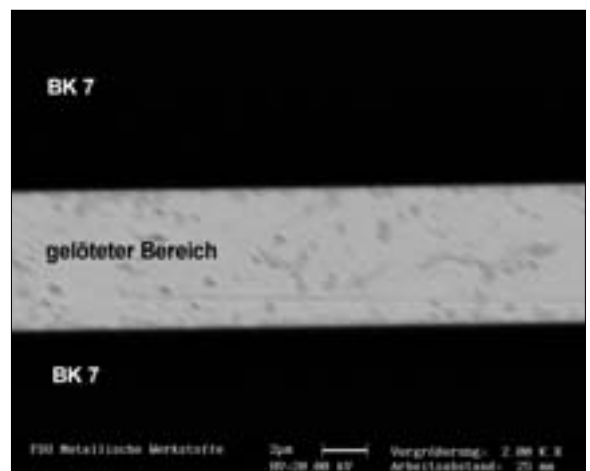
Entwicklung der Laserstrahlöttechnologie

Die experimentellen Untersuchungen zum Laserstrahllöten wurden mit einem in einen Portalaufbau integrierten Hochleistungsdiodenlaser (808 nm) durchgeführt. Der Hochleistungsdiodenlaser ist insbesondere über das in den Bearbeitungskopf integrierte Einfarbenpyrometer auf spezifische Lötprozesse abstimmbare. Für spezielle optische Werkstoffpaarungen wurden die Verfahrensparameter des Lötprozesses, wie Laserleistung, Energiedichte, Relativbewegung Laserstrahl/ Probe, Arbeitsatmosphäre und Andruckkraft, demonstratorbezogen variiert und optimiert. Die Lotapplikation erfolgte in Form von Lotschichten sowie durch Lotbumps.

Die mittels Rasterelektronenmikroskopie charakterisierten Schlitze der Lötverbindungen aufgesputterter Lotschichten zeigen in den gelöteten Bereichen eine sehr gleichmäßige Gefügestruktur. Das belegt ein für die Verbindungsbildung optimaler Temperatur-Zeitverlauf in der Fügezone. Dargestellt ist ein Schlitzbild einer gelöteten BK7/BK7-Glasprobe (Abb. 1). In den hellen Bereichen der Fügezone ist die Au-reiche Phase, in den dunkleren Bereichen die Sn-reichere Phase erkennbar. Das Aufbringen einer zusätzlichen Andruckkraft während des Lötprozesses verbesserte die Gefügebildung signifikant. Die parallele Ausrichtung der Bauteilfügeflächen musste über eine passive Fügehilfsvorrichtung realisiert werden, da Verkippungen zu nicht reproduzierbaren Lötgergebnissen verbunden mit verminderten Festigkeiten führten.

Abb. 1:
Homogene Gefügebildung in der Fügezone.

Fig. 1:
Metallographic cross section of the homogeneous structure of AuSn compounds in the soldered area.



DC-magnetron-sputtering is another sputtering technique. The widely known layer system published in /3/, consisting of Ti/ Pt/ Au layers, serves as an adhesion promoter (Ti-layer) to the substrate, as a diffusion barrier (Pt-layer) which prevents gold interdiffusion and a plating base (Au-layer).

Attempts to optimize the layer system have shown that stable solder joints can be created without an Au-plating base, with sputtered AuSn solder applied directly to the Pt-diffusion barrier. This simplification allows for a cost reduction in the sputtering process. This also ensures that the soldering process does not influence the composition of the solder alloy, which can be caused by the rapid interdiffusion of Au, and thus does not influence the homogeneous structure of AuSn compounds in the solder area.

Eutectic AuSn (80/20 wt. % -Target) is used for the soldering layer. The entire layer system is approximately $3.5 \mu\text{m}$ thick. A high melting solder, eutectic 80Au20Sn, provides superior strength and reliability while allowing for fluxless processing /4/. The sputtered layer system with an Au-plating base can also be used in soldering processes with externally applied AuSn-solder or other low melting solders common in the semiconductor industry, e. g. PbSn and SnAg. This requires adequate solder wetting and, as a result of interdiffusion in the melting process, the formation of a thin, fine-grained intermetallic compound.

Development of laser beam soldering technology

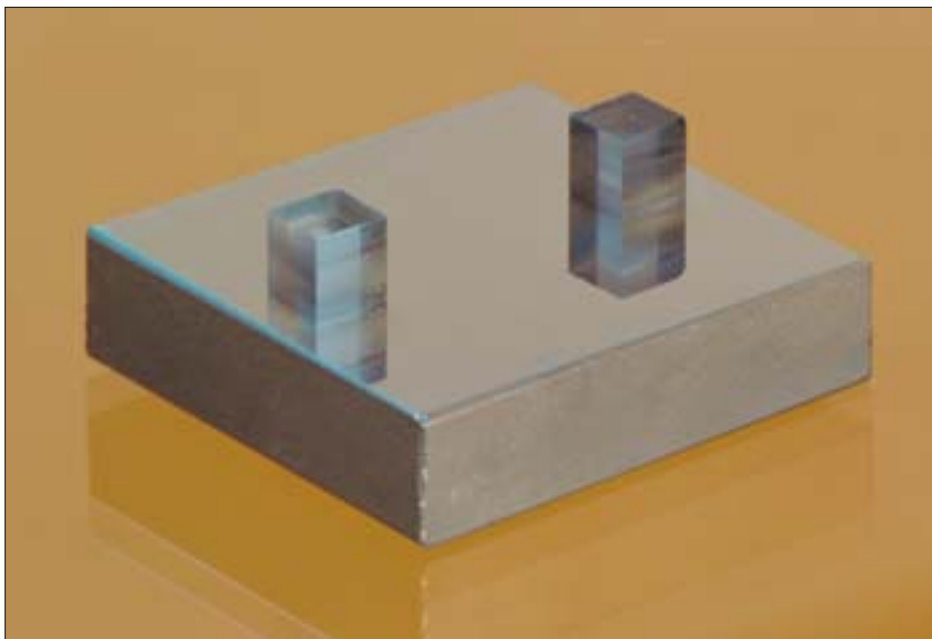
Experiments were carried out using a high power diode laser (808 nm) integrated into a portal-like positioning system, with the goal of developing laser beam soldering technology for optical components.

The energy output of the diode laser can be set for automatic control by the temperature of the joining area, as measured by a one-color pyrometer integrated into the soldering tool. For specific optical material combinations, the parameters of laser energy output, energy density, movement between laser beam and joining area, working atmosphere and joining force were varied and optimized. The solder application took the form of solder layers and solder bumps.

Metallographic cross sections of soldered glass components, viewed through scanning electron microscopy, show a very homogeneous structure of AuSn compounds in the soldered area (fig. 1). This demonstrates an optimal time/temperature ratio throughout the soldering process. Fig. 1 shows the metallographic cross sections of soldered BK7/BK7 optical components. The bright regions of the soldered area are Au-rich compounds such as Au_5Sn , the dark regions contain compounds richer in Sn (e. g. AuSn). The application of pressure during the soldering process improved the structure of the soldered AuSn compound significantly. The parallel adjustment of the joining areas of the optical components had to be realized with a passive adjustment tool. Tilting the joining areas led to non-reproducible solder joints with less strength.

Abb. 2:
Laserstrahlgelötete optische Sub-Baugruppe.

Fig. 2:
Laser beam soldered optical subsystem.



Anwendungen

Mittels der Füge­technologie Laserstrahl­löten wurden mechanisch stabile Verbindungen sowohl gleichartiger als auch unterschiedlicher Materialien aus Glas bzw. Glaskeramik für mikrooptische Subbaugruppen realisiert (Abb. 2–4). Die Lötverbindungen wurden durch ein AuSn-Lot in Form einer gesputterten Lotschicht oder durch extern zugeführte, strukturiert angeordnete PbSn Lotbumps auf einer gesputterten Untermetallisierung erzielt.

Es konnten hohe mechanische Festigkeiten (Abscherfestigkeit > 100 MPa) und Vakuumdichtheit (Leckrate 10^{-7} – 10^{-9} mbar l/s) von Lötverbindungen durch Lotschicht nachgewiesen werden. Die Wärmebeeinflussung der optischen Komponenten, hervorgerufen durch den Lötprozess, führt zu keinen messbaren Verspannungen im

Fall applizierter Lotbumps bzw. zu Formabweichungen der Ebene $< \lambda/20$ im Fall aufgesputterter Lotschichten. Bei der Festlegung der Lötparameter und der Lotform waren Bauteiltoleranzen und Justieranforderungen sowie die speziellen Eigenschaften der zu fügenden Materialpaarungen zu berücksichtigen.

Literatur:

- /1/ Kuhmann, J. et. al.: „Fluxless Flip-Chip for the Photonic Assembly: Comparison between Evaporated SnPb (60/40) and AuSn (80/20) Solder“, MICRO SYSTEM Technologies 96, VDI-Verlag GmbH, p. 91–99.
- /2/ Erfindungsmeldung: Ti-Pt-Au/Sn-Schichtsystem zur Realisierung hafter Lötverbindungen, 02F40599-IOF.
- /3/ Pittroff, W.: „Au/Sn-Bumping von Laserchips, Flip-Chip-Technik und Selbstjustagegenauigkeit, Workshop für Photonische Integration und Aufbauten“, Berlin 05/1999.
- /4/ Scheel, W.: „Optische Aufbau- und Verbindungstechnik in der elektronischen Baugruppenfertigung“, Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin, Germany, 2002.

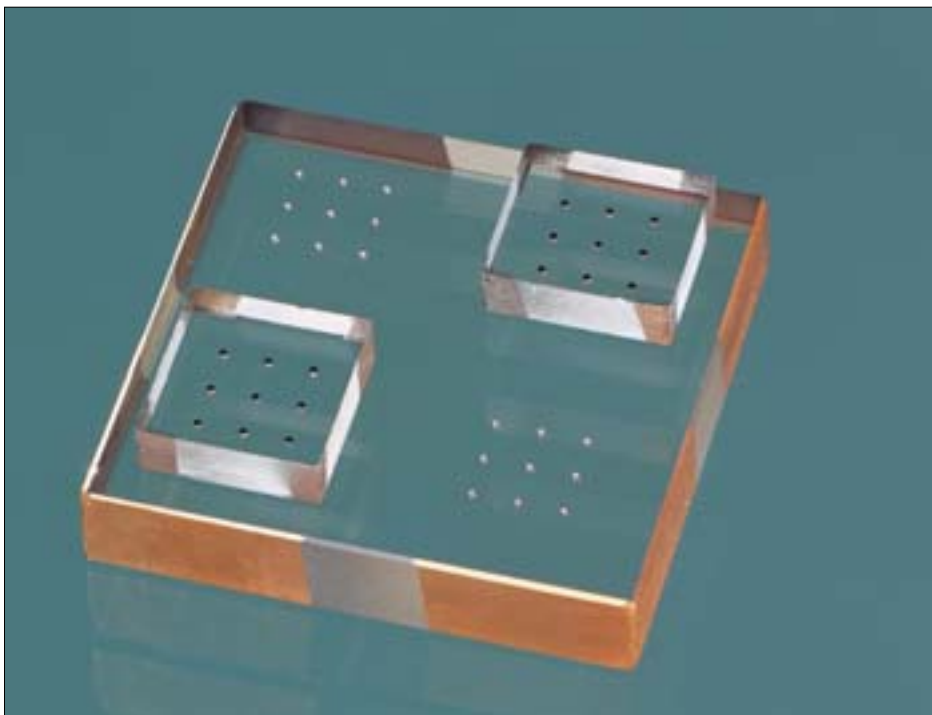


Abb. 3:
Punktu­elles Laserstrahl­löten von quader­förmigen Glas/Zerodur®-Bauteilen, PbSn Lot.

Fig. 3:
Selective soldering of glass/Zerodur® components, PbSn solder.

Applications

Using the joining technique laser beam soldering, stable joints were formed between similar and different glass and glass-ceramic materials used for optical subcomponents (fig. 2–4).

The solder joints were achieved with sputtered AuSn layers or externally applied PbSn solder bumps on a sputtered underlying metallization. A very high mechanical strength (shear strength > 100 MPa) and a soldered joint leakage rate of 10^{-7} – 10^{-9} mbar l/s were demonstrated. No thermally induced stress in the optical components

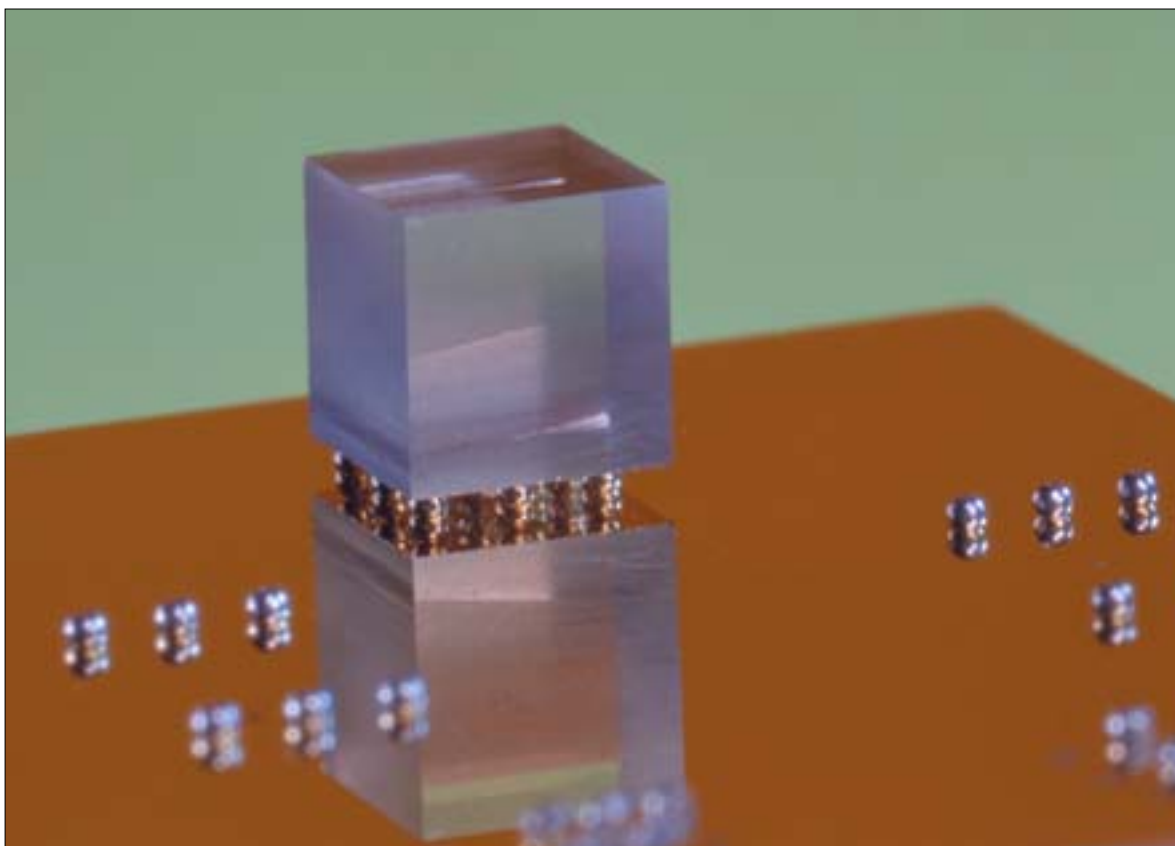
was detected in applied solder bumps. The soldering process led to a surface deviation for sputtered solder layers of $< \lambda/20$. Tolerances of optical components and adjustment demands must be taken into account in order to determine the parameters of the soldering process and the form of applied solder as well as the properties of the materials to be joined.

References:

- /1/ Kuhmann, J. et. al.: „Fluxless Flip-Chip for the Photonic Assembly: Comparison between Evaporated SnPb (60/40) and AuSn (80/20) Solder“, MICRO SYSTEM Technologies 96, VDI-Verlag GmbH, p. 91–99.
- /2/ Erfindungsmeldung: Ti-Pt-Au/Sn-Schichtsystem zur Realisierung hafter Lötverbindungen, 02F40599-IOF.
- /3/ Pittroff, W.: „Au/Sn-Bumping von Laserchips, Flip-Chip-Technik und Selbstjustagegenauigkeit, Workshop für Photonische Integration und Aufbauten“, Berlin 05/1999.
- /4/ Scheel, W.: „Optische Aufbau- und Verbindungstechnik in der elektronischen Baugruppenfertigung“, Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin, Germany, 2002.

Abb. 4:
Flip Chip Laserstrahlgelötetes Optikbauteil.

Fig. 4:
Flip-chip laser beam soldered optical component.





Norbert Danz

Einleitung

Die spontane Emission wird durch die Umgebung des Emitters beeinflusst. Dies wurde zuerst von Sommerfeld und Mitarbeitern am Anfang des Jahrhunderts genutzt, um die Strahlung von Antennen zur Funkübertragung zu verbessern. Das gleiche Phänomen ist bei spontanen optischen Emissionsvorgängen später ebenfalls beobachtet worden /1/, /2/. Heute ist in der physikalischen Optik die Wechselwirkung des Emitters mit seiner Umgebung aus zwei Gründen von großem Interesse: Erstens können die Effekte zur Untersuchung des Nahfelds des Emitters, z. B. in der optischen Nahfeldmikroskopie, genutzt werden. Zweitens modifizieren Strukturen im Nahfeld des Emitters dessen Strahlungseigenschaften /3/. Hier soll der Einfluss von planaren Grenzflächen nahe des Emitters ausgenutzt werden. Die Ergebnisse können bei der Optimierung von ebenen, dünnen, spontan emittierenden Quellen, wie z. B. auf Fluoreszenz basierenden Biosensoren oder elektrolumineszierenden Elementen, angewendet werden.

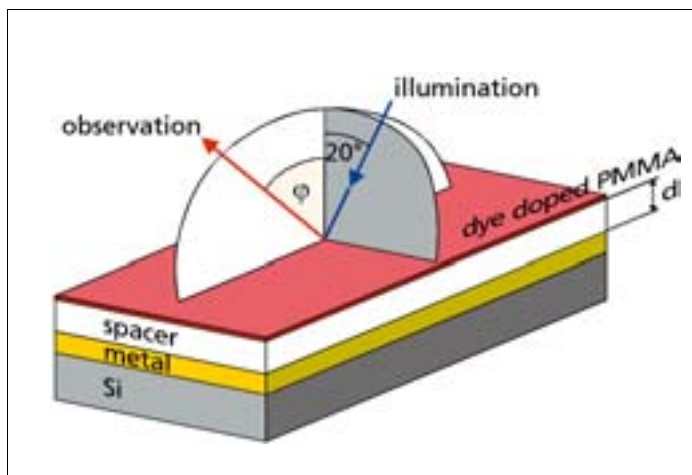
Prinzip

Die Fluoreszenzenergie eines isotrop orientierten, molekularen Ensembles wird in den gesamten Raum emittiert. Deshalb ist die Effizienz der Fluoreszenzdetektion eng mit der numerischen Apertur des optischen Beobachtungssystems verknüpft. Nachweise von Einzelmolekülen nutzen eine sehr große numerische Apertur, um das nachweisbare Signal zu maximieren. Alternativ kann die Energieemission in Richtung des beobachteten Raumwinkels verstärkt werden. Neben der Fluoreszenzanregung durch evaneszente Felder bzw. durch geführte Wellen werden meistens scannende oder abbildende Anordnungen eingesetzt, um DNA- bzw. Protein-Fluoreszenzchips auszuwerten. Dann wird die emittierte Fluoreszenzenergie in der Regel nur in einem kleinen Raumwinkelbereich senkrecht zur Chipoberfläche detektiert. Deshalb sollten die geforderten Strukturen die Energieabstrahlung senkrecht zur Chipoberfläche erhöhen.

Grenzflächen nahe dem Emitter verändern die Rate und das Strahlungsfeld, indem die Felder auf die Quelle zurückgekoppelt werden. Diese Effekte können für ebene Schichtsysteme analytisch beschrieben werden /4/, /5/, wodurch eine theoretische Optimierung möglich wird. Weiterhin beeinflusst die veränderte Oberfläche auch die Feldverteilung der kurzwelligen Anregungsstrahlung. Die Absorptionswahrscheinlichkeit ist proportional zur Energiedichte am Ort des Emitters. Dadurch können ebenfalls die Anhebungsbedingungen, insbesondere im Fall der Dunkelfeldanregung, optimiert werden. Somit nutzt man zwei Effekte von Schichtsystemen an der Oberfläche eines Fluoreszenzchips, sowohl die Absorptions- als auch die Detektionseffizienz werden erhöht.

Abb. 1:
Prinzipdarstellung
von experimenteller
Anordnung und
Probenaufbau.

Fig. 1:
Sketch of the experi-
mental setup and the
sample structure.



Optimization of planar fluorescence biosensors

Norbert Danz, Stef van Asperen, Antje Oelschläger

Introduction

It is well known that spontaneous emission is affected by the surroundings of the emitter. This phenomenon was first studied by Sommerfeld and coworkers at the beginning of the century in order to optimize radio antenna transmissions. The fact that the same phenomenon occurs in optical spontaneous emission processes was observed at a later date /1/, /2/. Today, the problem of interaction between emitters and their environments is of key interest in optical physics for two reasons: first, this can be used as a measure of the emitter's near field, for example in scanning near field applications; and secondly, introducing appropriate structures in the vicinity of the source modifies emission properties /3/. In this article, we will investigate the problem of interaction between emitter and environment in order to utilize the influence of plane interfaces near the emitter to a positive effect. This applies to the optimization of thin, spontaneously emitting sources in planar geometries such as fluorescence biosensors or electro-luminescent devices.

Principle

The fluorescence energy of an isotropic-oriented molecular ensemble is emitted into its entire surroundings. The efficiency of fluorescence detection is therefore closely connected to the numerical aperture of the optical observation system that determines the angular energy-collection range. Single molecule detection schemes use detection with a large numerical aperture in order to enhance the measurable part of the signal. An alternate method is to force the emission to be radiated towards the observer.

In addition to evanescent and guided wave fluorescence excitation, most devices use scanning or imaging schemes for DNA or protein fluorescence chip readouts. In this case, the optical detection system collects the emitted fluorescence energy within a limited angular range perpendicular to the chip surface. The desired structure should therefore enhance the portion of energy that is emitted along the normal of the chip.

Interfaces in the vicinity of the emitter will alter the rate and the radiation pattern of its emission due to the coupling of the emitted fields onto the source. These effects can be rigorously calculated for sources located near or within plane stratified media /4/, /5/, and are used to optimize the chip for the maximum fluorescence response of emitters located on the chip surface. Furthermore, a chip with additional optical layers on the surface affects the field distribution of the short wavelength illuminating radiation. The absorption efficiency depends on the intensity at the emitter location. The illumination conditions can be optimized in this way, especially in the case of dark field illumination. The effect of stratified media on the surface of a fluorescence is thus twofold, as both absorption and emission efficiency are enhanced.



Stef van Asperen



Antje Oelschläger

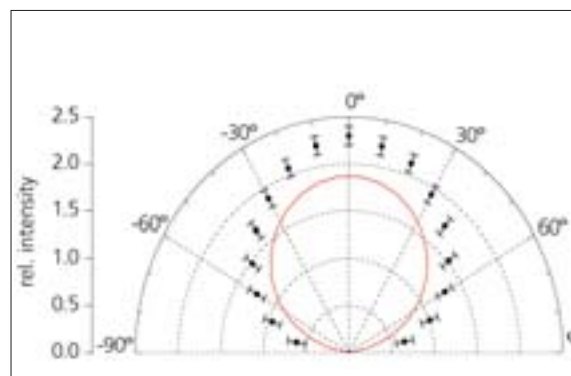


Abb. 2: Winkelaufgelöste Fluoreszenz einer dünnen Schicht an der Oberfläche eines Quarzsubstrates als Referenz.

Fig. 2: Angularly resolved fluorescence pattern of a fluorescing layer on top of a quartz substrate as a reference.

Experimente

Das Strahlungsfeld von dünnen, fluoreszierenden Schichten auf verschiedenen Substraten wurde mit der Anordnung nach Abb. 1 untersucht. Die Proben wurden mit einer zirkular polarisierten Welle unter 20° Einfallswinkel beleuchtet und die Fluoreszenz in einem Winkelbereich von 5° detektiert. Dazu wurde das Fluoreszenzlicht in eine Faser gekoppelt und nach Transmission eines Langpassfilters mit einem Photomultiplier detektiert. Der Winkelscan (φ) erfolgte senkrecht zur Oberfläche und zur Einfallsebene des beleuchtenden Bündels.

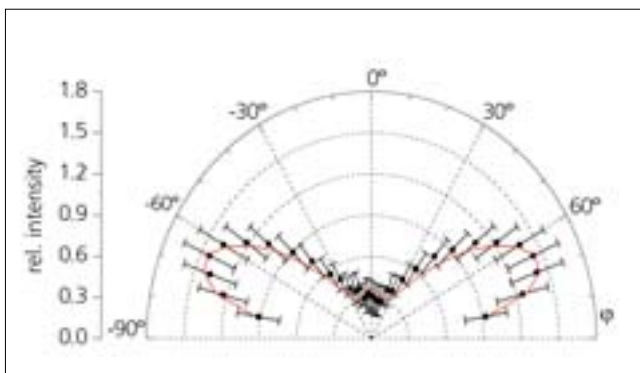
Zur Fluoreszenzverstärkung wurde das einfachste Schichtsystem aus einem metallischen Spiegel und einer dielektrischen Pufferschicht gewählt. Dieses ist ebenfalls in Abb. 1 angedeutet. Unterschiedlich dicke Pufferschichten wurden mittels CVD (chemical vapor deposition) hergestellt. Eine 27 nm dicke, mit Farbstoff dotierte PMMA-Schicht (Poly-Methylmethacrylate) diente als Quelle der Fluoreszenz. Diese Schicht kann als infinitesimal dünne Molekülschicht modelliert werden und

wurde als Vereinfachung anstelle der Kopplung einmolekularer Schichten eingesetzt. Als Referenz diente ein nur mit dieser Polymerschicht versehenes Quarzsubstrat. Die entsprechenden experimentell bestimmten und theoretisch berechneten Strahlungsfelder dieser Referenzprobe sind in Abb. 2 abgebildet.

Abb. 3 und Abb. 4 zeigen die an unterschiedlichen Schichtsystemen bestimmten Strahlungsfelder. Im Fall von Abb. 3 werden senkrecht zur Probenoberfläche nur ca. 20 % der Energie verglichen mit der Referenz emittiert, und man erhält eine unterdrückte Fluoreszenzemission. Abb. 4 zeigt den Fall maximaler Fluoreszenzverstärkung. Die theoretisch berechneten Kurven in allen Diagrammen gehen von dem selben Proportionalitätsfaktor zwischen dem Theoriewert und dem Verhältnis von Fluoreszenz- zu Beleuchtungsintensität aus. Deshalb sind die Theoriewerte absolut vergleichbar. Abweichungen in Abb. 2 könnten durch Bleichen des Farbstoffs oder unterschiedliche Oberflächeneigenschaften, welche die Herstellung der fluoreszierenden Schicht beeinflussen, hervorgerufen werden.

Abb. 3:
Unterdrückung der Fluoreszenzemission senkrecht zur Probenoberfläche bei $d = 205$ nm.

Fig. 3:
Suppression of fluorescence emission perpendicular to the sample surface at $d = 205$ nm.



Schlussfolgerungen

Die senkrecht zur Chipoberfläche emittierten relativen Intensitäten betragen 110 nach Abb. 4 und etwa 2 nach Abb. 2. Demzufolge kann durch die Einführung eines metallischen „Spiegels“ mit einem dielektrischen Puffer die Effizienz der Fluoreszenzdetektion bei planaren Sensoren um mehr als eine Größenordnung gesteigert werden. Da der Ursprung der Verstärkung in Interferenzeffekten liegt, ist das Chip-Design empfindlich gegenüber Änderungen der Wellenlänge oder des Abstands zwischen Emitter und Spiegel. Deshalb ist die Methode für emittierende Schichten mit einer im Vergleich zur Wellenlänge sehr kleinen Schichtdicke geeignet, was z. B. für das Auslesen von Fluoreszenzchips in der biochemischen und pharmakologischen Forschung zutrifft. Damit eröffnet der beschriebene Ansatz die Möglichkeit, die Empfindlichkeit zu erhöhen. Falls nur moderate Empfindlichkeiten benötigt werden, könnten alternativ aufwendige durch einfachere Detektoren ersetzt werden, indem im Chip zusätzliche Mehrschichtsysteme eingesetzt werden.

Literatur:

- /1/ Drexhage, K. H.: „Interaction of light with monomolecular dye layers“, Prog. Opt. 12 (1974) 165.
- /2/ Chance, R. R.; Prock, A.; Silbey, R.: „Molecular fluorescence and energy transfer near interfaces“, Adv. Chem. Phys. 37 (1978) 1.
- /3/ Sullivan, K.G.; Hall, D.G.: „Enhancement and inhibition of electromagnetic radiation in plane-layered media. II. Enhanced fluorescence in optical waveguide sensors“, J. Opt. Soc. Am. B 14 (1997) 1160.
- /4/ Danz, N.; Waldhäusl, R.; Bräuer, A.; Kowarschik, R.: „Dipole lifetime in stratified media“, J. Opt. Soc. Am. B 19 (2002) 412.
- /5/ Danz, N.; Heber, J.; Bräuer, A.; Kowarschik, R.: „Fluorescence lifetimes of molecular dye ensembles near interfaces“, Phys. Rev. A 66 (2002) 063809.

Experiments

The radiation pattern of thin, fluorescing layers on the surface of different samples was examined by means of the setup shown in fig. 1. The samples were irradiated with a circularly polarized beam with a 20° angle of incidence. Fluorescence was detected within a 5° cone and coupled via an optical fiber and a long pass filter onto the photomultiplier detector. The fluorescence pattern was angularly scanned (φ) perpendicular to the sample surface and the plane of incidence of the illuminating beam.

The simplest possible system for fluorescence enhancement was chosen. It consists of a thick, sputtered metal layer with a dielectric spacer and is depicted in fig. 1. Spacer layers with varying thickness were prepared by chemical vapor deposition. A 27 nm-thin, dye-doped (polymethylmethacrylate) layer was used as the fluorescence source. This fluorescing film can be modeled as an infinitely thin layer of molecules and was used to circumvent the rather complicated surface chemistry of monomolecular layer coupling.

A quartz substrate, deposited only with fluorescing film, was taken for comparison. The corresponding experimentally determined and theoretically deduced radiation patterns are given in fig. 2.

Fig. 3 and fig. 4 show radiation distributions in the cladding of multilayer samples. In the sample (see fig. 3) the emission perpendicular to the surface is suppressed, because only 20 % of the intensity is observed in comparison with the reference sample. Fig. 4 illustrates the case of maximum enhancement. The theoretical curves in all diagrams assume the same proportionality between the theoretical value and the ratio of fluorescence and illu-

mination intensity. For this reason, they are comparable in an absolute sense. Deviations in fig. 2 are attributed to dye bleaching or the different surface properties affecting the polymer layer deposition.

Conclusions

The relative intensity emitted perpendicular to the chip surface is 110 according to fig. 4 and approximately 2 in the case of the reference sample. According to this result, introducing a metallic mirror and a dielectric slab below the emitters can enhance the detection efficiency of planar fluorescence biosensors by more than one order of magnitude.

Because this enhancement is based on interference effects, the chip setup is sensitive to changes in the excitation and fluorescence wavelengths as well as the emitter-mirror separation. This method is thus well suited to fluorescing films with a small thickness in relation to emission wavelength, which is the case for the readout of fluorescence chips in biomedical research and

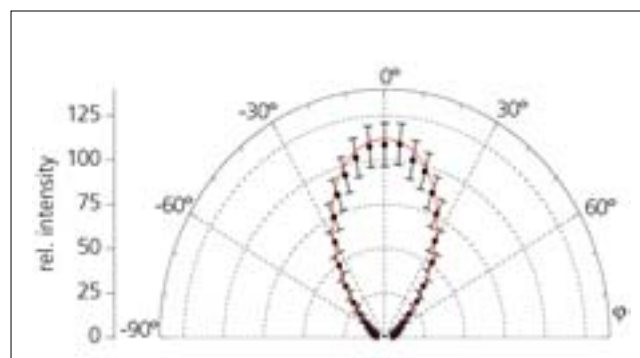
diagnostics. Therefore, the method described opens up the possibility of increasing sensitivity using current setups. Alternatively, if only moderate sensitivity is required, less sophisticated detectors could be replaced by simpler ones by incorporating additional multiple layers into the chip.

References:

- /1/ Drexhage, K. H.: „Interaction of light with monomolecular dye layers,” *Prog. Opt.* 12 (1974) 165.
- /2/ Chance, R. R.; Prock, A.; Silbey, R.: „Molecular fluorescence and energy transfer near interfaces,” *Adv. Chem. Phys.* 37 (1978) 1.
- /3/ Sullivan, K.G.; Hall, D.G.: „Enhancement and inhibition of electromagnetic radiation in plane-layered media. II. Enhanced fluorescence in optical waveguide sensors,” *J. Opt. Soc. Am. B* 14 (1997) 1160.
- /4/ Danz, N.; Waldhäusl, R.; Bräuer, A.; Kowarschik, R.: „Dipole lifetime in stratified media,” *J. Opt. Soc. Am. B* 19 (2002) 412.
- /5/ Danz, N.; Heber, J.; Bräuer, A.; Kowarschik, R.: „Fluorescence lifetimes of molecular dye ensembles near interfaces,” *Phys. Rev. A* 66 (2002) 063809.

Abb. 4:
Verstärkung der Fluoreszenzstrahlung senkrecht zur Probenoberfläche um etwa einen Faktor 50 bei $d = 286$ nm. Man beachte die unterschiedlichen Skalen der Diagramme.

Fig. 4:
Fluorescence enhanced by approximately a factor of 50 perpendicular to the sample surface at $d = 286$ nm. Note the different scales in the diagrams.



Bewertung nanostrukturierter funktionaler Oberflächen: visuelle Inspektion vs. laserbasierte Messung

Angela Duparré, Marcel Flemming, Antje Kaless, Karsten Reihs*
(* SuNyx Surface Nanotechnologies GmbH)



Marcel Flemming

Motivation

Die stürmische Entwicklung auf dem Gebiet der Nanotechnologien erzeugt neue Herausforderungen für optimal angepasste, hochgenaue und effiziente Charakterisierungstechniken. Funktionale Oberflächen, die aus solchen Technologien hervorgehen, erfordern zudem völlig neuartige und innovative Verknüpfungen zwischen Design, Charakterisierung und den funktionalen Eigenschaften.

Ein repräsentatives Beispiel einer äußerst attraktiven funktionalen Eigenschaft, die durch Nanostrukturen erreicht werden kann, ist die Ultrahydrophobie. Gemeinsame Aktivitäten der Firma SuNyx Surface Nanotechnologies und des IOF haben zu einem neuartigen Ansatz für ultrahydrophobe Oberflächen mit optischer Qualität geführt. Die zur Erzeugung des funktionalen Effekts benötigten Nanostrukturen werden durch erhöhte statistische Rauheiten optischer Schichten realisiert. Gleichzeitig darf die optische Erscheinung nicht durch Lichtstreuung infolge der erhöhten Rauheit gestört werden. Erste Resultate haben wir in /1/, /2/ beschrieben.

Schwachstreuende ultrahydrophobe Schichten für Architekturglas stellen ein repräsentatives Beispiel für alle Anwendungen dar, in denen nanostrukturierte Oberflächen speziellen Anforderungen an die optisch ästhetische Erscheinung unterworfen sind.

Ein wesentliches Problem in der Vielfalt der wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen stellt hierbei eine bislang nicht behandelte und ungelöste Frage dar:

Wie ist die Eigenschaft „akzeptable optisch ästhetische Erscheinung“ geeignet zu quantifizieren?

Die bei der Entwicklung der nanorauen Oberflächen eingesetzten Design- und Charakterisierungstechniken basieren notwendig auf der Totalen Lichtstreuung (Total Scatter – TS).

Diese Größe ist theoretisch und experimentell definiert für monochromatische Strahlung (Laserwellenlängen) sowie für spezifizierte Einstrahl- und Beobachtungsbedingungen und ist in der internationalen Norm ISO 13696 beschrieben. Im Gegensatz dazu erfolgt u. a. im Architekturglasbereich die Bewertung der Streulichtwirkung durch visuelle Inspektion. Diese wird teilweise durch Haze-Messungen unterstützt. Damit ist keine geeignete Quantifizierung und Definition eines Streulichtschwellenwertes möglich, der für Design und Charakterisierung benötigt wird. Deshalb haben wir Untersuchungen in Gang gesetzt, die zu einer verlässlichen Verknüpfung zwischen der auf der Anwenderseite genutzten visuellen Inspektion und der physikalisch exakten Größe TS führen sollen. Im Folgenden werden die Messstrategien und erste Ergebnisse dargestellt.

Visual inspection vs. laser measurement: a crucial link for the assessment of nanostructured functional surfaces

Angela Duparré, Marcel Flemming, Antje Kaless, Karsten Reihs*
(* SuNyx Surface Nanotechnologies GmbH)

Motivation

The tremendous development in the rapidly expanding field of nanotechnology is creating new challenges for well adapted, highly sensitive and efficient characterization tools. The functional nanostructured surfaces emerging from such technologies also require novel and innovative links between design, characterization, and functional properties.

A representative example of a very attractive functional property that can be achieved with nanostructures is ultra-hydrophobicity. Joint activities of SuNyx Surface Nanotechnologies and the IOF have led to a unique approach for ultra-hydrophobic surfaces with optical quality. The nanostructure needed for the functional effect is realized through the enhanced statistical roughness of optical coatings. The optical appearance must, however, not be disturbed by scattering resulting from the enhanced roughness. First results are described in /1/, /2/.

Low scatter ultra-hydrophobic coatings for architectural glass constitute a representative example for all cases in which nanostructured functional surfaces are required to maintain an optically esthetic appearance.

Amongst a multitude of challenging scientific and technical problems, one problem in particular remains entirely unsolved, the question of how an „optically esthetic appearance“ can be quantified and defined appropriately?

The design tools and characterization techniques used in the development of the nano-rough surfaces are necessarily based on total scatter (TS). TS is theoretically and experimentally defined for monochromatic (laser) wavelengths and for specified illumination and observation conditions, and is described in the international standard ISO 13696 /3/. By contrast, optical scatter assessment of architectural glass, for example, which is a major application for ultra-hydrophobic coatings, largely relies on visual inspection. Partly, this inspection is assisted by measuring haze /4/.

Neither of the two methods, however, is suitable for the proper quantification and definition of a scatter threshold needed in design and characterization. Hence, investigations had to be embarked upon that a reliable link between the visual inspection methods traditionally used in applications and the exact total scatter quantity can be established. In the following, we describe the measurement strategy and initial results.



Antje Kaless



Angela Duparré

Karsten Reihs

Vorgehensweise:

- Konstruktion und Einsatz einer Anordnung zur visuellen Inspektion mit variablen, spezifizierten Beleuchtungs- und Beobachtungsbedingungen, Abb. 1.
- Herstellung einer Probenserie aus BK 7-Glas mit abgestufter Rauheit zur Erzeugung abgestufter Streulichtniveaus.
- TS-Messung (Vorwärts- und Rückwärtsstreuung, d. h. Streulicht in Transmissions- und Reflexionsrichtung) für die Definition der Streulichtschwelle. Die TS-Anordnung wurde am IOF entwickelt /3/. Abb. 2 zeigt das sammelnde Element des Aufbaus, die Coblenzkugel.
- Winkelaufgelöste Streulichtmessung (Angle Resolved Scatter – ARS) für die Identifizierung möglicher kritischer Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel unter Einsatz einer am IOF entwickelten Scatterometer-Anordnung /3/, Abb. 3.
- Haze-Messung mit dem kommerziellen Gerät „Haze-gard dual“, /4/, Abb. 4.

Für die ersten Messserien wurde ein Probensatz von 9 BK7-Gläsern mit Oberflächenbearbeitungen eingesetzt, die sich von einer Politur mit Laserqualität bis Feinschliff erstrecken. Die visuelle Inspektion wurde von 40 Personen unterschiedlichen Alters, Geschlechts und beruflicher Ausbildung durchgeführt. Die optische Erscheinung wurde in 5 Graden bewertet: 1: exzellent, 2: gut, 3: akzeptabel, 4: schlechte Qualität, 5: inakzeptabel.

Im Diagramm der Abb. 5 sind die Ergebnisse der visuellen Beurteilung gegenüber den bei 514 nm gemessenen TS-Werten (Vorwärtsrichtung) aufgetragen. Die visuelle Bewertung erfolgte jeweils unter drei unterschiedlichen Beobachtungsbedingungen: Dunkler Hintergrund ohne Umgebungslicht; dunkler Hintergrund mit Umgebungslicht; heller Hintergrund mit Umgebungslicht. Es ergab sich eine gute Korrelation von gemessenen TS-Werten und visueller Inspektion für alle drei Bedingungen. Dunkler Hintergrund ohne Umgebungslicht erweist sich jedoch als die optimale Variante für eine strenge absolute Qualitätsaus-

lese. Mit dieser aussichtsreichen Korrelation wurde ein wesentlicher Schritt für die Quantifizierung des Einflusses von Nanostrukturen auf die optische Erscheinung funktionaler Oberflächen erreicht.

Danksagung

Die Arbeiten werden im BMBF-Verbundprojekt „Nanophob“ gefördert.

Literatur:

/1/ Duparré, A., Flemming, M., Steinert, J., Reihs, K.: „Optical coatings with enhanced roughness for ultrahydrophobic, low scatter applications“, Appl. Optics 41 (2002) 3294–3298.
 /2/ Reihs, K., Duparré, A., Flemming, M.: „Optische Schichten mit ultrahydrophoben und streuarmer Eigenschaften“, Photonik 4 (2002) 36–37.
 /3/ Duparré, A., Ferré-Borrull, J., Gliech, 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. Optics 41 (2002) 154–171.
 /4/ Fa. BYK-Gardner: „Hazemeter introduction manual“ (2002).
 /5/ Fa. BYK-Gardner: „Instrumente 2002“, Katalog (2002).

Abb. 1: Versuchsaufbau für visuelle Inspektion.

Fig. 1: Set-up for visual inspection.

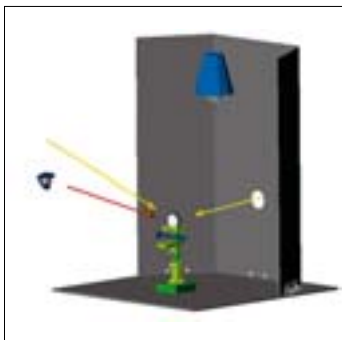


Abb. 2: TS-Messsystem: Coblenzkugel.

Fig. 2: TS measurement system: Coblenz sphere.



Abb. 3: ARS-Messsystem.

Fig. 3: ARS measurement system.



Abb. 4: Hazemeter „Haze-gard dual“, /5/.

Fig. 4: Hazemeter „haze-gard dual“, /5/.



Investigation procedure:

- Construction and implementation of a set-up for visual inspection with variable but well specified illumination and observation conditions, fig. 1.
- Preparation of a set of BK7 glass surfaces with graded roughness to achieve graded light scattering levels.
- TS measurement (backscatter and forward scatter, i. e. scatter in the reflection and transmission directions) for defining the scatter threshold. The TS equipment was developed at the IOF /3/. fig. 2 depicts the collecting element of the set-up, the Coblentz sphere.
- Angle Resolved Scatter (ARS) measurement to find out and identify critical angles of illumination and observation using the scatterometer developed at the IOF /3/, fig. 3
- Haze measurement using the commercial hazemeter „haze-gard dual“ /4/, fig. 4.

Our first measurement series consisted of 9 glass surfaces whose finish ranged from laser quality polish to a finely ground surface. The visual inspection was performed by 40 individuals of different ages, professions and gender. The optical appearance was assessed using a 5-grade system: 1: excellent, 2: good, 3: acceptable, 4: poor, 5: unacceptable.

In fig. 5, the visual ranking marks are depicted in regard to TS, measured in the forward scatter mode at the laser wavelength of 514 nm. The visual ranking refers to three different observation conditions: dark background with no ambient light; dark background with ambient light; bright background with ambient light. A good correlation between the measured TS levels and visual inspection was obtained for all three conditions. Dark background and no ambient light, however, proved to be the optimum condition for the absolute assessment of quality. This promising correlation was an essential step in quantifying the influence of nanostructures on the optical appearance of functional surfaces.

Acknowledgement

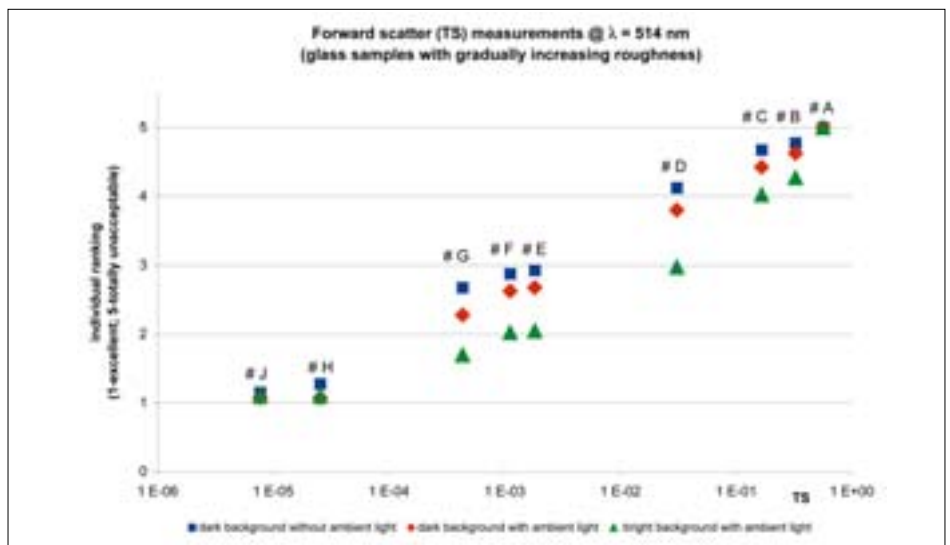
These endeavors have been supported by the German Federal Ministry for Education and Research as part of the „Nanophob“ joint project.

References:

/1/ Duparré, A., Flemming, M., Steinert, J., Reihls, K.: „Optical coatings with enhanced roughness for ultrahydrophobic, low scatter applications“, Appl. Optics 41 (2002) 3294–3298.
 /2/ Reihls, K., Duparré, A., Flemming, M.: „Optische Schichten mit ultrahydrophoben und streuarmer Eigenschaften“, Photonik 4 (2002) 36–37.
 /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. Optics 41 (2002) 154–171.
 /4/ BYK-Gardner: „Hazemeter introduction manual“, (2002).
 /5/ BYK-Gardner: „Instrumente 2002“, Katalog (2002).

Abb. 5: Totale Streuung in Transmissionsrichtung vs. visuelle Bewertung.

Fig. 5: Forward scatter measurement vs. visual quality ranking.



Messsystem zur Bestimmung der winkelabhängigen und totalen Lichtstreuung, Transmission und Reflexion bei 157 nm und 193 nm

Stefan Gliech, Henning Geßner, Angela Duparré



Stefan Gliech

Beschreibung des Messsystems

Am Fraunhofer IOF wurde ein System zur Messung der winkelabhängigen Lichtstreuung (Angle Resolved Scattering – ARS), totalen Lichtstreuung (Total Scattering – TS), Transmission und Reflexion bei 157 nm und 193 nm entwickelt. Die Lichtquelle, ein Excimerlaser, ist mit den Vakuumkammern für die Strahlaufbereitung und Messanordnungen verbunden. Ein Präzisions-Doppelgoniometer ermöglicht hochaufgelöste ARS-, T- und R-Messungen. Der Dynamikbereich erstreckt sich über mehr als 9 Größenordnungen, die Winkelauflösung für Einfall- und Streuwinkel ist kleiner als $0,01^\circ$.

Die ARS-, T- und R-Messungen können in Abhängigkeit vom Einfall- und Beobachtungswinkel und von der Polarisation durchgeführt werden. Die in einem früheren Bericht [1] ausführlich beschriebene TS-Anordnung misst die totale Vorwärtsstreuung und totale Rückwärtsstreuung bis hinab zu Streuniveaus von 1 ppm. Abb. 1 zeigt eine Aufnahme des Messsystems – VULSTAR (system for measuring VUV Light Scatter, Transmittance and Reflectance) mit der Messkammer für Coblenzkugel und Goniometer sowie der Strahlaufbereitungskammer. Der im Bild nicht enthaltene Excimerlaser ist mit dem rückwärtigen Ende der Strahlaufbereitungskammer verbunden. Eine schematische Übersicht der Goniometeranordnung ist in Abb. 2 dargestellt.

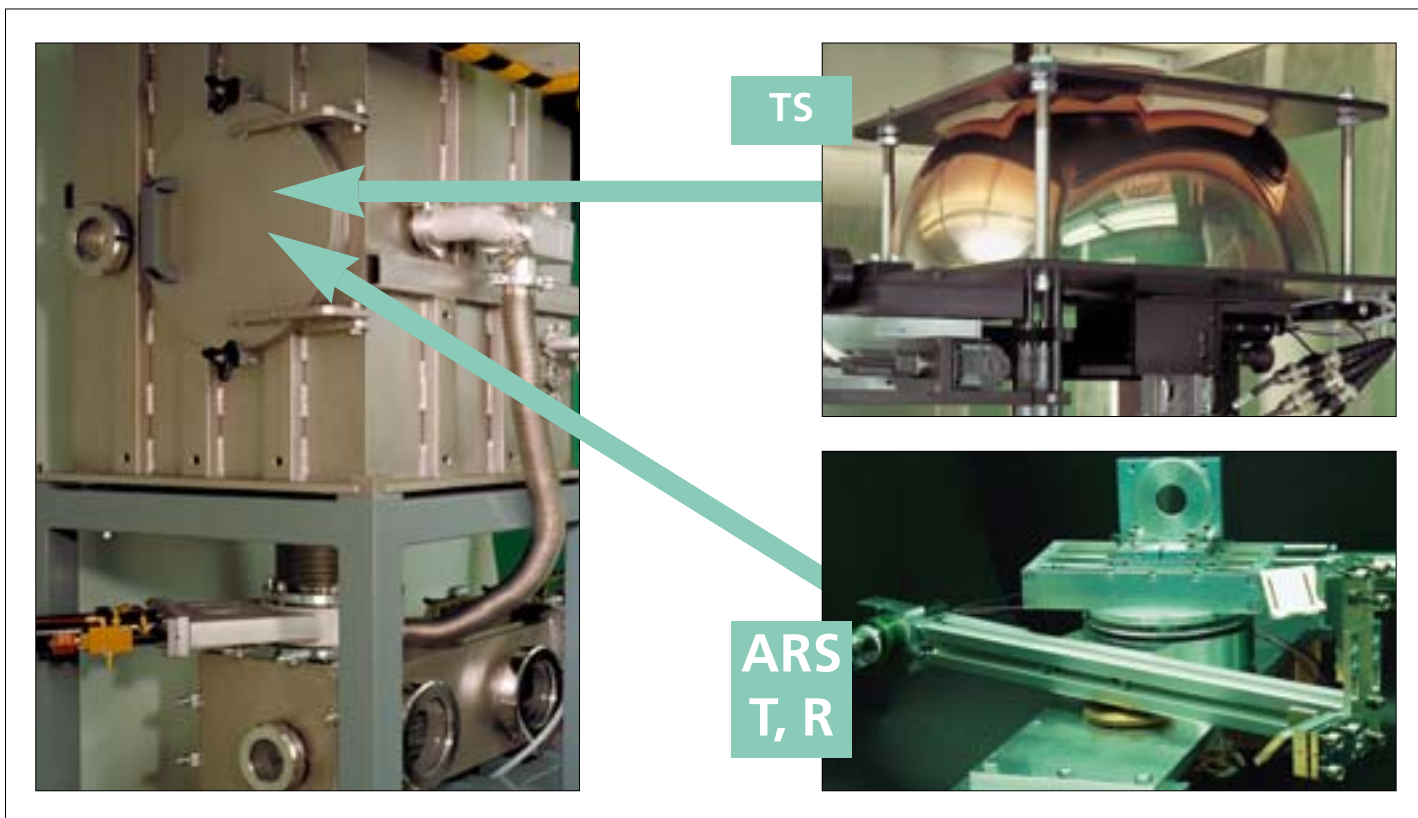


Abb. 1: System zur Messung der VUV-Lichtstreuung, Transmission und Reflexion – VULSTAR.

Fig. 1: Photograph of the system for measuring VUV Light Scatter, Transmittance and Reflectance – VULSTAR.

System for angle-resolved and total-light scattering, transmittance and reflectance measurements at 157 nm and 193 nm

Stefan Gliech, Henning Geßner, Angela Duparré

Description of the measurement system

We have developed and implemented a system for measuring angle-resolved scattering (ARS) and total scattering (TS), reflectance (R) and transmittance (T) at 157 nm and 193 nm. An excimer laser is connected as a radiation source to two vacuum chambers housing the beam preparation path and the measurement arrangements. A precision double goniometer enables ARS, R, and T measurement with high resolution. The dynamic range exceeds 9 orders of magnitude and the angular resolution is smaller than 0.01 degrees for the incidence and scattering angles. The ARS, T and R measurements can be performed as a function of the incidence and observation angles and of polarization. The TS arrangement described in detail in an earlier report [1] measures the total forward scatter-

ring and total backscattering down to levels as low as 1 ppm. A photograph of the measurement system – VULSTAR (system for measuring VUV Light Scatter, Transmittance and Reflectance) is shown in fig. 1 which displays the measurement vacuum chamber with the Coblentz sphere, goniometer and the beam preparation chamber. The excimer laser (not seen in the picture) is attached to the rear end of the beam preparation chamber. A schematic picture of the goniometer arrangement is given in fig. 2.



Angela Duparré

Henning Geßner

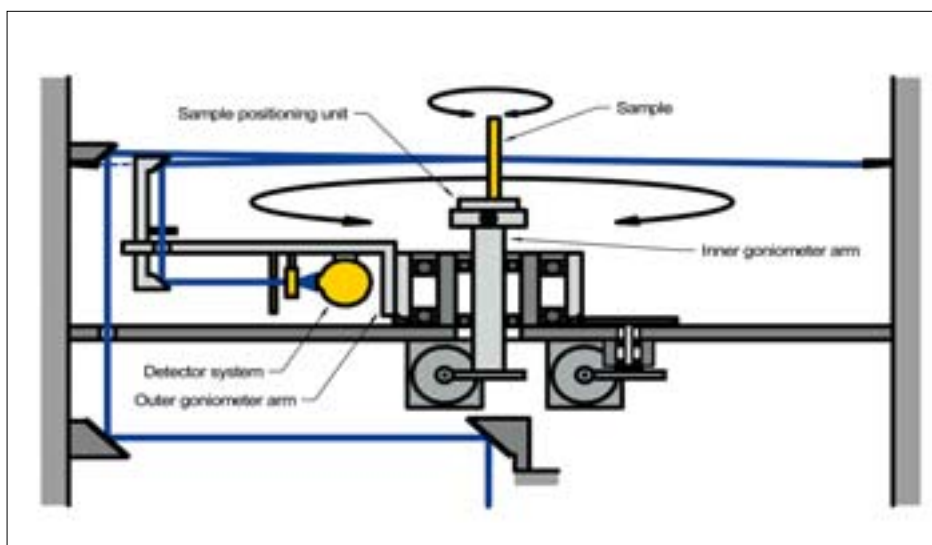


Abb. 2: Schematische Darstellung der Anordnung zur ARS-, T- und R-Messung.

Fig. 2: Schematic picture of the ARS, T and R measurement arrangement.

Auf Grund der erreichten hohen Sensitivitäten bzw. des extrem niedrigen Untergrund-Streulichts können sowohl mit der TS- als auch der ARS-Anordnung selbst schwachstreuende superpolierte Substrate und AR-Beschichtungen untersucht und kleinste Struktur-schwankungen auf der Oberfläche oder in Schichten detektiert werden. Dies ist von maßgeblicher Bedeutung für die Entwicklung und Qualitätskontrolle optischer Komponenten für die VUV-Lithografie, da Volumen- und Oberflächeninhomogenitäten eine wesentliche Verlustursache darstellen. Speziell die Lichtstreuung wird entscheidend durch Mikro- und Nanostrukturen beeinflusst, und mit der Verringerung der Wellenlänge verstärken sich die strukturellen Effekte erheblich. Die „At-wavelength“-Messung ermöglicht nun sowohl die Streulichtkontrolle als auch das Studium der Nanostrukturen.

Indem bei unserem Messsystem dieselbe Goniometeranordnung für die ARS- und für die T- und R-Messung eingesetzt wird, entsteht ein wohldefinierter Zusammenhang zwischen dem Akzeptanzwinkelbereich bei der T- und R-Messung einerseits und der entsprechenden Nahwinkelgrenze der Streulichtmessung andererseits. Das eröffnet eine aussichtsreiche Lösung des bekannten Problems der i. a. nicht miteinander harmonisierenden Messgrößen T, R und Streulicht: Die Energiebilanz $R + T + TS + A = 1$ (A ist die Absorption) wird meist nicht erfüllt, da die Akzeptanzwinkel in üblichen Anordnungen für die T-, R- und Streulichtmessung nicht aufeinander abgestimmt sind.

Anwendungsbeispiele

Im Folgenden werden einige Ergebnisse der Messung an Substraten und Beschichtungen für den VUV-Bereich vorgestellt. Weitere Beispiele und ausführliche Beschreibungen des Messsystems finden sich in /2/ bis /4/. Abb. 3 zeigt 2-D-Flächenscans und 1-D-Linienscans der totalen Vorwärtsstreuung zweier CaF_2 -Substrate bei 157 nm. Aus den Mittelwerten der TS-Niveaus wurden die entsprechenden rms-Rauheitswerte zu 0,13 nm und 0,38 nm berechnet. Obwohl beide Proben aus identischem Material gefertigt wurden und gleiche Politur- und Reinigungsprozesse durchlaufen hatten, unterscheiden sich die Ergebnisse wesentlich.

Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer durchgängigen Qualitätskontrolle, da kritische Variationen der Oberflächenbeschaffenheit von Charge zu Charge auftreten können. Abb. 4 zeigt eine 157 nm-Transmissions- und Reflexionsmessung an einem superpolierten CaF_2 -Substrat, Abb. 5 winkel aufgelöste Streulichtmessungen an HR-beschichtetem CaF_2 bei 157 nm sowie die Instrumentensignatur bei dieser Wellenlänge.

Danksagung

Diese Arbeiten wurden gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, EUREKA-Projekt „EUROLASER CHOCLAB II“ und durch die Europäische Kommission, TMR-Projekt: „New Optimisation Concepts for high Quality UV-Coatings“.

Literatur:

- /1/ J. Steinert, S. Gliech, A. Duparré: „Light scattering measurements on optical components at 157 nm and 193 nm“, Annual Report 2001, Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering, 2001.
- /2/ S. Gliech, J. Steinert, A. Duparré: „Light-scattering measurements on optical thin-film components at 157 nm and 193 nm“, Applied Optics 41, 3224–3235, 2002.
- /3/ S. Gliech, H. Geßner, A. Duparré: „System for measuring angle resolved and total light scattering, transmittance and reflectance at 193 nm and 157 nm“, LBOC 7 / Boulder Damage Symposium, 16–19 September 2002, Boulder, Proceedings SPIE Vol. 4932, in print.
- /4/ A. Duparré, N. Benkert, S. Gliech, A. Hultåker: „Characterizing CaF_2 for VUV optical components: roughness, surface scatter, and bulk scatter“, LBOC 7 / Boulder Damage Symposium, 16–19 September 2002, Proceedings SPIE Vol. 4932, in print.

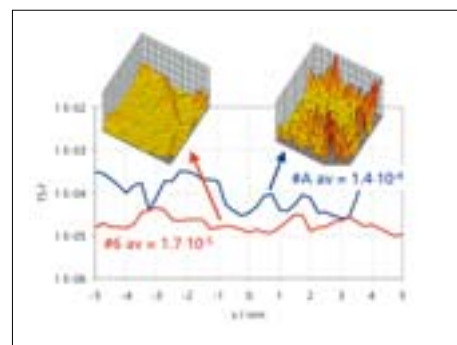


Abb. 3:
2-D-Mapping, 1-D-Scans und Mittelwerte der totalen Vorwärtsstreuung zweier CaF_2 -Substrate. $\lambda = 157$ nm.

Fig. 3:
2-D mapping, 1-D scans and averaged values of the total forward scattering of two CaF_2 substrates. $\lambda = 157$ nm.

With the high sensitivities achieved and the low background scattering levels, even low-scatter superpolished substrates and AR coatings can be investigated by both the TS and ARS arrangements, and the smallest of structural variations on the surfaces and in the films can be detected. This is essential for the development and quality control of optical components for VUV lithography, since a major source of defects in the components arise from volume and surface structure inhomogeneities of both the substrates and the thin film coatings. In particular, light scattering is strongly related to micro- and nanostructures. As illumination wavelengths decrease, structural effects increase. At-wavelength scatter measurements enable for both scatter loss control and for the investigation of the nanostructures.

The implementation of transmittance and reflectance measurements, using the same goniometer as for ARS measurement, results in a well defined link between the acceptance angle for T and R determination and the corresponding near angle limit in the scatter measurements. This opens up a promising approach in overcoming the well-known problem that T, R determination and scatter loss determination usually do not result in harmonized quantities, i. e. the energy balance $R + T + TS + A = 1$ (A is the absorption) is mostly not maintained as a result of inconsistent acceptance angles in the T, R, and scatter measurement devices.

Application examples

Some measurement results of VUV substrates and coatings are shown in the following. Further examples as well as detailed descriptions of the measurement system can be found in [2–4]. Fig. 3 shows 2-D area-scans of the total forward scatter of two CaF_2 substrates along with 1-D line scans at 157 nm. From the mean TS levels, rms roughness values were calculated as 0.13 nm and 0.38 nm, respectively. Even though both samples were made of identical material and had undergone the same polishing and cleaning procedures, they showed considerable differences. This demonstrates the important role of thorough quality control, as critical surface finish variations can occur from batch to batch. Fig. 4 displays the result of transmittance and reflectance measurements of a superpolished CaF_2 substrate at 157 nm. In Figure 5, results of angle-resolved scatter measurements of HR fluoride mirrors on CaF_2 substrates at 157 nm are shown together with the instrument signature of the system.

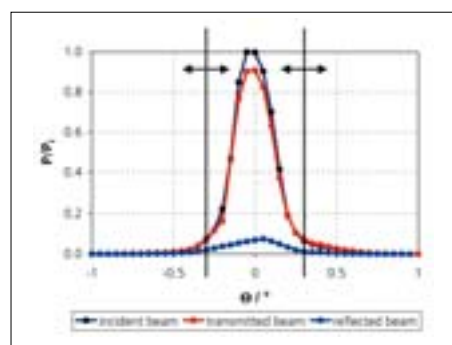


Abb. 4: Transmissions- und Reflexionsmessung an einem superpolierten CaF_2 -Substrat. $\lambda = 157$ nm.

Fig. 4: Transmittance and reflectance measurements of a superpolished CaF_2 substrate. $\lambda = 157$ nm.

Acknowledgements

These activities have been supported by the German Ministry of Education and Research, EUREKA project „EURO-LASER CHOCLAB II“ and the European Commission TMR-project: „New Optimisation Concepts for High Quality UV-Coatings.“

References:

- /1/ J. Steinert, S. Glich, A. Duparré: „Light scattering measurements on optical components at 157 nm and 193 nm,“ Annual Report 2001, Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering, 2001.
- /2/ S. Glich, J. Steinert, A. Duparré: „Light-scattering measurements on optical thin-film components at 157 nm and 193 nm,“ Applied Optics 41, 3224–3235, 2002.
- /3/ S. Glich, H. Geßner, A. Duparré: „System for measuring angle-resolved and total light scattering, transmittance and reflectance at 193 nm and 157nm,“ LBOC 7 / Boulder Damage Symposium, 16–19 September 2002, Boulder, Proceedings SPIE Vol. 4932, in print.
- /4/ A. Duparré, N. Benkert, S. Glich, A. Hultåker: „Characterizing CaF_2 for VUV optical components: roughness, surface scatter, and bulk scatter,“ LBOC 7 / Boulder Damage Symposium, 16–19 September 2002, Proceedings SPIE Vol. 4932, in print.

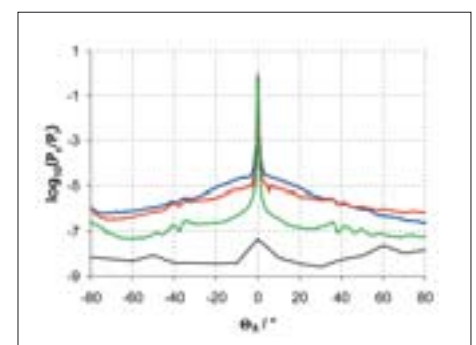


Abb. 5: Winkelaufgelöste Messung der Rückstreuung an HR-Vielfachschichtsystemen auf CaF_2 -Substraten. Schwarze Kurve: Instrumentensignatur. $\lambda = 157$ nm.

Fig. 5: Angle-resolved backscattering measurements of HR multilayer mirrors on CaF_2 substrates; black curve: instrument signature; $\lambda = 157$ nm.

Finite-Element-Analyse opto-mechanischer Baugruppen

Thomas Peschel



Thomas Peschel

Einleitung

Die mechanische Aufnahme von optischen Elementen muss unter den unterschiedlichsten externen und internen Einflüssen deren korrekte Form und Position sicherstellen /1/. Wichtige externe Einflüsse sind dabei Gravitation und Umgebungstemperatur. Als interne Störgröße machen sich vor allem Wärmequellen und Klemmkräfte bemerkbar. Insbesondere bei sehr hohen Anforderungen an die Qualität der Optik erweist es sich als vorteilhaft, die durch Umwelteinflüsse auftretenden Deformationen bereits in der Design-Phase der Baugruppe mittels Finite-Element-Verfahren zu überprüfen und gegebenenfalls das mechanische Design zu optimieren.

Insbesondere lassen sich Deformationen im Nanometerbereich durch die Simulation zuverlässig vorhersagen, während ihre Messung in der Regel äußerst aufwändig ist. Die Möglichkeiten einer solchen Simulation sollen im Folgenden anhand eines Beispiels dargestellt werden.

Thermomechanische Simulation einer Laserbaugruppe

Im Auftrag der Firma Lasos /2/ sollte die Stabilität der Strahlausrichtung eines diodengepumpten, frequenzverdoppelten Festkörperlasers unter thermischen Lasten und Montagekräften untersucht werden. Die Baugruppe besteht aus jeweils einem Resonator- und Pumpmodul, dessen jeweilige Temperatur zur Abstimmung des Lasers über Peltier-Elemente separat eingestellt wird. Über Spannschrauben werden die Baugruppen untereinander und mit der Grundplatte verbunden.

Die auf das System wirkenden Lasten ergeben sich in erster Linie aus der Verlustleistung der Pumpdiode, infolge Absorption im aktiven Material und vor allem durch die Peltier-Elemente. In einem ersten Schritt wurde die Temperaturverteilung in der Baugruppe mittels Finite-Element-Methode /3/ analysiert.

Zur Simulation der Peltierelemente bietet das verwendete Programm keine vorgefertigten Elemente. Deshalb wurde der Peltier-Effekt durch je eine flächenhafte Wärmequelle und -senke an den Grenzflächen des Halbleitermaterials beschrieben sowie eine der Ohmschen Wärme entsprechende Volumenquelle einbezogen. Dieses Modell wurde zuerst anhand der Datenblätter des Herstellers an einzelnen Peltierelementen verifiziert und die einzelnen Quellen wurden aufeinander abgestimmt. Dann erfolgte der Einbau in das Gesamtmodell der Baugruppe und die Abstimmung auf die vom Auftraggeber vorgegebenen Temperaturen der einzelnen Module.

Thomas Peschel

Introduction

When mounting optical elements, it is necessary to maintain the elements' correct shape and position under a variety of external and internal influences /1/. The most important external (or environmental) influences are gravitation and ambient temperature while heat sources and clamping forces are the most significant internal disturbance variables.

When high optical quality is required, it is advantageous to use the finite-element method to investigate the deformations induced by environmental influences. This should already be undertaken during the design phase of the optical set-up. If necessary, the mechanical design may be revised. Deformations in the nanometer range may be predicted with particular reliability by the simulation but may be very difficult to measure. In the following, the advantages of such a simulation will be demonstrated using an example.

Thermo-mechanical simulation of a laser assembly

As part of an order for the Lasos company /2/ we investigated the pointing stability of a diode-pumped frequency-doubled solid state laser under thermal and clamping loads. The laser assembly consists of a resonator and a pump module, the temperature of which is adjusted individually using Peltier elements. Clamping screws connect the modules to each other as well as with a base plate.

The loads acting on the optical components are the result of heat generation by the laser diode, absorption by the active material and heat generated by the Peltier elements. As a first step, the temperature distribution in the optical assembly was analyzed using the finite-element method /3/.

The FEM program used does not offer predefined elements for Peltier simulation. The Peltier effect was thus accounted for by a plane heat source and drain, respectively, at both interfaces of the semiconductor material. Heat dissipation inside the semiconductor was simulated by a volume source. This model was verified by comparing the simulation results for single elements with the specifications provided by the supplier of the Peltier elements. The Peltier model was subsequently incorporated into the full simulation of the laser assembly and the source parameters were adjusted to reproduce the correct temperatures in the individual modules.

Ergebnisse

Für das mechanische Verhalten der Baugruppe sind auf Grund der differentiellen thermischen Ausdehnung in erster Linie die Temperaturgradienten in den einzelnen Modulen relevant. Als Maß dafür kann der Wärmefluss verwendet werden. Dieser ist für einen Längsschnitt durch die komplette Baugruppe in Abb. 1 dargestellt.

Unter dem Einfluss der Temperaturverteilung sowie der Vorspannung der Befestigungsschrauben kommt es zu Spannungen in den mechanischen Komponenten (siehe Abb. 2). Die größten Werte treten dabei in den Grund- und Deckplatten der Peltierelemente auf, da zwischen diesen große Temperaturunterschiede bestehen, die auf Grund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung der Platten zu einer Art „Bimetall“-Effekt führen. Die Spannungen in den für die Befestigung der optischen Elemente relevanten Teilen sind deutlich kleiner.

Für die Ausrichtung der optischen Elemente sind die Verkippungen der jeweiligen Referenzflächen wesentlich. Im Ergebnis der Simulation ergeben sich Verkippungen der optischen Elemente im Bereich weniger Bogensekunden. Gleichzeitig kann die Änderung der Ausrichtung beim Wechsel zwischen den unterschiedlichen Betriebszuständen des Lasers verfolgt werden. Im Ergebnis der Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass die Baugruppe den an sie gestellten Anforderungen genügt.

Literatur:

- /1/ P.R. Yoder: „Opto-mechanical systems design“, 2nd ed., New York, 1992.
- /2/ with the generous approval of LASOS Lasertechnik GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, D-07745 Jena, Germany.
- /3/ Finite-element program: ANSYS Version 5.6.2.

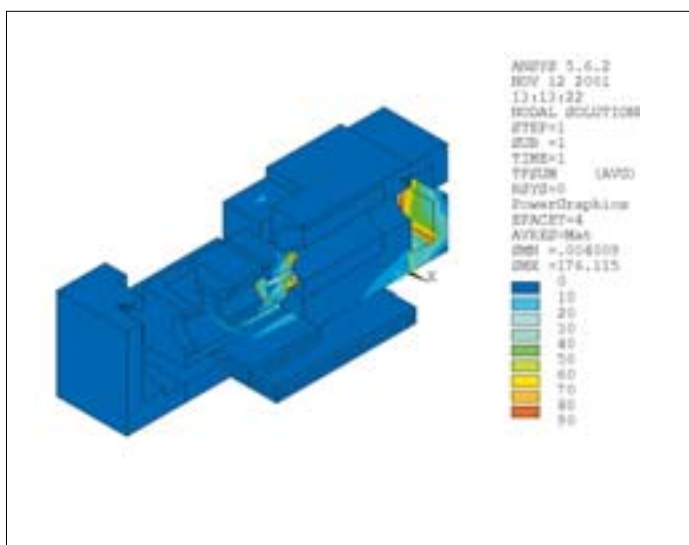


Abb. 1
Wärmefluss in der Laserbaugruppe.

Fig. 1:
Heat flux in the laser assembly (cut view).

Results

The mechanical stresses and deformations in the system are generated primarily by the temperature gradients within the individual modules. The heat flux calculated by the FEM program provides a good comparison for those gradients. The respective results for the complete assembly are given in fig. 1.

Stresses in the mechanical components arise due to the influence of the temperature distribution as well as the pretension of the clamping screws (see fig. 2). Maximum stress values can be found in both the base and cover plates of the Peltier elements because of the large temperature gradients across the Peltier elements which lead to a type of „bi-metal“ effect. The stresses affecting the mounting of the optical elements are considerably weaker.

The adjustment of the optical components is determined by the tilt of the respective reference planes. One result of the simulation was a tilt of the optical elements in the range of a few seconds of arc. Furthermore, changes could be determined in the alignment of the optical elements for different operational states of the laser. The simulation proved that the laser assembly complies with the requirements.

References:

- /1/ P.R. Yoder, Opto-mechanical systems design, 2nd ed., New York, 1992.
- /2/ with the generous approval of LASOS Lasertechnik GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, D-07745 Jena, Germany.
- /3/ Finite-element program: ANSYS Version 5.6.2.

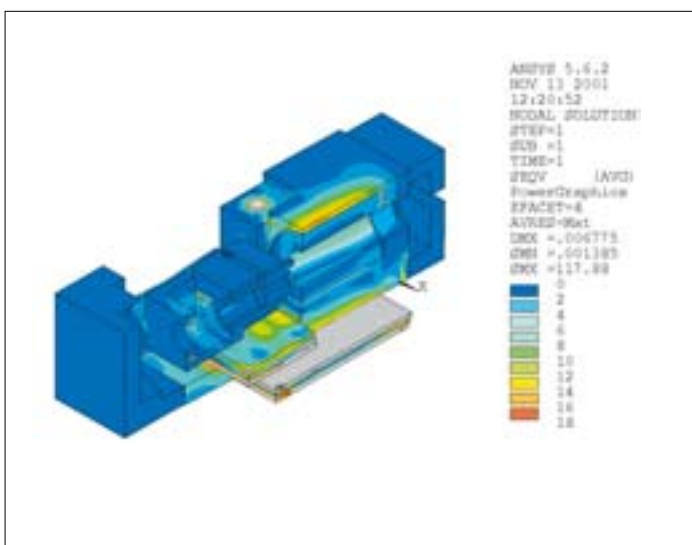


Abb. 2:
Thermisch induzierte Spannungen (Vergleichs-
spannung nach v. Mises) in der Laserbaugruppe.
Spannungen in den Grund- und Deckplatten
der Peltierelemente sind durch die Skalierung
unterdrückt.

Fig. 2:
Thermally induced stress (equivalent stress) in
the laser assembly. Stress in the cover and
base plates of the Peltier elements are suppressed by
the scaling.

Theoretische und experimentelle Untersuchungen an selbst-schmierenden Luftlagern

Stefan Risse



Stefan Risse

Einführung

Während der letzten zehn Jahre stieg der Bedarf an schnell rotierenden Präzisionslagern für opto-mechanische Anwendungen stetig. Rotierende Spiegel, Prismen und sogar komplexe optische Systeme zur Lichtführung in Belichtern, Scannern und Druckern werden mit immer höheren Drehzahlen betrieben. Gleichzeitig wachsen die Erwartungen an die Genauigkeit und Lebensdauer. Für solche feinwerktechnischen Anwendungen werden kompakte, wartungsfreie Lagersysteme mit axialer und radialer Stabilität benötigt. Häufig sind nicht Lager mit maximaler Tragfähigkeit und Steifigkeit, sondern optimierte Lager mit angepassten Lagereigenschaften das Entwicklungsziel. Am Fraunhofer-Institut entwickeln wir Luftlager nach dem doppel-sphärischen Lagerprinzip. Die Merkmale – konstruktiv nicht überbestimmtes Prinzip, Präzision, geringer Montageaufwand und moderate Kosten – sind geeignet, Anwendungen in der Industrie zu erschließen. Im Folgenden werden wir neueste theoretische und praktische Resultate von selbst-schmierenden Luftlagern vorstellen.

Das doppel-sphärische Lagerprinzip

Bei einem doppel-sphärischen Lager stehen sich zwei Kalottenpaare gegenüber. Jedes Paar besteht aus einer rotierenden und einer stehenden Lagerfläche. Der Rotor wird im Umgriff aufgenommen. Hierzu sind seine Stirnflächen als Lagerschale ausgebildet. Die beiden anderen Lagerschalen sind starr am Gehäuse befestigt. Der Rotor kann bikonkav oder bikonvex aufgebaut sein (Abb. 1). Der Abstand der Kugelmittelpunkte der Lagerschalen bestimmt die Kippsteifigkeit des Lagers. Vorteilhaft für den Betrieb ist die Selbstzentrierung des Rotors. Die Rotationsachse wird über die Kugelmittelpunkte vorgegeben. Im Lagerspalt, zwischen den sphärischen Lagerschalen, muss sich zur Reduzierung der Reibung ein tragfähiges Gaspolster aufbauen.

Der Druckaufbau erfolgt während der Rotation von selbst. Hierzu wird je eine der Lageroberflächen mit mehreren spiralförmigen Strukturen ausgeführt (Abb. 2). Hiervon ist der Name „Spiralrillenlager“ /1/ abgeleitet.

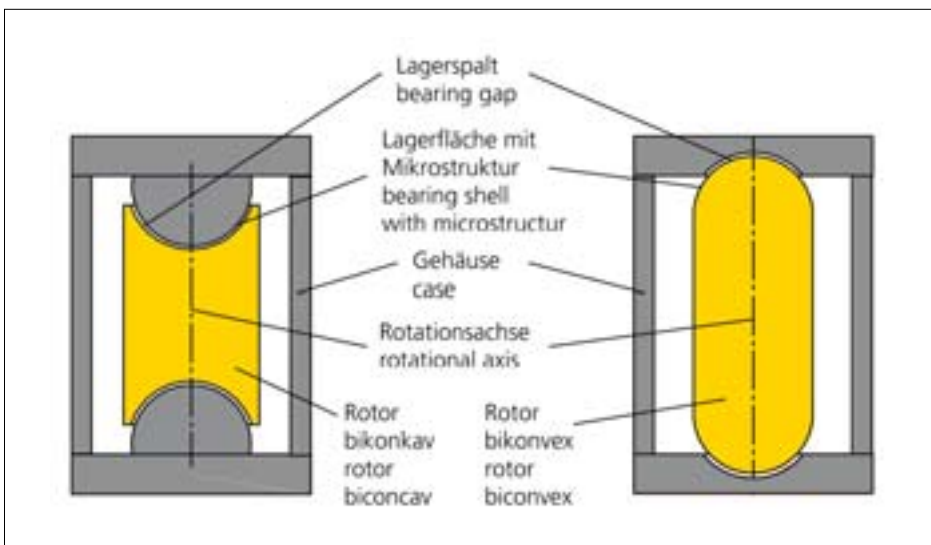


Abb. 1: Design-Prinzip des doppel-sphärischen Lagers.

Fig. 1: Principle design of double spherical bearing.

Theoretical and experimental investigations into self-acting air bearings

Stefan Risse

Introduction

Over the last decade, air bearings have become more and more important for high speed opto-mechanical applications. Rotating mirrors, prisms and even complex optical systems for the guiding of light inside illuminating, scanning or printing devices are operated at increasingly higher rotational speeds. At the same time, demands on accuracy and durability have greatly increased. For optical applications in precision engineering, maintenance-free bearing systems with high axial and radial stability with a compact design are required. The objective is often not to develop bearings with maximum load-carrying capacity and stiffness, but to develop optimized bearings with specifically adapted properties. At the Fraunhofer Institute (IOF), air bearings based on the principle of double hemispherical design are being developed. The main features are modeled according to the remarkably simple principles, high accuracy, minor assembly effort and low cost, and should serve to open up new industrial applications. The following is a presentation of the latest theoretical and practical results from investigations into self-acting air bearings.

The double spherical bearing principle

A double spherical bearing consists of two pairs of adjacent spherical surfaces. The surfaces of each pair form a rotating and a stationary bearing shell, respectively. The stationary bearing shells are opposite each other, attached to a rigid case. The rotor moves on a thin film of compressed air in between the two pairs of stationary bearing shells. The rotor exhibits either bi-concavity or bi-convexity (fig. 1). The distance between the two center points of the spheres determines the toppling stiffness of the bearing. The axis connecting the center points forms the rotational axis. An additional advantage of hemispherical bearings is the effect of self-centering during rotation. In the bearing gap between the bearing shells, an air cushion is produced which reduces friction. Rotation automatically brings about self-lubrication. In order to produce this effect, the bearing surfaces are manufactured with spiral grooves (fig. 2) and are thus called spiral groove bearings [1].

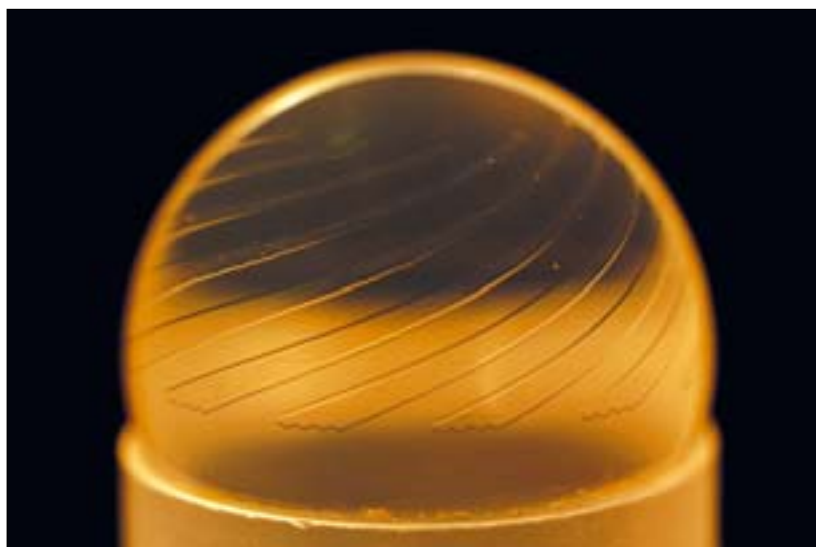


Abb. 2: Hemisphärische Lagerfläche mit Mikrostruktur.

Fig. 2: Hemispherical bearing surface with microstructure.

Jede dieser Mikrostrukturen erzeugt durch die Relativbewegung der Lagerflächen an den Strukturkanten einen Stau der Luft und damit einen Überdruck im Lager (Keileffekt).

Gleichzeitig wird der Schmierstoff entlang der Rillen gepumpt. In Richtung der Rillen liegt ein konstanter Druckgradient vor. Funktional verhindert der Überdruck den Kontakt der Lagerflächen. Der eigentliche Druck im Lagerspalt wird durch geometrische Parameter beeinflusst.

Finite-Elemente Berechnungsansatz

Ein im IOF aufgestellter Berechnungsansatz zur Bestimmung der Druckverteilung und der Steifigkeits- und Dämpfungsmatrix von sphärischen Spirallagern basiert auf einer numerischen Finite-Elemente-Methode /2/. Dabei erfolgt die Vernetzung mit linearen Dreieckselementen auf der Lagerfläche. An den Ecken ergeben sich Knotenpunkte. Die Anordnung der Elemente stimmt mit dem Verlauf der Struktur überein. Das hat den Vorteil, dass kein Element zugleich Teil der Struktur respektive der Lagerfläche ist. Sprungstellen entfallen somit. Jedes Finite-Element erhält eine definierte Zuweisung des vorliegenden Spaltwertes. Durch das Aufstellen von Annahmen kann das näherungsweise Lösen der REYNOLDS'schen Differentialgleichung für jedes Finite-Element im definierten Bereich erfolgen /2/, /3/. Die Berechnung geht von einem offenen Rand aus, d. h. eine Zirkulation des Schmierstoffs am Rand wird beachtet.

Im Ergebnis liegt die Druckverteilung über den Knotenpunkten vor. Der Vorteil dieser Lösung ist eine strenge Anwendung der aerodynamischen Zusammenhänge im physikalischen Sinn für jedes einzelne Finite-Element. Mit steigender Elementzahl erhöht sich die Genauigkeit des Berechnungsverfahrens. Die Steifigkeit des Lagers verhält sich proportional zur Geschwindigkeit des Rotors. Die Dämpfung ist unabhängig von der Geschwindigkeit. Der Lagerspalt beeinflusst die Steifigkeit und die Dämpfung des Lagers. Die Abhängigkeit ist nicht linear. Der Abstand der Lagerflächen, bestehend aus Spaltgröße, Strukturtiefe und Dezentrierung, geht mit der dritten Potenz in die Berechnung der Steifigkeit und der Dämpfung ein. Für ein Testlager mit einem Radius von 6,925 mm, einer Strukturzahl von 12 und einer Drehfrequenz von 400 Hz ergibt sich im konzentrischen Fall eine „napfkuchenförmige“ Druckverteilung (Abb. 3). Der Druck steigt mit der Strukturlänge. Im zentralen unstrukturierten Bereich ist der Druck konstant. Für den dezentrierten Fall ist die Druckverteilung unsymmetrisch (Abb. 4).

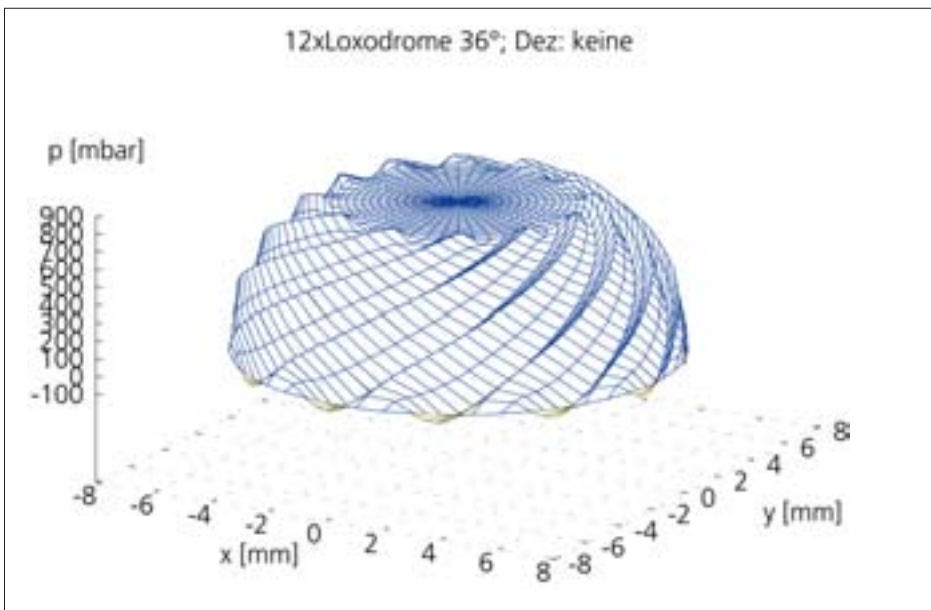


Abb. 3:
Druckverteilung im konzentrischen Fall.

Fig. 3:
Pressure distribution in concentric case.

Each of these micropatterns generates an impact pressure and contributes to overpressure in the bearing gap (wedge effect) when the bearing surfaces move in relation to each other. At the same time air is pumped along the grooves into the center of the bearing.

A constant gradient of pressure builds up in the direction of the grooves. The overpressure prevents the bearing surfaces from coming into contact. The pressure obtained in the bearing gap depends on a number of geometrical parameters relating to the bearing.

Finite-Element Calculation

A calculation method was developed at the IOF to determine the pressure distribution and stiffness as well as the damping matrices of spherical spiral groove bearings. The calculation is based on a numerical model using the Finite Element Method [2]. Meshing is obtained with linear triangular elements on the bearing surface. Nodal points are located at the corners. The arrangement of the triangular elements is consistent with the position of the structures. This has the advantage that no element is simultaneously part of the structure and of the bearing surface. Consequently, points of discontinuity are circumvented. Every finite element receives a defined value which corresponds to the current gap. Having made certain assumptions [2], [3], an approximate solution to the REYNOLDS's differential equation can be obtained for every finite element in the defined field.

The calculation assumes an open edge, i. e. the circulation of the lubricant at the edge is taken into consideration. As a result, the pressure distribution over the nodal points is obtained. The advantage of this solution is that aerodynamic principles are strictly applied in a physical sense for every finite element. The accuracy of the procedure increases with the number of elements involved. The stiffness of the bearing scales linearly with the velocity of the rotor. The damping of the rotor is independent of the velocity. The bearing gap influences the stiffness and the damping of the bearing. This dependency is nonlinear: the gap parameter cubed (distance of bearing shells, depth of microstructure, decentration) influences the stiffness and the damping. In concentric cases, a pressure distribution as displayed in fig. 3 is obtained for test bearings with a frequency of 400 Hz, a radius of 6.925 mm and 12 structures. The pressure increases with the structure length and is constant in the central non-structured field. In radial decentric cases, the pressure distribution is non-symmetrical (fig. 4).

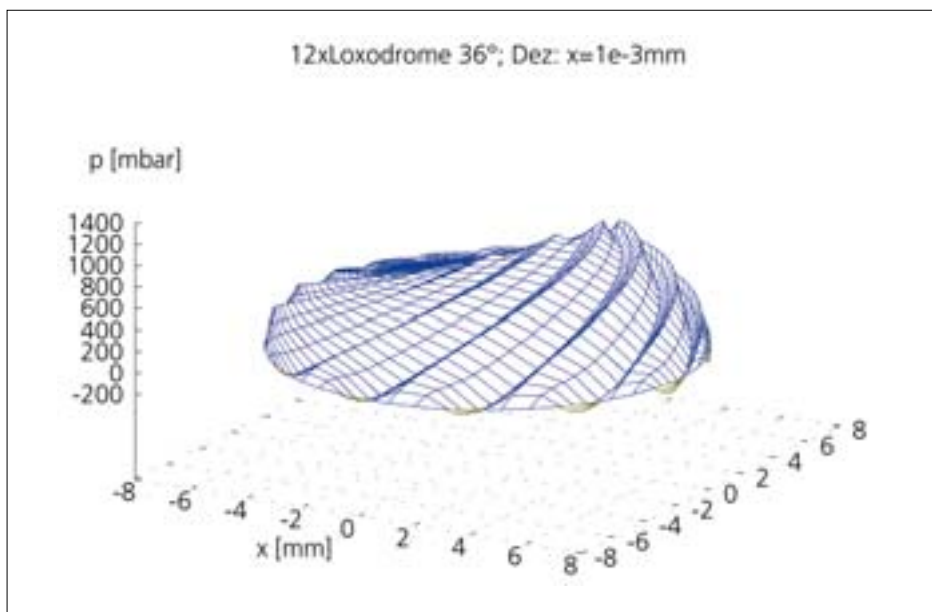


Abb. 4: Druckverteilung im radial dezentrierten Fall.

Fig. 4: Pressure distribution in radial decentric case.

Experimentelle Untersuchungen

Die experimentellen Untersuchungen erfolgten an doppelsphärischen Lagern. Als Kriterium zur Bestimmung der Eigenschaften und zur Überprüfung der Korrelation zu den theoretischen Ergebnissen wurde der Druck im Zentrum jeder Lagerfläche ermittelt. Vor Beginn jeder Messung wurde der Wuchtzustand des Rotors überprüft. Eine Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten von bis zu $\pm 5\%$ trat auf (Abb. 5). Weiterhin konnten die Ergebnisse mit der Literatur /4/, /5/ verglichen werden (Abb. 5). Qualitativ werden die Ergebnisse sehr gut bestätigt. Absolut sind die Resultate bis zu 20 % kleiner als in der Literatur, mit gemitteltem Druck und unendlicher Strukturanzahl. Die Abweichungen sind im Ansatz beider Berechnungsverfahren (Näherungslösung bzw. Finite-Elemente-Methode) und im Einfluss des Randbereiches begründet.

Zusammenfassung

Unter Beachtung der wachsenden Anforderungen der Feinwerktechnik und der Mikrosystemtechnik sind optimierte Lager bezüglich der Eigenschaften und der Materialien für hoch spezialisierte Anwendungen notwendig. Die durchgeführten theoretischen und experimentellen Untersuchungen leisten hier einen Beitrag. Das Prinzip des doppelsphärischen Lagers ist geeignet, um axiale und radiale Belastungen aufzunehmen und garantiert Präzision bei hohen Drehzahlen. Dabei wird die höchste Steifigkeit mit hemisphärischen Lagerschalen erzielt. Gleichzeitig steigt der Fertigungsaufwand mit zunehmender Krümmung der Lagerfläche. Tragkraft und Steifigkeit eines aerodynamischen Lagers sind durch die Lagergeometrie begrenzt. Das gilt besonders für die radialen Eigenschaften.

Typische Werte eines doppelsphärischen aerodynamischen Lagers sind kleiner 20 N für die Tragfähigkeit und kleiner $10 \text{ N}/\mu\text{m}$ für die Steifigkeit. Am IOF werden neue Luftlager-Applikationen z. B. als Scanner entwickelt (Abb. 6).

Literatur:

- /1/ Muijderland, E. A.: „Spiral Groove Bearings“, Thesis PhD; TU Delft (1966).
- /2/ Risse, S.: „Ein Beitrag zur Entwicklung eines doppelsphärischen Luftlagers aus Glaskeramik“, Dissertation TU Ilmenau (2001).
- /3/ Lang, O. R., Steinhilper, W.: „Gleitlager“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York (1978); ISBN 3-540-08678-1.
- /4/ Bootsma, J.: „Spherical and Conical Spiral Groove Bearings – Part I and II“, Trans. ASME Journal of Lubrication Technology, Series F, 97,2 April 1975, p. 236–249.
- /5/ Muijderland, E. A.: „Luftgeschmierte Spirallager“, Kapitel 9 aus Bartz, W. J.; Luftlagerungen. 2. Auflage; Expert-Verlag; Esslingen; (1993); ISBN 3-8169-0992-2.

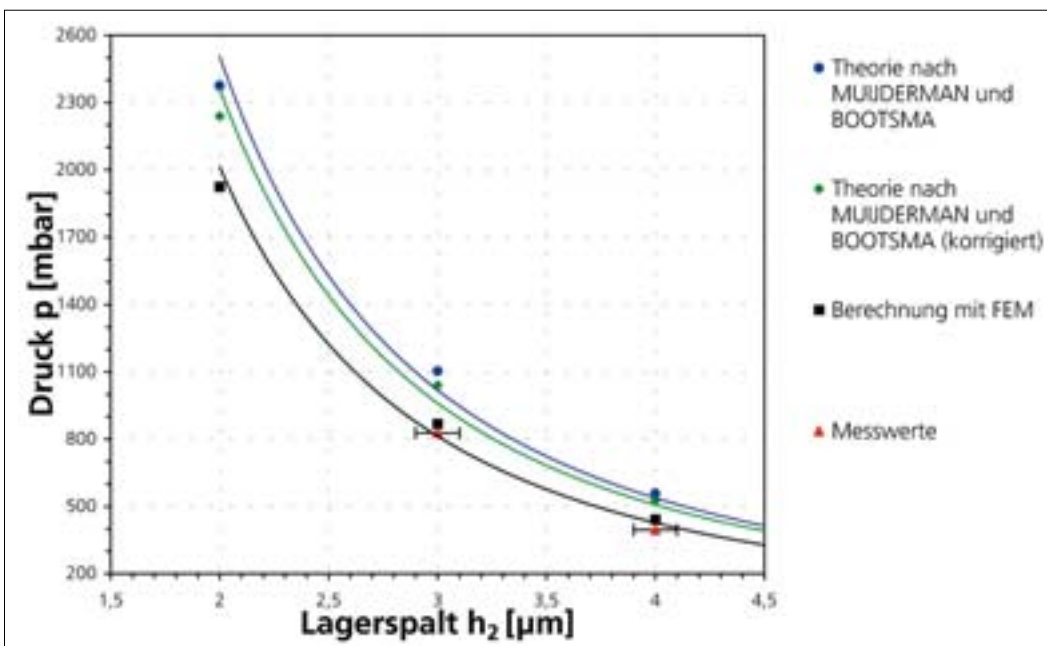


Abb. 5:
Vergleich der Ergebnisse:
Druck über dem Lagerspalt.

Fig. 5:
Comparison of results:
pressure via bearing gap.

Experimental investigations

Experimental investigations were carried out with a double spherical bearing. The pressure in the center of each bearing surface was determined as a criterion for the definition of the properties and for comparison with the theoretical results. The accurate balancing of the rotor was verified before starting these measurements. Approximately $\pm 5\%$ of deviation occurred between the computed and measured values (fig. 5). Furthermore, the results compare qualitatively well with previous scientific work /4/, /5/ (fig. 5). In absolute figures, the results concerning average pressure at infinite structure number are up to 20 % less than in previous articles. These deviations are due to the differences in mathematical approach for both calculation methods (analytical approximation versus FEM) and relate to specific edge effects.

Summary

In light of the increasing demands on precision engineering and microsystem technologies, bearings need to be optimized for highly specialized applications in relation to their characteristics and to the materials used. The theoretical and experimental results described above contribute to this objective. The principle of double spherical bearing is suitable for carrying axial and radial loads and provides guaranteed accuracy at a high speed. The large degree of stiffness is achieved by using hemispherical bearing surfaces. However, the more rounded the surface of the bearings, the greater the manufacturing effort involved. The load-carrying capacity and stiffness of self-acting bearings are limited. This applies especially to their radial properties. Figures of less than 20 N in relation to load-carrying capacity and less than 10 N/ μm for stiffness are typical for double spherical self-acting bearings. At the IOF, bearings are being developed for new applications such as scanner systems (fig. 6).

References:

- /1/ Muijderland, E. A.: „Spiral Groove Bearings“, Thesis PhD, TU Delft (1966).
- /2/ Risse, S.: „Ein Beitrag zur Entwicklung eines doppelsphärischen Luftlagers aus Glaskeramik“, Dissertation TU Ilmenau (2001).
- /3/ Lang, O. R., Steinhilper, W.: „Gleitlager“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York (1978), ISBN 3-540-08678-1.
- /4/ Bootsma, J.: „Spherical and Conical Spiral Groove Bearings“ – Part I and II. Trans, ASME Journal of Lubrication Technology, Series F, 97, 2 April 1975, p. 236–249.
- /5/ Muijderland, E. A.: „Luftgeschmierte Spirallinienlager“, Kapitel 9 aus Bartz, W. J., Luftlagerungen. 2. Auflage, Expert-Verlag, Esslingen, (1993), ISBN 3-8169-0992-2.

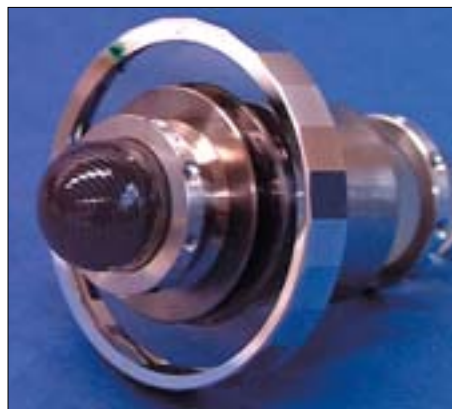


Abb. 6:
Rotor mit Polygonspiegel für
Scanner-Anwendungen.

Fig. 6:
Rotor with polygonal mirror for
scanning applications.

Peter Kühmstedt, Jörg Gerber und Gunther Notni



Peter Kühmstedt

1. Einführung

In der Qualitätskontrolle sowohl im Labor als auch direkt in der Fertigung nimmt der Einsatz der optischen 3-D-Messtechnik ständig zu. Damit verbunden ist die zunehmende Forderung, den Nachweis der Prozessfähigkeit solcher Systeme beim Einsatz in der Qualitätskontrolle zu erbringen. Hierzu ist das Erreichen entsprechender Messmittelfähigkeitsindizes nachzuweisen. Dabei sind die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Industrieunternehmen zu berücksichtigen /1/. Anhand der Untersuchung bei der Bestimmung von Stichmaßen an einem Messobjekt aus der industriellen Praxis wird gezeigt, welche Messmittelfähigkeitsindizes erreicht werden können.

2. Vermessung von Biegeteilen mittels Streifenprojektion

Am Fraunhofer IOF wurden in den vergangenen Jahren unterschiedliche optische 3-D-Messsysteme auf der Basis von Streifenprojektionstechniken entwickelt /2/, /3/. Einige davon sind in

industriellen Anwendungen im Einsatz. Hierzu zählt das 3-D-Digitalisiersystem „HSDIG“, das zur automatisierten Rundumvermessung kleinerer Objekte entwickelt wurde, siehe Abb. 1, /4/. Dieses ist durch folgende Kenngrößen charakterisiert:

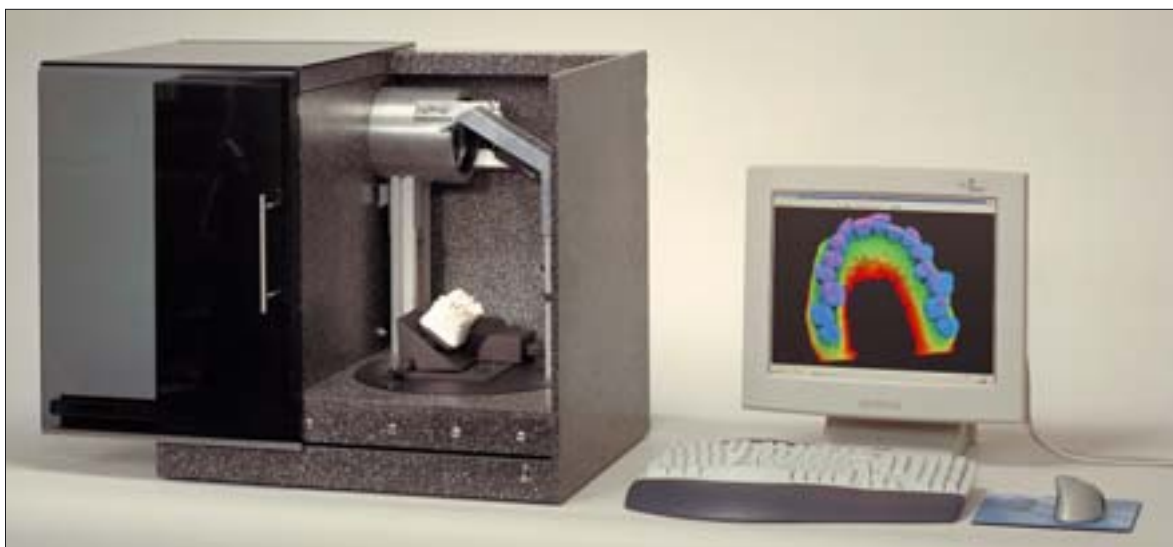
Tab. 1:
Parameter des 3-D-Messsystems.

Messzeit	30 sec .. 4 min
Anzahl der Teilansichten	8 .. 16
Anzahl der Messpunkte	3.000.000
Anzahl der Bewegungsachsen	2
Messvolumen	Ø 90 mm Höhe 25 mm
Typische Messunsicherheit (σ)	< 16 μm

Eine typische mit diesem Messsystem zu realisierende Prüfaufgabe bestand in der prozessfähigen Ermittlung sowohl von Winkeln im Objekt als auch Durchmessern von Bohrungen (hier Stanzlöcher). Die Abb. 2 zeigt ein Foto des Messobjektes und die Abb. 3 zeigt die resultierende Punktwolke einer Messung.

Abb. 1:
3-D-Digitalisierer „HS-DIG“.

Fig. 1:
3-D digitizer „HS-DIG“.



Measurement capability of an optical 3-D measurement

Peter Kühmstedt, Jörg Gerber und Gunther Notni

1. Introduction

3-D measurement methods are being used increasingly in quality control in the laboratory as well as in production. Consequently, there is an increasing demand for proof that such systems can be integrated into processes. It is thus necessary to prove that appropriate measurement capability indices can be attained. In this regard, the particular demands of the individual industrial companies need to be taken into consideration /1/. The measurement capability indices that can be reached in practice will be shown using the results gained from geometric features measured on an industrial object.

2. Measurement of bent parts with the help of fringe projection

For several years, IOF has been developing different 3-D measurement methods based on fringe projection. Some of these have subsequently gone into industrial application, including the „HSDIG“ 3-D digital system, which

was produced for the automatic all-around measurement of small objects (see fig. 1, /4/). The system features the following characteristics:

Tab. 1:
Parameters of the 3-D measurement system.

Time of measurement	30 sec .. 4 min
Number of views/patches	8 .. 16
Number of measurement points	3 000 000
Number of rotational drives	2
Measurement volume	Ø 90 mm, High 25 mm
Typical measurement uncertainty (σ)	< 16 μ m

One typical task for which this system can be used is the determination of angles in objects as well as the diameter of drill holes. Fig. 2 shows a photograph of the object to be measured and fig. 3 shows the resulting point cloud for one measurement



Jörg Gerber



Gunther Notni

Abb. 2:
Foto des Biegeteils.

Fig. 2:
Photo of the object.



Abb. 3:
Messergebnis – Punktwolke eines Biegeteils, Farbkodierung der Höhe.

Fig. 3:
Point cloud of a metallic probe, colour indicate high.



3. Messmittelfähigkeitsindizes – Toleranzen

Beim Einsatz von Messmitteln in der Qualitätssicherung ist es erforderlich, ausreichend kleine Standardabweichungen bei den Messungen zu realisieren, um die geforderten Toleranzen der zu messenden Merkmale des Messobjektes zu erreichen. Dabei gibt es bei den Industrieunternehmen unterschiedliche Definitionen der nachzuweisenden Fähigkeitsindizes. Für unsere Untersuchungen haben wir uns an den Anforderungen der Firma Bosch orientiert /5/. Dabei wurden folgende Fähigkeitsindizes ermittelt:

$$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_w} \quad C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x} - x_r|}{3 \cdot s_w}$$

T – Toleranz, diese wird vom Anwender vorgegeben

s_w – Standardabweichung bei der Messung

Um eine Einstufung als „fähig“ zu erlangen ist gefordert, dass für das Messmittel sowohl $C_g \geq 1,33$ als auch $C_{gk} \geq 1,33$ erfüllt wird. Das führt direkt zu der zu erfüllenden Relation: $T \geq 40 s_w$. Weiter werden toleranzbezogene Gesamtstrebereiche (siehe Tab. 2) ermittelt und die Anforderung gestellt $S_M \% \leq 12 \%$. Die Bewertung dieser Anforderung zeigt, dass mit den Standardabweichungen bei der Messung im Bereich von 1–10 μm , wie sie für optische Systeme typisch sind, eine Toleranz im Bereich von 40 μm bis 400 μm zu realisieren ist (siehe Tab. 2).

Kritisch anzumerken ist, dass insbesondere bei Maschinenbauteilen häufig die Einhaltung noch kleinerer Toleranzen gefordert wird. Dies bedeutet sowohl für taktil als auch optisch antastende Verfahren bisher kaum umsetzbare Anforderungen an die Einhaltung der Fähigkeitsindizes und muss deshalb kritisch hinterfragt werden (siehe auch /6/).

4. Messresultate

Es wurden zwei Untersuchungsverfahren eingesetzt.

Ziel von Verfahren 1:

Prüfung der Fähigkeit eines Messprozesses bzgl. Streuung und Lage der Messwerte im Toleranzfeld eines Merkmals – durchzuführen an einem kalibrierten Normal (hier ein kalibriertes Prüfprisma).

Ziel von Verfahren 2:

Prüfung der Fähigkeit des Messprozesses bzgl. des Streuverhaltens der Messwerte über den Arbeitsbereich der Messeinrichtung mit Einfluss des Messobjektes – durchzuführen an 25 Serienteilen. Hierzu wurden 25 Prüflinge jeweils 2 x gemessen, so dass insgesamt 50 Messungen vorlagen.

Für das Verfahren 1 wurden Längen ausgewertet und für Verfahren 2 sowohl Durchmesser (entspricht einer Länge) als auch ein Winkel am Prüfobjekt. In Abb. 4 sind die jeweiligen Merkmale in der Messpunktwolke und der CAD-Auswertesoftware markiert. Dabei konnten folgende Resultate erreicht werden:

Tab. 2:
Zusammenhang von vorgegebener Toleranz und durch das Messsystem zu erfüllender Standardabweichung.

vorgegebene Toleranz T	zu erfüllende Standardabweichung s_w
40 μm	1 μm
80 μm	2 μm
400 μm	10 μm

3. Measurement capability indices – tolerances

When using measuring methods in quality control, it is necessary to realize small standard deviations in order to reach the required tolerances of the characteristics which are to be measured. Industrial companies have varying definitions of the capability indices that need to be reached. Our investigation is based on the requirements presented by the BOSCH company /5/.

The following capability indices were ascertained:

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_w} \quad c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |x - x_r|}{3 \cdot s_w}$$

- T – tolerance
(determined by the user)
- s_w – standard deviation
of the measurement

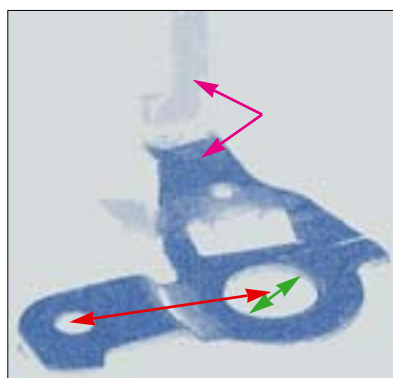
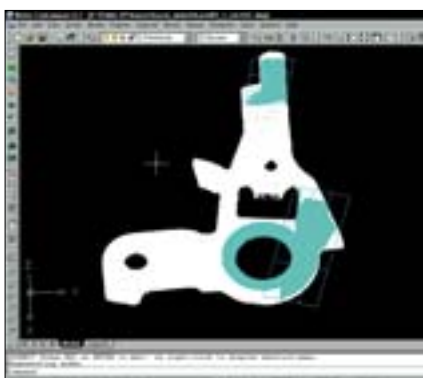
For a classification to be judged as „capable“ the measurement method must fulfill $c_g > 1.33$ as well as $c_{gk} > 1.33$, leading to the following relation: $T > 40 s_w$. Furthermore, the spread area as related to tolerance (see table 2) must be calculated and tested with the following requirement: $S_M \% \leq 12 \%$.

Tab. 2:
The correlation between the stipulated tolerance and the required standard deviation of the measurement system.

Stipulated tolerance T	Required standard deviation s_w
40 μm	1 μm
80 μm	2 μm
400 μm	10 μm

Abb. 4:
Darstellung der auszuwertenden Formmerkmale (Winkel und Länge sowie Durchmesser).

Fig. 4:
Indication of the geometric Elements, to analys (angle und diameter).



The assessment shows that a measurement accuracy (see tab. 2) of between 1 – 10 μm has a tolerance of between 40 and 400 μm , as is typical for optical systems.

One criticism of this measurement system is that mechanical engineering components often demand even smaller tolerances. This means that present demands are almost impossible to reach with tactile as well as optical methods. In the light of this, the tolerance requirements should be critically reviewed /6/.

4. Measurement results

We used two methods of investigation:

Objective of procedure 1:

to test the ability of measurement processes in regard to the scattering and the position of measurement results within the tolerance field of a certain characteristic. This is realized with a calibration object.

Objective of procedure 2:

to test the ability of measurement processes in regard to the scattering of measurement results. This is realized with 25 serial components. In this process, we measured 25 candidates twice for a total of 50 measurement results.

In procedure 1 we evaluated the length and in procedure 2 the diameter as well as an angle of the test sample. The characteristics in fig. 4 are marked on the point clouds and on the CAD-evaluation software.

Verfahren 1 – Längenmessung

vorgegebene Toleranz T: 0,1 mm;
richtiger Wert $x_r = 12,445$ mm;
Mittelwert $\bar{x} = 12,444$ mm;
Standardabweichung $s_w = 0,00099$ mm

Daraus ergeben sich die Werte der
Fähigkeitsindizes zu: $c_g = 3,37$ und
 $c_{gk} = 3,03$. Damit konnte die geforderte
Messmittelfähigkeit für die vorgegebene
Toleranz erreicht werden.

Verfahren 2 – Längen- und Winkelmessung

vorgegebene Toleranzen T:
Längen 0,1 mm,
Winkel 1°

Somit liegt der Wert für den Gesamt-
streubereich (toleranzbezogen) wie ver-
langt unterhalb der geforderten 12 %.

Tab. 3:
Messergebnisse des 3-D-Messsystems.

Messgröße	Standardabweichung der Messwerte	Standardabweichung des Messprozesses	Gesamtstreubereich des Messprozesses	Gesamtstreubereich toleranzbezogen
	$s_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{24} \cdot \sum_{i=1}^{25} (x_{\Delta i} - \bar{x}_{\Delta})^2}$	$s_M = \frac{s_{\Delta}}{\sqrt{2}}$	$S_M = 6 \cdot s_M$	$S_M \% = \frac{s_M}{T} \cdot 100 \%$
Durchmesser	0,9 μm	0,63 μm	3,8 μm	3,8 %
Winkel	0,0052 °	0,0036 °	0,022 °	2,2 %

5. Zusammenfassung

Mit den vorliegenden Ergebnissen konnte die Messmittelfähigkeit des Messsystems HSDIG für die Kenngrößen Durchmesser und Winkel nachgewiesen werden. Die Bewertung der Messergebnisse an Stanz- und Biegeteilen erfordert eine sorgfältige Festlegung der auszuwertenden Teilbereiche und Merkmale der Objekt-oberfläche. Die Anwendbarkeit der Messmittelfähigkeitsindizes für die Bewertung von Messmitteln bei Toleranzen unterhalb von 40 μm ist kritisch zu sehen, da dann die Reproduzierbarkeit und absolute Genauigkeit der Oberflächenmessung kaum wesentlich unterschritten werden kann, wie in /6/ ausdrücklich betont wird.

Literatur:

- /1/ Pfeifer T.: „Fertigungsmesstechnik“, Oldenbourg 1998.
- /2/ Kowarschik R., Kühmstedt P., Gerber J., Schreiber W., Notni G.: „Adaptive optical three-dimensional measurement with structured light“, Optical Engineering 39 (2000) S. 150–158.
- /3/ Notni G.: „360-deg shape measurement with fringe projection – calibration and application“, Proc. of Fringe '01, (Ed. W. Jüptner), Elsevier Verlag (2001) S. 311–323.
- /4/ Kühmstedt P., Notni G., Hintersehr J., Gerber J.: „CAD-CAM-System for dental purpose – an industrial application“, Proc. of Fringe '01, (Ed. W. Jüptner), Elsevier Verlag (2001) S. 667–672.
- /5/ Firma Bosch, internes Material
- /6/ Heldt E., Meyer M., Weitlauff F.: „Toleranzen zu klein?“, QZ Messen und Prüfen, Carl Hanser Verlag, München, 46 (2001), S. 636–640.

Results:
Procedure 1 – length measurement

Stipulated tolerance: T: 0.1 mm;
Correct value $x_r = 12.445$ mm;
average $\bar{x} = 12.444$ mm;
standard deviation $s_w = 0.00099$ mm
The capability indices thus come to:
 $c_g = 3.37$ and $c_{gk} = 3.03$.

The required measurement capability with the stipulated tolerance could therefore be reached.

Procedure 2 – length- and angle-measurement

Stipulated tolerances t:
length 0.1 mm,
angle 1°

It was therefore possible to reach the required low levels for the entire spread area (tolerance related).

Tab. 3:
Measurement results.

Measured feature	Standard deviation measurement process	Standard deviation measurement process	Entire spread area tolerance related	Entire spread area
	$s_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{24} \cdot \sum_{i=1}^{25} (x_{\Delta i} - \bar{x}_{\Delta})^2}$	$S_M = \frac{s_{\Delta}}{\sqrt{2}}$	$S_M = 6 \cdot s_M$	$S_M \% = \frac{S_M}{T} \cdot 100 \%$
Diameter	0.9 μm	0.63 μm	3.8 μm	3.8 %
Angle	0.0052 °	0.0036 °	0.022 °	2.2 %

5. Summary

The results presented here demonstrate the measurement capability of the „HSDIG“ measurement system in relation to diameter and angle. The assessment of the measurement results for punching articles and bent parts requires the precise determination of the parts to be evaluated and their surface characteristics. The application of the measurement system for the assessment of measurement tools with tolerances below 40 μm must be viewed critically, as the repeatability and the absolute accuracy of the surface measurements cannot be maintained at that level, as strongly emphasized in /6/.

Literature:

- /1/ Pfeifer T.: „Fertigungsmesstechnik“, Oldenbourg 1998.
- /2/ Kowarschik R., Kühmstedt P., Gerber J., Schreiber W., Notni G.: „Adaptive optical three-dimensional measurement with structured light“ Optical Engineering 39 (2000) pp.150–158.
- /3/ Notni G.: „360-deg shape measurement with fringe projection – calibration and application“, Proc. of Fringe’01, (Ed. W. Jüptner), Elsevier Verlag (2001) pp. 311–323.
- /4/ Kühmstedt P., Notni G., Hintersehr J., Gerber J.: „CAD-CAM-System for dental purpose – an industrial application“, Proc. of Fringe’01, (Ed. W. Jüptner), Elsevier Verlag (2001) pp. 667–672.
- /5/ Firma Bosch, internal material.
- /6/ Heldt E., Meyer M., Weitlauff F.: „Toleranzen zu klein?“, QZ Messen und Prüfen, Carl Hanser Verlag, München, 46 (2001), pp. 636–640.

Digitale Spaltlampe unter Anwendung von Mikrodisplays

Stefan Riehemann, Martin Palme, Christoph Damm, Ingo Koschmieder*, Gunther Notni

* Carl Zeiss Jena GmbH, GB Ophthalmologie (jetzt: Carl Zeiss Meditec AG, Jena)



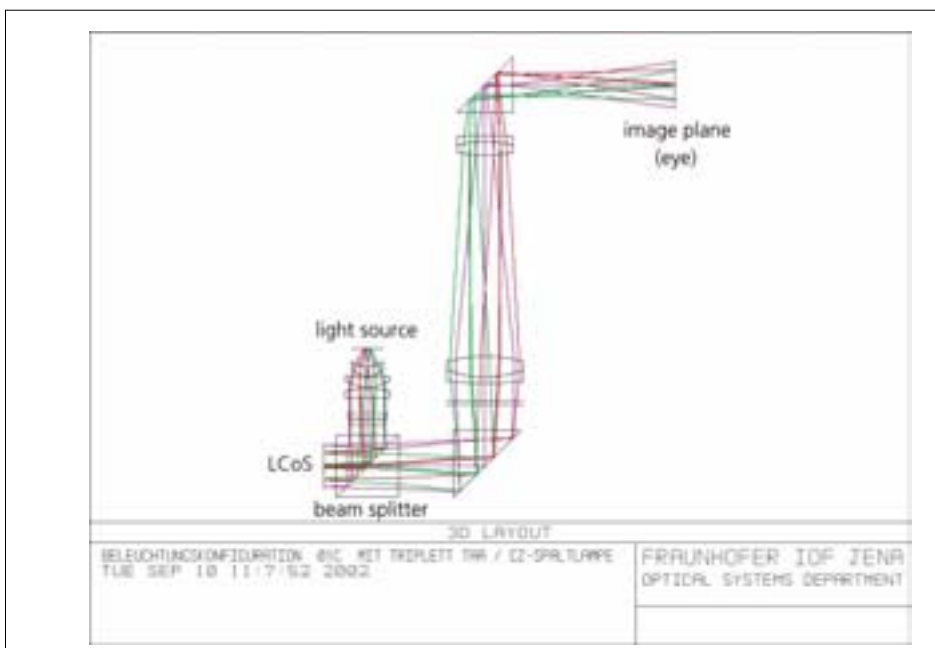
Stefan Riehemann

Einleitung

Die Haupteinsatzgebiete von Mikrodisplays auf der Basis von Mikrospiegelarrays (DMD) und reflektierenden Flüssigkristallarrays (LCoS) sind bisher Multimediaprojektoren, Rückprojektionsfernsehgeräte und Head Mounted Displays. Aber auch alternative Anwendungsgebiete wie Projektoren für die optische Messtechnik oder lithographische Belichtungssysteme werden auf Grund der interessanten Möglichkeiten dieser Mikrodisplays immer weiter erschlossen. So wurde in einem Projekt in Zusammenarbeit mit der Carl Zeiss Jena GmbH die Einsatzmöglichkeit von Mikrodisplays in einer Spaltlampe untersucht /1/. Durch die Projektion beliebiger Muster auf das Auge kann sich der Einsatzbereich der Spaltlampe als grundlegendes ophthalmologisches Untersuchungsgerät wesentlich erweitern, selbst komplexe Messaufgaben am Auge kann eine digital projizierende Spaltlampe (DSL) zukünftig übernehmen.

Abb. 1: Beleuchtungsstrahlengang der digitalen Spaltlampe mit LCoS-Display.

Fig. 1: Illumination ray trace of the digital slit-lamp with an LCoS-Display.



Modifizierungen der Spaltlampe für die Digitalprojektion

Eine Modellierung und Optimierung des optischen Strahlengangs des Beleuchtungskanal einer Spaltlampe erfolgte mit entsprechenden Optikdesign-Programmen.

Ein mechanisches Konzept für den optischen Übertragungskanal wurde unter Berücksichtigung der geometrischen Randbedingungen der Integrierbarkeit eines LCoS-Displays in eine konventionelle Spaltlampe erstellt. Konstruktion und Aufbau zweier Demonstratoren erfolgten nach einem modularen Design, um schnell auf neue Anforderungen und Marktsituationen reagieren und entsprechend einzelne Baugruppen austauschen zu können /2/.

Der Einsatz eines Mikrodisplays (hier eines LCoS) anstelle des ausgeleuchteten Spaltbereiches schafft spezielle Randbedingungen und fordert einen neuen Ansatz für die Beleuchtungskonfiguration. Das optische Design hat dabei die beschränkten räumlichen Dimensionen und den beizubehaltenden Abbildungsstrahlengang des vorgegebenen Spaltlampensystems zu berücksichtigen. Abb. 1 zeigt die Beleuchtungsoptik mit dem Mikrodisplay und dem polarisierenden Strahlteilerwürfel (links unten) und der Abbildungseinheit (Mitte). Das neue, digitale Beleuchtungssystem wurde in eine konventionelle Spaltlampe integriert und in Betrieb genommen. Den endgültigen Montagezustand der Demonstratoren zeigen die Abb. 2 und 3. Für die Inbetriebnahme wurden Muster für erweiterte Spaltlampenanwendungen entworfen und generiert, die notwendigen Softwaretools zur Digitalprojektion wurden erstellt und in die Gerätesoftware implementiert.

Digital slit-lamps using microdisplays

Stefan Riehemann, Martin Palme, Christoph Damm,
Ingo Koschmieder*, Gunther Notni

* Carl Zeiss Jena GmbH, GB Ophthalmologie (now: Carl Zeiss Meditec AG, Jena)

Introduction

Microdisplays such as digital micro mirror devices (DMD) and reflective liquid crystal displays (LCoS) have hitherto mainly been used in multimedia projectors, rear projection TV sets, and head mounted displays. Due to the interesting potential these displays offer, more and more alternative applications are opening up, such as lithographic illumination systems or projectors for optical metrology. The employment of microdisplays in slit-lamps was investigated in a joint project with Carl Zeiss Jena GmbH /1/. By projecting freely arrangeable patterns onto the eye, the application field of the slit-lamp could be extended substantially as a basic ophthalmological instrument. Even complex measurements of the eye's topography could be carried out using digital slit-lamps (DSL) in the future.

Slit-lamp modifications for digital projection

By utilizing appropriate optical design software, the illumination ray trace of the DSL was simulated and optimized. Taking into consideration the geometrical restrictions for the integration of an LCoS imager, a mechanical concept for the complete optical system was formulated. The construction and assembly of two prototypes followed a modular design /2/ in order to enable single components to be exchanged quickly in reaction to market developments such as the introduction of new standards or the development of new components.

The employment of a microdisplay (in this case an LCoS) instead of a mechanical slit results in special optical requirements that have to be fulfilled by a new illumination system for the slit-lamp. The optical design has to take into consideration the restricted mechanical space in the slit-lamp as well as the imaging optics which had to be taken from the conventional slit-lamp. The resulting illumination system with a microdisplay, polarizing beam splitter (bottom left) and imaging optics (center) is plotted in fig. 1. The digital illumination unit was integrated into a conventional slit-lamp and put into operation. The resulting prototype can be seen in figs. 2 and 3. The software tools necessary for the DSL were generated and different illumination patterns for slit-lamp applications were designed and integrated into the software.



Martin Palme



Christoph Damm



Ingo Koschmieder



Gunther Notni

Abb. 2: Gesamtansicht des Demonstrators einer digitalen Spaltlampe.

Fig. 2: Total view of the prototype of the digital slit-lamp.



Abb. 3: Detailansicht der mikrodisplay-basierten Projektionseinheit der digitalen Spaltlampe (ohne Gehäuse).

Fig. 3: Detail view of the digital slit-lamp's projection unit based on microdisplays (without cover).



Digitale Spaltlampe – Erreichte Systemparameter

Die optischen Eigenschaften der DSL wurden vor den ersten Untersuchungen am Auge vermessen.

Beide Demonstratoren erreichen in der Augenebene eine Beleuchtungsstärke von 50 klux und einen Hell-Dunkel-Kontrast von $> 440 : 1$.

Durch das verbesserte optische Design der Beleuchtungseinheit konnte die Homogenität der Ausleuchtung der Augenebene gegenüber der klassischen Spaltlampe verbessert werden. Die spektrale Verteilung in der Augenebene entsprach DIN EN ISO 10939 (Untersuchungen am Auge). Die Abbildungsleistung der Projektion wird durch folgende Parameter gekennzeichnet: Schärfentiefebereich 0,14 mm, Krümmungsradius der Bildfeldwölbung 35 mm, kissenförmige Verzeichnung der Abbildung in den Randbereichen von 1,45 %. Hierbei wurde – wie schon erwähnt – das Abbildungssystem einer konventionellen Spaltlampe übernommen und nicht optimiert.

Erste Anwendungsbeispiele

Erste Untersuchungen am menschlichen Auge zeigen, dass beim Blick durch das Stereomikroskop der Kontrast für normale Spaltlampenanwendungen ausreichend ist. In den Abb. 4 bis 7 sind die Projektionen verschiedener Muster auf die Cornea und durch die Linse zu sehen.

Zur Vermeidung störender Reflexe von der Iris (siehe Abb. 4 bis 6) wird für Projektionen auf die Linse oder deren Rückfläche die Größe des projizierten Bildes an den Pupillendurchmesser angepasst (siehe Abb. 7). Bei augenärztlichen Untersuchungen besteht die Möglichkeit einer Pupillenweitung durch Mydriatika, so dass dann eine großflächigere Projektion auf die Augulinse erfolgen kann.

Zusammenfassung

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass eine digital projizierende Spaltlampe unter Verwendung reflektierender Mikrodisplays realisierbar und funktionsfähig ist. Die dazu notwendigen Technologien sind prinzipiell vorhanden. Bis zu einer serienreifen Umsetzung sind jedoch weitere technische und applikative Fragen zu lösen.

Literatur:

- /1/ Patentschrift DE 198 12 050 A1.
- /2/ Riehemann, S., Palme, M., Eichler, U., Koschmieder, I., Luther, E., Damm, C., Notni, G.: „Beleuchtungskonzepte zum Einsatz reflektierender LCoS- und DMD-Mikrodisplays am Beispiel einer digital projizierenden Spaltlampe“, Jahrestagung der DGaO 2002.

Abb. 4: Konventionelle Spaltlampenuntersuchung (sichtbar sind Cornea und Linse) mittels der DSL.

Fig. 4: Conventional slit-lamp examination (cornea and lens are visible) using the DSL.

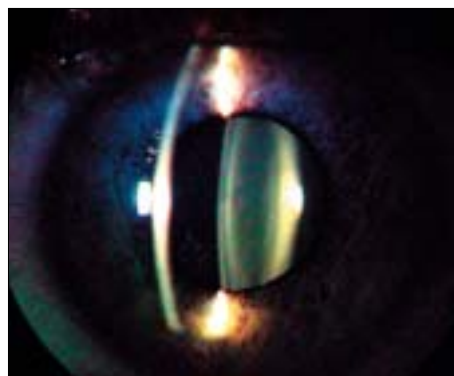
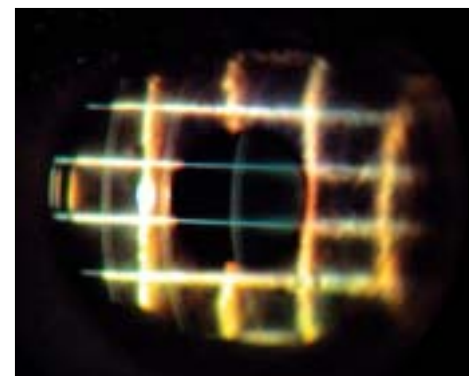


Abb. 5: Projektion eines Gitters auf die Cornea mittels der DSL.

Fig. 5: Projection of a grid onto the cornea using the DSL.



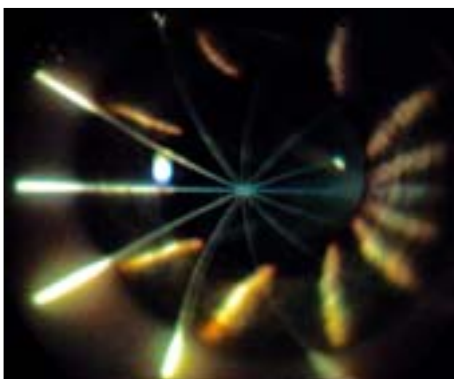
Digital slit-lamp – system parameters achieved

The optical properties of the DSL were measured before using the slit-lamp for ophthalmological examinations. Both prototypes achieved an illuminance of 50 klux and a contrast greater than 440 : 1. Due to the optimized optical design, the homogeneity of the light distribution on the eye's surface was improved. The spectral composition of the projected light fulfills DIN EN ISO 10939 (eye examinations).

The projection is further characterized by the following parameters: depth of focus 0.14 mm, curvature of the image area 35 mm, distortion of the image area (on the edge) 1.45 %. As already mentioned, the imaging system of a conventional slit-lamp was used without further optimization.

Abb. 6:
Projektion eines Sterns auf die Cornea mittels der DSL.

Fig. 6:
Projection of a star onto the cornea using the DSL.

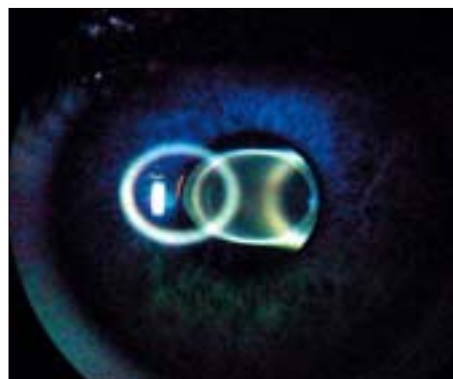


First applications

The first human eye examinations with the DSL showed that the contrast is sufficient for normal slit-lamp applications. Projections of different patterns on the human cornea and through the lens can be seen in figs. 4 to 7. In order to avoid disturbing iris reflections (see figs. 4 to 6), the size of the projection must be adapted to the pupil size (see fig. 7). In „real“ examinations, the ophthalmologist can enhance the pupil diameter by using mydriatica to examine larger areas of the lens all at once.

Abb. 7:
Lichtschnitt mit einem projizierten Kreis durch Cornea und Linse mittels der DSL.

Fig. 7:
Projection of a circle through the cornea and lens by use of the DSL.



Summary

It was demonstrated that a digital-projection slit-lamp using reflecting microdisplays can be developed at full functionality. All the technology necessary for this process is essentially available. Before the unit is ready to go into production, some technical questions and questions concerning applications will need to be answered first.

References:

- /1/ Patent DE 198 12 050 A1.
- /2/ Riehemann, S., Palme, M., Eichler, U., Koschmieder, I., Luther, E., Damm, C., Notni, G.: „Beleuchtungskonzepte zum Einsatz reflektierender LCoS- und DMD-Mikrodisplays am Beispiel einer digital projizierenden Spaltlampe“, Annual Meeting of the DGaO, 2002.

Polymerchipbasierte mikrofluidische Komponenten für Anwendungen in den Life Sciences

Claudia Gärtner



Claudia Gärtner

Einführung

Bedingt durch die großen Fortschritte in den Life Sciences, z. B. in der Genomforschung und in der Medizintechnik, besteht ein wachsender Bedarf, eine große Anzahl von Analysen und Synthesen schnell, parallel und mit portablen Systemen durchzuführen.

Als Vision besteht das künftige biochemische Labor aus miniaturisierten Modulen, die bestehende, einige Stunden in Anspruch nehmende Verfahren auf wenige Minuten verkürzen oder eine Kombination verschiedener Methoden erlauben, z. B. eine hochparallele Kapillarelektrophorese auf Chipbasis, mit Detektion und Auswertung der Substanzen und einer Fraktionierung der gewünschten Moleküle oder die Kombination dieser Methode mit einer je nach Anwendung vor- oder nachgeschalteten Vervielfältigung von Nukleinsäuren mittels PCR (Polymerase Chain Reaction), um Analyse und Synthese als kontinuierlich arbeitendes System zu verbinden. Anwendungen sind dabei – nach der vollständigen Sequenzierung der menschlichen Erbsubstanz – insbesondere in der funktionellen Genomanalyse zu sehen.

Auch das kontinuierliche Überwachen von biochemischen Prozessen, die konstante Medikamentendosierung und die direkte Erfassung von Patientendaten am Krankenbett (Point-of-Care-Diagnostik, POCD) werden erst durch den Einsatz miniaturisierter Komponenten umfassend möglich. Die Echtzeitüberwachung kritischer medizinischer oder biochemischer Parameter kann besonders gut mit mikrofluidischen Systemen realisiert werden, da bei diesen verschiedenste funktionelle Elemente auf engstem Raum kombinierbar sind.

Miniaturisierte Fluidiksysteme bieten dem Anwender daher ein großes Potenzial hinsichtlich Kosten- und Zeiteinsparung sowie Verfahrensverbesserung:

- Verbesserte und schnellere Reaktionsführung durch optimale Temperatursteuerung auf Grund des großen Oberflächen-Volumen-Verhältnisses
- Zeiteinsparung durch eine Parallelisierung von Reaktionen und die Einsparung von Handlungsschritten
- Einsparung von Substraten
- Neue Wege der Reaktionsführung
- Erhöhung der Performance: Integration verschiedener funktioneller Elemente zu einem Gesamtsystem
- Realisierung portabler Systeme für eine Vor-Ort-Analytik.

Für Anwendungen in den Life Sciences sind mikrofluidische Komponenten aus Kunststoffen gefragt, verbinden sie doch eine günstige Herstellbarkeit und niedrige Materialkosten, um als Einwegartikel genutzt zu werden, sind optisch transparent, um eine optische Detektion zu ermöglichen, weisen eine hohe Biokompatibilität auf und sind das Material, das derzeit genutzt wird – also das gewohnheitsmäßig favorisierte Material.

Polymer microfluidic components for life science applications

Claudia Gärtner

Introduction

The growing demand for a large amount of analysis and synthesis to be carried out in parallel, at a fast rate and with the aid of portable systems is the result of significant progress in the area of life sciences, such as genomic research and research in the field of medical technology.

It is envisaged that the future biochemical laboratory will consist of miniaturized modules which can replace conventional systems of a time-consuming nature. These miniaturized modules will reduce the time needed for analysis from hours to minutes and will allow a combination of several different methods, for example, highly parallel capillary electrophoresis based on a chip, in combination with the detection and interpretation of substances, including a fractioning of the desired molecules. Alternatively, it would be possible to combine this method with the amplification of nucleic acid by way of PCR (Polymerase Chain Reaction) before or after electrophoresis in order to combine analysis and synthesis into one continuously working system. Functional genome analysis – subsequent to the sequencing of the total humane genome – is a particularly likely field for the application of such systems.

The continuous control of biochemical processes, the consistent dosage of drugs and the immediate analysis of patient data directly at the patients' drugs bedside (point-of-care diagnostics, POCD) will all be made possible with the help of miniaturized components.

The online analysis of critical medical or biochemical processes can be implemented particularly well with the help of microfluidic components, which enable the combination of different functional elements within a very reduced space.

Miniaturized fluidic systems therefore offer the user enormous potential concerning the reduction of cost and time as well as in the optimisation of processes:

- Reactions can be carried out faster and more efficient with the help of optimal temperature control due to the high surface-to-volume-ratio.
- Reduction of time due to parallelization of reactions and the minimization of processing stages.
- Reduction of sample volumes.
- New ways to carry out chemical reactions.
- Increased performance: the integration of different functional elements into one system.
- Production of portable systems for on-the-spot analysis.

Polymer microfluidic components are in great demand for life science applications. There are several reasons for this: they combine affordable production with low material costs (rendering them disposable), offer optical transparency (enabling optical detection), a high level of biocompatibility and are currently in general use as a standard material.

Realisierung der Komponenten

Die Realisierung mikrofluidischer Komponenten ist schematisch in Abb. 1 dargestellt. Der kritische Schritt ist zunächst die Herstellung des Abformmasters, das die Qualität der anschließenden Replikation maßgeblich bestimmt.

Abb. 2 zeigt ein Master aus Silizium für die Replikation mittels Heißprägen. Für den Mikrospritzguss finden metallische Master ihren Einsatz, die beispielsweise mittels Mikrogalvanik oder Ultrapräzisionsbearbeitung hergestellt werden.

Liegen die mikrostrukturierten Polymer-
teile vor, beginnt der derzeit aufwändigste Schritt bei der Herstellung der Polymerchips, das so genannte Back-End-Processing: das Einbringen von Durchgangslöchern, ohne die haarfeinen Kanäle zu beschädigen, das Aufbringen von Elektroden als Spannungszuführung oder für eine elektrochemische Detektion, die Funktionalisierung von Oberflächen und schließlich das Deckeln der Chips ohne den Einsatz eigenfluoreszierender Klebstoffe, um eine Fluoreszenzdetektion nicht zu stören.

Anschließend erfolgt das Vereinzeln der Chips mittels Sägen. Ein Auslasern wird derzeit nur für wenige Kunststoffe beherrscht. Dieses Back-End-Processing ist der längste und derzeit der kostenverursachende Schritt.

Reduzierung des Back-End-Processing

Die Zielstellung für das Back-End-Processing heißt verringern oder vermeiden. Ein erster Ansatz ist das direkte Einbringen der Durchgangslöcher. In einen mikrostrukturierten Polymerwafer wurden Durchgangsbohrungen eingebracht, der Wafer wurde rückseitig mit einer Folie verschlossen und die Struktur wurde galvanisch abgeformt. Das erhaltene Abformmaster kombiniert Mikro- mit Makrostrukturen. Das direkte Durchprägen der Durchgangslöcher mittels dieser Master wird etabliert, siehe Abb. 3. Entscheidend ist ein sauberer Übergang der Mikro-Makrostruktur im Polymerteil, woraufhin der Heißprägeprozess etabliert werden muss.

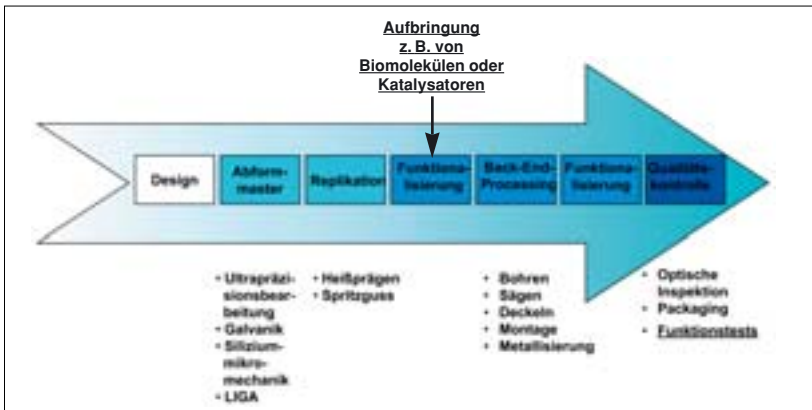


Abb. 1:
Schematische Darstellung der
Herstellung von mikrofluidischen
Polymerchips.

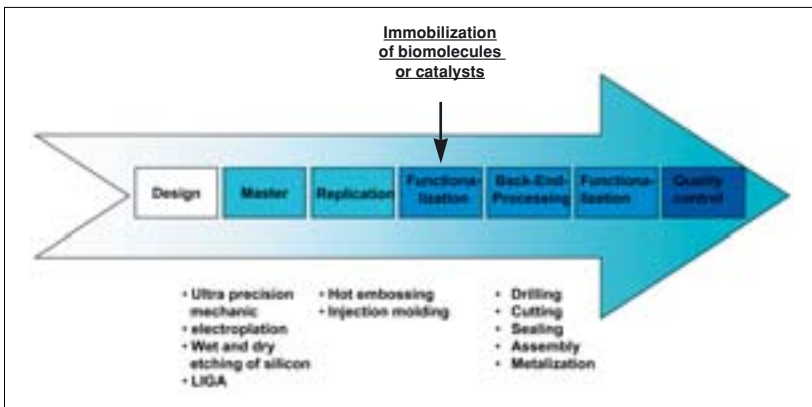


Fig. 1:
Schematic drawing for the
realization of microfluidic
polymer chips.

Production of the components

Fig. 1 schematically illustrates the separate stages in the production of microfluidic components in polymers. The critical stage is the fabrication of the mold insert, which defines the quality of the subsequent replication process.

Fig. 2 depicts a mold made of silicon used for replication by means of hot embossing. Metallic molds are used in micro-injection molding, and are produced by micro-electroplating or ultra-precision machining.

The back-end-processing, the most time-consuming stage in the production of microfluidic components, follows the replication process.

This involves drilling through-holes without damaging the very thin channels, integrating electrodes for voltage supply or electrochemical detection, functionalizing surfaces and lastly covering the chips without using glues containing intrinsic fluorescence, so as to avoid a disturbance of the fluorescence detection.

Reduction of Back-End-Processing

The aim for the back-end-processing is to reduce or eliminate it. The first approach to the matter was to introduce through-holes. These holes were drilled onto a microstructured polymer wafer, which was then sealed at the back with a foil before the structure was electroplated. The direct embossing of through-holes using such mold inserts is currently in development (see fig. 3). A smooth transition from the micro- to macrostructure in the polymer substrate is very important, and has yet to be established within the hot embossing process.

Abb. 2:
Silizium-Formeinsatz für das Mikroheißprägen,
Design: Kapillarelektrophorese- und Mischer-
strukturen.

Fig. 2:
Silicon mold for micro hot embossing, design:
capillary electrophoresis and mixer structures.

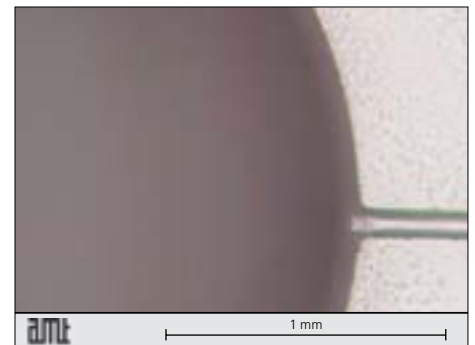
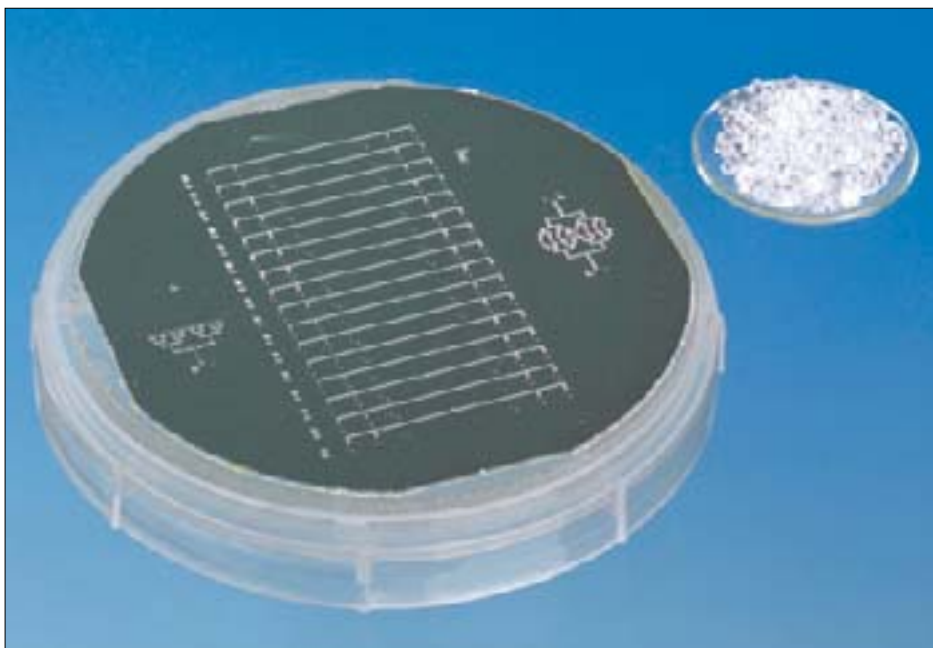


Abb. 3:
Direkt geprägte Durchgangslöcher zur Vereinfachung des Back-End-Processing.
Der kritische Punkt ist der Übergang von Mikro-
zur Makrostruktur.

Fig. 3:
Directly embossed through-holes used to simplify back-end-processing. The critical point is the transition from micro- to macro-structures.

Fluidische Anschlusstechnik

Für eine breite Einsetzbarkeit mikrofluidischer Komponenten, d. h. eine Kombination der Bauteile untereinander und ihre Anschließbarkeit an Laborgeräte, wie Pumpen, oder analytische Großgeräte, wie Massenspektrometer, ist die fluidische Anschlusstechnik das entscheidende Kriterium. Basierend auf verfügbaren Fluidverbindern, siehe Abb. 4, lässt sich eine für Prototypen einfache fluidische Anschlusstechnik umsetzen. Gerade Polymerbauteile bieten indes die Möglichkeit, die Fluidverbinder direkt zu integrieren, z. B. Luer-Lok-Verbinder für medizintechnische Anwendungen. Spezielle totvolumenarme Anschlussvarianten befinden sich derzeit in Entwicklung.



Abb. 4:
Mikrofluidisches System mit kommerziellen
Fittings für die Ankopplung von Gasen und
Flüssigkeiten, Quelle: microfluidic ChipShop.

Fig. 4:
Microfluidic system with commercial fittings
for the transferal of gases and fluids to the
chip, Source: microfluidic ChipShop.

Anwendung

Applikationsbeispiele von Polymerkomponenten für analytische Anwendungen in den Life Sciences sind Kapillarelektrophorese-Chips, die mittels laserinduzierter Fluoreszenzdetektion oder elektrochemisch ausgelesen werden können oder zur Betrachtung einzelner Nukleinsäuremoleküle im elektrischen Feld genutzt werden, siehe Abb. 5–6. Der Durchfluss-PCR-Chip, bei dem anstelle des Aufheizens und Abkühlens ein räumliches Durchlaufen der Temperaturzonen für die notwendigen Temperaturwechsel verantwortlich ist, stellt ein weiteres Applikationsbeispiel dar, siehe Abb. 7.

Abb. 5 a, b:
Kapillarelektrophorese-Chip aus Topas (a) und
elektronenmikroskopische Aufnahme des
Kreuzungspunktes (b), Design: ibidi.



Ausblick

Der Trend für mikrofluidische Systeme geht zu einer größeren Anwendungsbreite und insbesondere zu einer gesteigerten Komplexität, denn es sollen nicht nur einzelne biochemische Verfahren auf dem Chip ablaufen, sondern ganze Prozessketten – das Lab-on-a-Chip.

Die Kombination von mikrotechnischem Herstellungs-Know-how und Anwenderwissen ist hier die Basis für die künftigen Produktentwicklungen. Für eine breite Einsetzbarkeit müssen im Bereich fluidische Anschlusstechnik Standards etabliert werden und eine Optimierung der Fertigungsverfahren erfolgen, um eine kostengünstige Herstellung von Einwegkomponenten zu ermöglichen.

Fig. 5 a, b:
Capillary electrophoresis chip made from
Topas (a) and SEM image of the T-injection (b),
Design: ibidi.

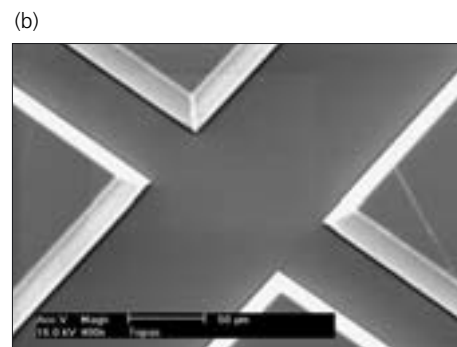


Abb. 6:
2-D-Mikroelektrophorese in den Chips aus
Abb. 5 auf einem kationischen Nanofilm mit
fluoreszenzgelabelter Lambda-DNA,
Quelle: Valentin Kahl, ibidi.

Fig. 6:
2-D microelectrophoresis in the chips depicted
in fig. 5 on a cationic nanofilm with
fluorescence-labelled lambda-DNA,
Source: Valentin Kahl, ibidi.

Fluidic interface

Fluidic interface is the deciding factor in broadening the application range of microfluidic components so as to enable a combination of the components with each other as well as with standard laboratory equipment such as pumps and with analytical systems such as mass spectrometers.

A relatively simple fluidic interface can be created for prototypes by using commercial fluidic fittings (see fig. 4). Particularly in the case of polymer components, it is possible to integrate the fluidic interface directly, as for example in Luer-Lok adapters used for medical applications. Special connectors with a low dead volume are currently being developed.

Application

Capillary electrophoresis chips are one example of microfluidic polymer components in analytical life science applications. Detection in these chips can be carried out either by laser-induced fluorescence detection or by means of electrochemical detection. These chips can be used for the examination of single nucleic acid molecules in an electric field (see fig. 5 and 6).

A further example of an application is the continuous flow PCR chip, with which the temperature profile is reached by guiding the fluid through three different temperature zones as opposed to heating up and cooling down the reaction vessel (see fig. 7).

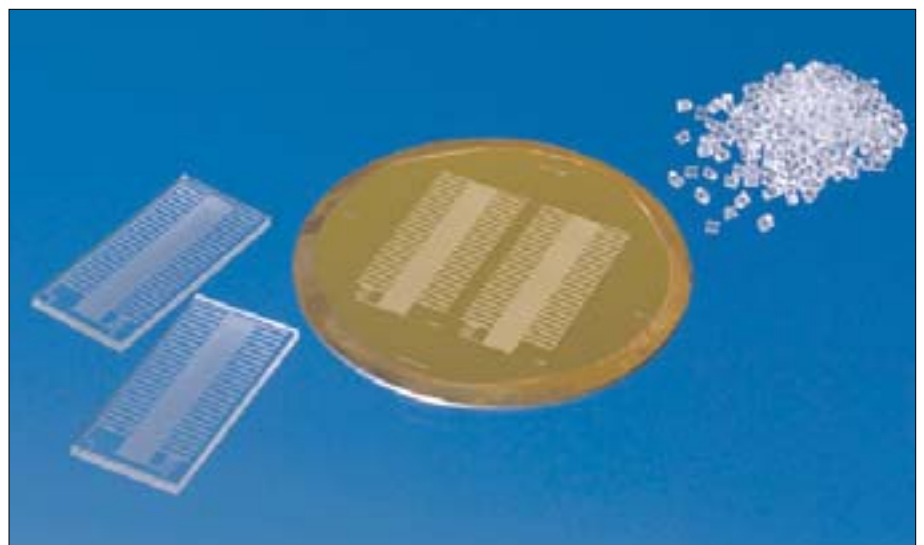
Outlook

In relation to microfluidic systems, it is possible to recognize a trend towards a broader field of application, and in particular towards increasing complexity. Not only single biochemical processes will be carried out on the chip but complete process chains – the „lab-on-a-chip.“

The combination of microtechnical fabrication know-how and application expertise will be the basis for future product developments. For broader applications, standardized fluidic interfaces and optimized production processes need to be established in order to allow the cost-efficient production of single-use components.

Abb. 7:
Galvanisch hergestelltes Abformmaster und fertige Polymerchips für die Durchfluss-PCR,
Design: S. Poser, J.M. Köhler, IPHT.

Fig. 7:
Electroplated master and polymer chips for continuous flow PCR,
Design: S. Poser, J.M. Köhler, IPHT.



Durchbruch bei Entwicklungen im Bereich EUV-Lithographie

Erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Schott Lithotec AG und Fraunhofer IOF

Sergiy Yulin, Torsten Feigl, Norbert Kaiser, Lutz Aschke*, Agnes Hübscher*

* Schott Lithotec AG, Jena



Sergiy Yulin

Einleitung

Durch die erfolgreiche Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik hat die Schott Lithotec AG, Jena, in kürzester Zeit ein Beschichtungsverfahren für Mask-Blanks eingeführt, welches dem derzeit höchsten Standards weltweit entspricht. Nach Eröffnung der Advanced Quality Line am Standort Meiningen im November 2000 wurde bereits 2 Monate später die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IOF Jena begonnen. Ziel dieser Zusammenarbeit als Teil eines vom BMBF geförderten Forschungsprojekts für die EUV-Lithographie war der Transfer der am Institut vorhandenen Beschichtungstechnologie zur Herstellung hochreflektierender Molybdän-Silizium-Schichtsysteme auf die Ionenstrahlputteranlage der Schott Lithotec AG in Meiningen.

Im Rahmen der Kooperation erfolgte neben der Optimierung der optischen Eigenschaften die Optimierung relevanter Beschichtungsparameter in Bezug auf Homogenität der Schichtdicke sowie EUV-Reflexion. Durch die effektive Zusammenarbeit konnten in kurzer Zeit die am Institut gesammelten Erfahrungen an die Schott Lithotec AG überführt werden, und ein Schichtsystem mit einem Reflexionswert der weltweiten Spitzenklasse wurde eingeführt.

EUV Lithographie

Bereits heute müssen zur Einhaltung des Tempos der zwischen Chipherstellern vereinbarten „International Technology Roadmap for Semiconductors“ die Grundlagen für die „Extrem Ultraviolett Lithographie“ (EUVL) gelegt werden. EUVL wird mit einer extrem kurzwelligigen UV-Strahlung von nur noch 13,5 nm Wellenlänge betrieben und ermöglicht Strukturabstände von zunächst 50 nm und später bis unter 35 nm. Der Übergang zur EUVL wird voraussichtlich im Jahre 2006 einsetzen.

Ein EUVL-Mask Blank besteht aus einem polierten Substrat aus Nullausdehnungsmaterial (LTEM), auf dem ein hochreflektierender Mo/Si-Multilayer, eine Absorberschicht und Photoresist aufgetragen werden. Der Photoresist wird im weiteren Herstellungsprozess zusammen mit den anderen Schichten selektiv entfernt. So entsteht die Photomaske, die die präzisen Abbildungen für eine Ebene eines Halbleiterschaltkreises enthält. Bei dem Herstellungsprozess von Halbleitern wird für die optische Übertragung der „Schaltkreise“ auf die Silizium-Wafer ein Satz von ca. 15 bis 30 Photomasken verwendet.

A developmental breakthrough in EUV-Lithography

successful collaboration between Schott Lithotec AG and Fraunhofer IOF Jena

Sergiy Yulin, Torsten Feigl, Norbert Kaiser, Lutz Aschke*, Agnes Hübscher*

* Schott Lithotec AG, Jena

Introduction

Schott Lithotec AG of Jena, Germany, was able to introduce a coating system for EUV photomask blanks, attaining the highest global standards, which has resulted from the company's successful collaboration with the Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering (IOF). Cooperation with the Fraunhofer Institute began two months after the launching of Schott Lithotec's Advanced Quality Line in Meiningen, Germany in November 2001, and is part of an EUV lithography project supported by the German federal ministry of education and research. Its goal was to transfer coating-technology expertise on the production of highly reflective molybdenum/silicon multilayers (Mo/Si multilayers) from the Fraunhofer Institute for use in Schott Lithotec's ion-beam-sputtering-tool in Meiningen.

Within the scope of this cooperative project, optical characteristics such as multilayer reflectivity were improved, and the relevant coating parameters such as the homogeneity of the multilayer period and reflection of EUV light were optimized. Due to the effective collaboration between both organizations, the IOF's relevant know-how was put to use by Schott Lithotec within a very short period of time. This enabled Schott Lithotec to develop a Mo/Si multilayer system with outstanding optical performance.

EUV lithography

In order to keep in line with the time-frame agreed by global leaders in microchip production as set down by the „International Technology Roadmap for Semiconductors,“ the foundations for extreme ultraviolet lithography (EUVL) need to be laid down as soon as possible. EUVL, with an extremely short wavelength of 13.5 nm, allows for structure widths of approximately 50 nm, which will in the future be reduced to less than 35 nm. The technological transition to EUVL is expected to take place in 2006.

EUVL-photoblanks are highly polished substrates made of low thermal expansion material (LTEM) coated with highly reflective Mo/Si multilayers, absorber layers and photoresists. The photoresists are selectively removed together with the other layers in order to produce a photomask that contains precision images comprising one layer of an integrated circuit design. A set of 15 to 30 photomasks is used to transfer the circuit images optically onto silicon wafers during the semiconductor manufacturing process.



Torsten Feigl



Norbert Kaiser



Lutz Aschke



Agnes Hübscher

Experimentelle Ergebnisse

Mo/Si-Schichtsysteme verschiedener Beschichtungs- und Designparameter wurden auf 6" LTEM Substraten abgeschieden. Die Schichtstrukturanalyse erfolgte mit Hilfe von Röntgenreflexion, Röntgenbeugung, hochauflösender Transmissions-Elektronenmikroskopie (TEM) und Rasterkraftmikroskopie (AFM).

Die EUV-Reflektivität wurde durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt Berlin am Elektronenspeicherring BESSY II charakterisiert, wobei alle Spiegel in einem Wellenlängenbereich von 12,5 nm bis 14,0 nm mit einer Wellenlängenauflösung von 0,02 nm und einer relativen Messunsicherheit von 0,2 % vermessen wurden. Der Einfallswinkel des Messstrahls betrug 1,5° bei einem Spotdurchmesser auf der Spiegeloberfläche von 1,5 mm.

Durch Optimierung des Schichtdesigns sowie des Beschichtungsprozesses gelang die Abscheidung ionenstrahlgesputterter Schichtsysteme mit Reflexionen von $R = 64,8 \% @ 13,77 \text{ nm}$ und $R = 64,6 \% @ 13,49 \text{ nm}$ (Abb. 1). Neben der Optimierung der optischen Eigenschaften erfolgte im Rahmen des gemeinsamen Projektes die Optimierung relevanter Beschichtungsparameter in Bezug auf Homogenität der Schichtdicke sowie der EUV-Reflexion.

In Abb. 2 ist der Reflexionsverlauf an elf Probenpositionen entlang einer Linie auf einem 6" mask blank dargestellt. Der Messpunktabstand beträgt jeweils 15 mm.

Die Abhängigkeiten der Peak-Reflexion sowie der Peak-Wellenlänge von den Probenposition sind in Abb. 3 dargestellt. Die Peak-Reflexionen liegen innerhalb der Messunsicherheit von $\Delta R = 0,2 \%$. Die Standardabweichung der Peak-Wellenlängen beträgt $\sigma = 0,005 \text{ nm}$.

Die dargestellten Ergebnisse der Homogenität der Reflexion sowie der Wellenlänge erfüllen die von der Halbleiterindustrie vorgegebenen Anforderungen an die EUV-Masken für das Jahr 2012 bereits zum jetzigen Zeitpunkt.

Abb. 1: Reflexionsverlauf von Mo/Si-Systemen des Fraunhofer IOF und der Schott Lithotec AG. Messungen: PTB Berlin, BESSY II.

Fig. 1: Measured reflectivity of Fraunhofer IOF and Schott Lithotec AG Mo/Si multilayers. Measurements: PTB Berlin, BESSY II.

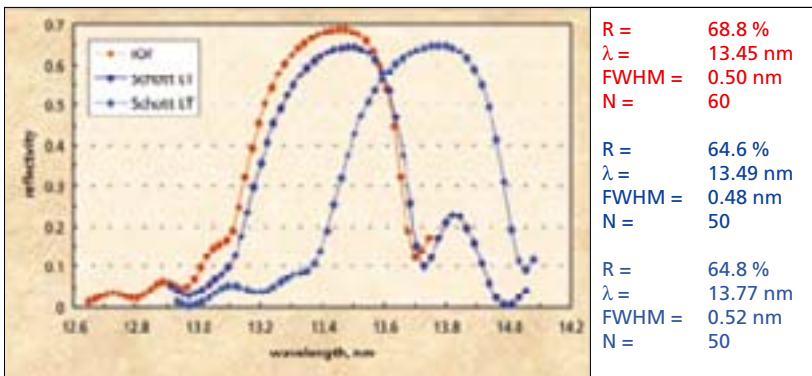
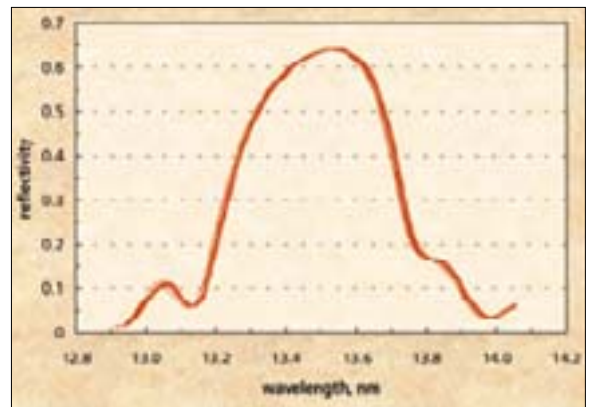


Abb. 2: Reflexionsverlauf an elf Probenpositionen entlang einer Linie auf einem 6" mask blank. Messungen: PTB Berlin, BESSY II.

Fig. 2: Plot of 11 reflection curves, measured at different positions on a 6-inch LTEM substrate. Measurements: PTB Berlin, BESSY II.



Experimental results

Mo/Si multilayers were deposited on 6-inch LTEM substrates. Several parameters of the deposition process and the design of the multilayers were modified. The structural characterization of each multilayer was performed with the help of small-angle X-ray reflection, large-angle X-ray diffraction, cross-section high-resolution transmission electron microscopy (TEM) and atomic force microscopy (AFM).

Normal incidence reflection measurements were performed with synchrotron radiation by the PTB reflectometer at BESSY II, Berlin. Each mirror was measured within the wavelength range of 12.5 nm to 14.0 nm, with a wavelength resolution of approximately 0.02 nm allowing for a relative inaccuracy in the measured reflectance of up to 0.2 %. The incidence angle of the beam was fixed at 1.5° and the spot had a diameter of 1.5 mm at the sample surface.

Due to the optimization of the multilayer design and the deposition process, normal incidence reflectivities of $R = 64.8\%$ at 13.77 nm and $R = 64.6\%$ at 13.49 nm were achieved for ion-beam-sputtered Mo/Si multilayer mirrors (fig. 1). The optimization of the deposition parameters was mainly focused on the homogeneity of the Mo/Si multilayer along the 6-inch LTEM substrates.

Fig. 2 shows a plot of 11 reflection curves which were measured at different positions along a 6-inch LTEM substrate.

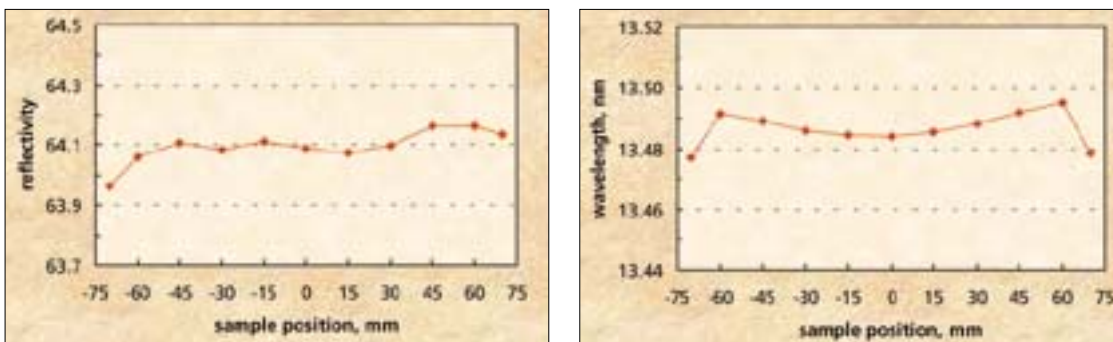
In fig. 3, one can see the measured maximum reflectivity and the corresponding peak wavelengths in relation to their substrate position. An excellent homogeneity of the Mo/Si multilayer mirror along the 6-inch LTEM substrate was achieved.

The deviation of the measured maximum multilayer reflectivity fell within the permitted range of measurement inaccuracy set at $\Delta R = 0.2\%$. The standard deviation of the peak wavelength at 11 different positions along the substrate is $\sigma = 0.005\text{ nm}$.

These findings already meet with the EUV mask homogeneity requirements as laid down for 2012 in the „International Technology Roadmap for Semiconductors.“

Abb. 3:
Peak-Reflexion und Peak-Wellenlänge in Abhängigkeit von der Probenposition auf einem 6" mask blank.

Fig. 3:
Measured reflectivity and peak wavelength in different substrate positions.



In den Abb. 4 und 5 sind transmissions-
elektronenmikroskopische Aufnahmen
des Querschnitts sowie die entspre-
chenden Elektronenbeugungsbilder
zweier Mo/Si-Schichtsysteme mit ver-
schiedenen Designparametern darge-
stellt. Beide Systeme zeigen eine
geschlossene und gleichmäßige
Schichtstruktur sowie eine minimale
und konstante Grenzflächenrauheit.

Aus den Elektronenbeugungsbildern ist
eine Abhängigkeit der kristallinen
Molybdän-Schichtstruktur von der
Molybdän-Schichtdicke erkennbar,
wobei mit wachsendem Absorber-
Schichtdickenverhältnis Γ ($\Gamma = d_{\text{Mo}}/d$)
der Kristallisationsgrad zunimmt.

Strukturanalysen mit hochauflösender
Transmissions-Elektronenmikroskopie
zeigen die bekannte amorphe Silizium-
sowie kristalline Molybdän-Schicht-
struktur, die durch asymmetrische
Silizid-Diffusionszonen getrennt sind.

In naher Zukunft wird ein neuer
Qualitätsstandard für LTEM-Substrate
in Bezug auf thermischen Ausdeh-
nungskoeffizienten, Rauheit und Eben-
heit verfügbar sein. Die F & E-Arbeiten
auf dem Gebiet der Beschichtungstech-
nologie werden sich auf folgende
Schwerpunkte konzentrieren:

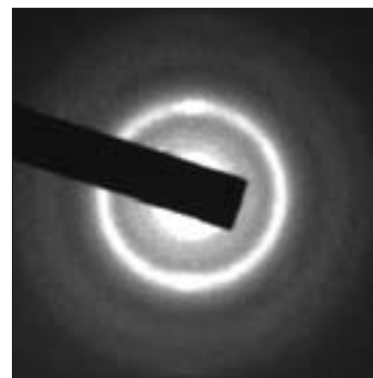
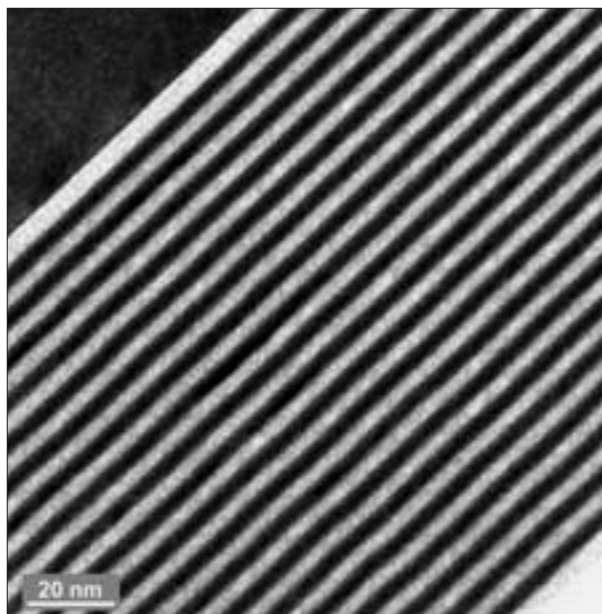
- Verbesserung der optischen
Eigenschaften
- Minimierung der Schichteigen-
spannungen und
- Defektreduzierung.

Literatur:

- /1/ H. Becker, L. Aschke, B. Schubert, J. Krieger,
F. Lenzen, S. Yulin, T. Feigl, T. Kuhlmann,
N. Kaiser: „Ion beam sputter deposition of
low defect EUV mask blanks on 6 inch
LTEM substrates in a real production
environment“,
Proc. SPIE 4688, pp. 503–508, 2002.
- /2/ H. Becker, F. Sobel, L. Aschke, M. Renno,
J. Krieger, U. Buttgerit, G. Heß, F. Lenzen,
K. Knapp, S. Yulin, T. Feigl, T. Kuhlmann,
N. Kaiser: „High performance 6-inch EUV
mask blanks produced under real production
conditions by ion-beam sputter deposition“,
Proc. SPIE 4889, 2002.

Abb.: 4
TEM Aufnahmen und Elektronenbeugung ionenstrahl-
gesputterter Mo/Si-Systeme,
Multilayer Design Parameter: $N = 20$, $\Gamma = 0,35$.
Aufnahme: FSU Jena.

Fig.: 4
TEM and SAED images of ion beam sputtered Mo/Si,
multilayer design parameters: $N = 20$, $\Gamma = 0.35$.
Micrograph: FSU Jena.



The transmission electron microscopy (TEM) images and the corresponding selected area electron diffraction (SAED) of two differently designed Mo/Si multilayers are shown in fig. 4 and 5. Both Mo/Si multilayer systems form a continuous and very smooth layer structure. There are no traces of a growing interface roughness or of thickness deviations within the stack. However, some changes in the crystalline Mo structure occur within different absorber thickness ratios Γ ($\Gamma = d_{\text{Mo}}/d$).

It is clearly visible from the selected electron diffraction images that the degree of perfection of the crystalline Mo layer structure depends on the Mo layer thickness; a larger number of Mo crystallites were detected in the $\Gamma = 0.45$ – sample. Investigations using high-resolution transmission electron

microscopy indicate an amorphous silicon and polycrystalline molybdenum structure separated by diffusion zones of a mixed composition. The width of the interdiffusion zones at the Mo-on-Si interfaces is approx. 1.2 nm and the interdiffusion layer width at the Si-on-Mo interfaces is approx. 0.8 nm.

In the near future, an improved standard of quality will be available for low thermal expansion substrates regarding the coefficients of thermal expansion, roughness and flatness. Future research and development work in the field of Mo/Si multilayer technology will concentrate on the

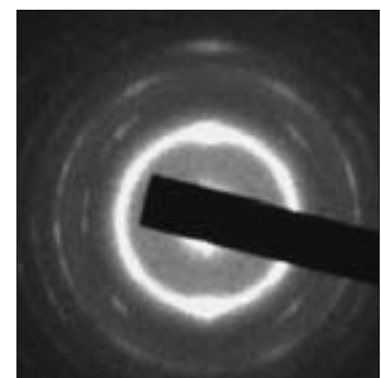
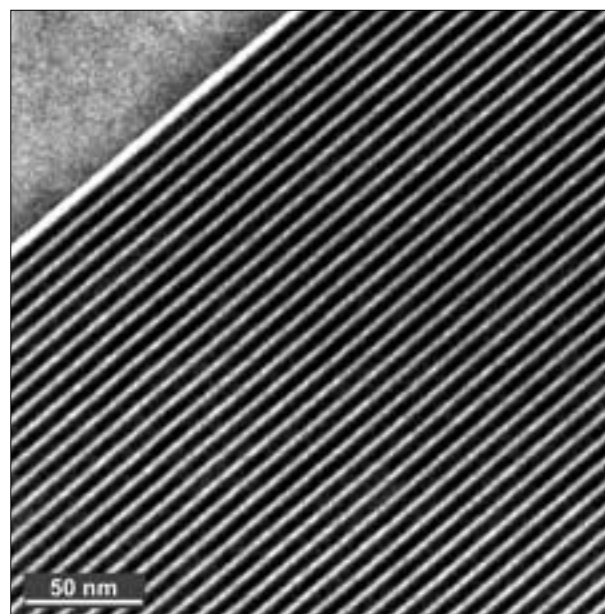
- enhancement of optical properties
- minimization of coating-internal mechanical stress
- reduction in the number of defects.

References:

- /1/ H. Becker, L. Aschke, B. Schubert, J. Krieger, F. Lenzen, S. Yulin, T. Feigl, T. Kuhlmann, N. Kaise: „Ion beam sputter deposition of low defect EUV mask blanks on 6 inch LTEM substrates in a real production environment“, Proc. SPIE 4688, pp. 503–508, 2002.
- /2/ H. Becker, F. Sobel, L. Aschke, M. Renno, J. Krieger, U. Buttgerit, G. Heß, F. Lenzen, K. Knapp, S. Yulin, T. Feigl, T. Kuhlmann, N. Kaiser: „High performance 6-inch EUV mask blanks produced under real production conditions by ion-beam sputter deposition“, Proc. SPIE 4889, 2002.

Abb.: 5
TEM Aufnahmen und Elektronenbeugung ionenstrahl-
gesputterter Mo/Si-Systeme,
Multilayer Design Parameter: $N = 40$, $\Gamma = 0.45$.
Aufnahme: FSU Jena.

Fig.: 5
TEM and SAED images of ion beam sputtered Mo/Si,
multilayer design parameters: $N = 40$, $\Gamma = 0.45$.
Micrograph: FSU Jena.





Ulrike Schulz

Einleitung

Hochtransparente thermoplastische Kunststoffe bieten für optische Anwendungen auf Grund ihrer leichten Verarbeitbarkeit, ihres geringen Gewichts und ihres verhältnismäßig niedrigen Preises erhebliche Vorteile gegenüber Glas. Viele Komponenten der Optik und Optoelektronik erfüllen ihre Funktion aber erst nach dem Aufbringen von dünnen Schichten. Ein geeignetes Verfahren für die Beschichtung von Kunststoffen ist das plasma-ionengestützte Aufdampfen (Plasma-IAD). In einem solchen Beschichtungsprozess entstehen Niederdruckplasmen bei dem Betrieb von Plasma-Ionenquelle, Elektronenstrahlverdampfern und eine Glimmentladungs-Kathode zur Substratvorbehandlung (Abb. 1).

Abb. 1:
Plasma-Ionenquelle und Elektronenstrahlkanone während eines Plasma-IAD-Beschichtungsprozesses.

Fig. 1:
Advanced Plasma Source and electron beam gun during plasma-IAD process.



Wechselwirkung Plasma-Polymer

In den letzten Jahren wurde im IOF der Einfluss der Plasmaemissionen des Plasma-IAD-Prozesses auf verschiedene Polymere untersucht. Spezielle Typen von PMMA, Polycarbonat und Polycycloolefinen (Zeonex®, Topas®) wurden dazu vor und nach UV-Bestrahlung sowie unterschiedlichen Plasma-behandlungen charakterisiert. Durch hochenergetische Plasmaemissionen kann es zu unerwünschten Eigenschaftsänderungen der Polymersubstrate kommen. Andererseits können optimierte Plasmabehandlungen aber auch dazu eingesetzt werden, um unpolare Polymeroberflächen als Voraussetzung für eine gute Schichthaftung zu aktivieren /1/.

Die Ionen und Elektronen beschichtungstypischer Niederdruckplasmen besitzen genug Energie, um jede mögliche chemische Bindung eines Polymers zu spalten und chemische Modifizierungen hervorzurufen.

Daneben führt in der Regel jede Plasmabehandlung zu einem Anstieg des polaren Anteils der freien Oberflächenenergie. Aus den Experimenten ergab sich für die untersuchten Polymere ein unterschiedliches Verhalten hinsichtlich der Aktivierbarkeit. Ein Anstieg der Oberflächenenergie erfolgt zum Beispiel bei Polycycloolefinen und bei Polycarbonat schon nach wenigen Sekunden, während PMMA eine sehr langsame Steigerung zeigt. Überraschend war der deutliche Einfluss der Emissionen des Elektronenstrahlverdampfers auf die Polymersubstrate. Nach 60 s Behandlungszeit zeigten alle Polymere einen erhöhten Wert der Oberflächenenergie.

Introduction

Compared with glass, highly transparent thermoplastic polymers offer a significant reduction in weight, relatively low costs and advantageous manufacturing characteristics for optical components. Many plastic optics components function only in combination with antireflection coatings and other optical interference coatings. Plasma-ion assisted deposition (plasma-IAD) is one suitable deposition method for interference coatings providing layer thicknesses of the highest precision. Such vacuum coating processes are generally linked with plasma and short wavelength radiation, which is produced by plasma ion sources, glow-discharge supplements or electron beam evaporators (fig. 1).

Interaction plasma-polymer

Various emissions resulting from Plasma-IAD processes and their effect on different polymer substrates typically used in plastic optics have been investigated at IOF over the last few years. Selected types of PMMA, polycarbonate and poly-cycloolefines (Zeonex® and Topas®) were characterized under coating-relevant conditions such as plasma, UV radiation and the emissions of a running electron beam gun. High-energy emissions can alter the chemical structure of the polymers' surface or bulk material and may have negative influences on the properties of coated optical parts. On the other hand, optimized plasma treatments are suitable to increase the free surface energy of non-polar polymer surfaces as a requirement for good coating adhesion [1].

High-energy ions and short wavelength radiation emitted by a plasma source have enough energy to break chemical bonds into polymers and to initiate chemical modifications. Plasma typically causes an increase in free surface energy on low-energy polymer surfaces. The plasma activation results differed among polymers. The surface energies of ZeonexE480®, Topas 5013® and PC can, for example, be increased by a very short plasma treatment, whereas PMMA can hardly be activated even by a 6 s treatment and the surface energy rises slowly with APS treatment time. Not expected was the strong influence of the electron beam gun emissions on the substrates. Yet after 60 s the surface energy changes noticeably to higher values.



Peter Munzert



Norbert Kaiser

Abb. 2 zeigt, dass die hier untersuchten Polycycloolefine unter der Einwirkung von UV-Strahlung an Luft oder aus einem Niederdruckplasma heraus zur Bildung absorbierender Strukturen neigen. Der Wellenlängenbereich zwischen 180 nm und 300 nm konnte durch Abdecken eines Teils der Probe mit B 270-Glas (UV-Absorptionskante bei 300 nm) als der die Schädigung verursachenden Strahlung ermittelt werden.

Im Gegensatz dazu sind Polycarbonat (auf Grund von UV-Absorbieren) und PMMA stabil gegenüber kurzweiliger Strahlung. Findet jedoch zusätzlich zur UV-Bestrahlung ein Beschuss der Oberflächen mit energiereichen Ionen statt, kommt es bei allen untersuchten Polymeren zu Abbauprozessen in einer oberflächennahen Schicht und zu einer allmählichen Abnahme der Transmission im UV- und sichtbaren Spektralbereich. Das Verhalten bei Ionenbeschuss ist bei allen untersuchten Polymeren ähnlich.

Beschichtungsergebnisse

Mit Elektronenstrahlverdampfung und Plasmaionenstützung aufgedampfte SiO_2 - und Ta_2O_5 -Schichten haften auf Zeonex®- und Topas®-Substraten sehr gut, während auf PC und vor allem auf PMMA die Schichthaftung gering ist. Dass dies auf den Einfluss von Niederdruckplasma zurückzuführen ist, zeigten Aufdampfversuche unter Ausschluss von Strahlungs- bzw. Plasmaemissionen. Die so aufgedampften Schichten haften auf allen Substraten sehr gut.

Die Polycycloolefine ZeonexE480® und Topas 5013® zeigten, unabhängig von allen beschichtungstypischen Einflüssen, immer sehr gute Hafteigenschaften für Oxidschichten. Deshalb sind diese Polymere besonders gut für die

Beschichtung mit sehr dicken Interferenzschichten, wie kratzfesten Antireflexschichten, Strahlteilerschichten und Filterschichtsystemen, geeignet. Zur Demonstration der guten Hafteigenschaften wurde zum Beispiel eine Antireflexbeschichtung AR-hard, bestehend aus 27 Einzelschichten auf ZeonexE480® und Topas 5013®, mittels plasma-ionengestützter Beschichtung abgeschieden. Mit dieser Beschichtung wird die Restreflexion einer Oberfläche im Spektralbereich von 420 nm bis 670 nm von 4 % auf kleiner als 0,5 % abgesenkt. Der erhöhte Kratzschutz wird dabei durch die Dicke des Schichtsystems von 3,3 μm und die Härte der reinen oxidischen Beschichtung erreicht. Bei den beschichteten Proben wurden auch nach Lagertests im Temperaturbereich von -20°C bis 100°C weder Rissbildung noch Schichtablösung beobachtet /3/.

Ausblick

Im Ergebnis der Untersuchungen sind nunmehr die Mechanismen der Substratschädigung und der Haftvermittlung bei der Plasma-IAD-Beschich-

tung von PMMA, Polycarbonat, ZeonexE480® und Topas 5013® gut bekannt. Gegenstand gegenwärtiger Forschungsarbeiten sind die temperaturstabileren transparenten Polymermaterialien Apec®, Polyethersulfon und Pleximid®.

Danksagung

Dieses Projekt wird aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF-FV-Nr.13303 BR/1) gefördert.

Literatur:

- /1/ Schulz, U., Munzert, P., Kaiser, N.: „Surface modification of PMMA by DC glow discharge and microwave plasma treatment for the improvement of coating adhesion“, Surf. Coat. Technol. 142–144, (2001) 507–511.
- /2/ Schulz, U., Munzert, P.: „Polymere 2000“, <http://www.iof.fhg.de/german/aufgaben/A1/polymer.html>.
- /3/ Schulz, U., Schallenberg, U.B., Kaiser, N.: „Antireflective coating design for plastic optics“, Applied Optics 41, (2002) 3107–3110.

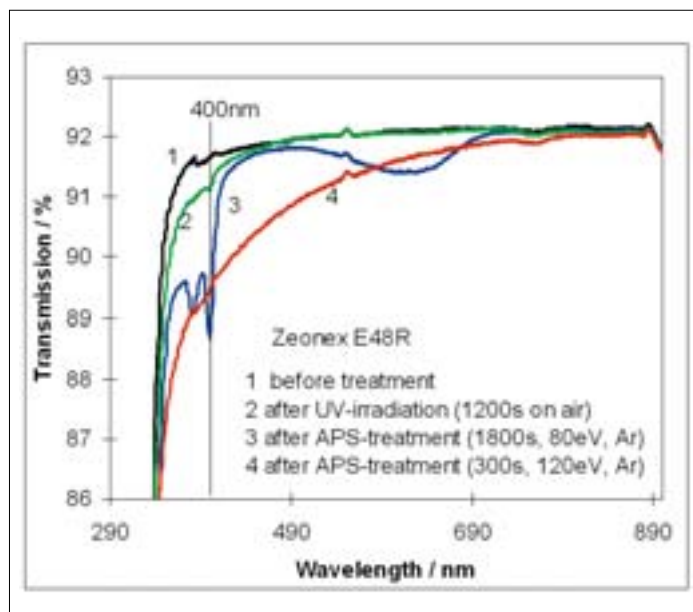


Abb. 2:
Transmission einer Zeonex®-Probe (1 mm dick) nach UV-Bestrahlungen und Plasmabehandlungen.

Fig. 2:
Transmission of a Zeonex® sample (1 mm thick) after UV-lamp irradiation and plasma treatments.

Fig. 2 depicts the transmission loss of a ZeonexE480® substrate caused by UV-radiation in the air (curve 2). The wavelength range of the damaging radiation can be detected by covering the samples with B 270 glass (UV-edge 300 nm) during irradiation. Covered samples did not suffer any damage indicating that the wavelength affecting radiation is between 180 nm and 300 nm.

Photooxidation reactions have been suggested as a mechanism for the formation of absorbing structures. Transmission spectra after 1800 s of treatment with the ion source plasma (curve 3) show the same drop at 400 nm, i.e. the UV-radiation emitted throughout plasma ion-assisted deposition processes is able to degrade the optical properties of Zeonex® and Topas® substrates. PC and PMMA samples which were irradiated in the same way were not affected by increasing absorption. When the treatment time is too short for radiation damage, but with high-energy ions bombarding the surface, the treatment causes a broad loss in the samples' transmission almost completely throughout the visible wavelength range (curve 4). This behavior applies to all polymers tested in a similar way.

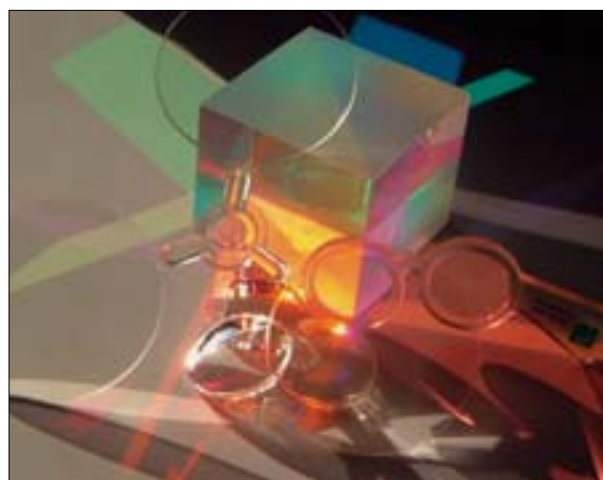
Coating results

Electron beam gun evaporated SiO₂ and Ta₂O₅ layers deposited with plasma ion assistance show good adhesion only on Zeonex, and Topas, substrates, while delaminating is predominant on PC and especially on PMMA. This behavior results from the effect of short wavelength radiation and high-energy particles (ions, electrons), respectively. Boat evaporated oxide layers, deposited without the influence of radiation or plasma emissions, exhibit excellent layer adhesion on all substrates.

However, only the poly-cycloolefine polymers ZeonexE480® and Topas 5013® show excellent adhesion irrespective of any pre-treatment condition. These materials are particularly suitable for the deposition of very thick interference coatings such as scratch resistant antireflective coatings, beam splitters or filters. To demonstrate this, an antireflective coating AR-hard consisting of 27 layers was deposited using plasma-IAD on ZeonexE480® and Topas 5013®. The total physical thickness of the coating was 3.3 µm. The hardness of the coating corresponds to that of a single SiO₂ layer of the same thickness, whereas the reflection was uniformly reduced to below 0.5 % in the wavelength range from 420 nm to 670 nm. No cracking or delaminating of this coating was observed after environmental tests in the temperature range from -20 °C to 80 °C /3/.

Abb. 3:
Beschichtete Kunststoffe für die Optik.

Fig. 3:
Optical coatings on polymers.



Outlook

The mechanisms involved in plasma damage and in the adhesion of coatings on PMMA, polycarbonate and poly-cycloolefines have been explained well by investigation results. The aim of our current work is to increase our knowledge concerning the temperature-stable thermoplastics Apec®, Polyethersulfone and Pleximide® and their behavior in plasma-assisted coating processes.

Acknowledgement

The research project is supported by the German Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), Federation of Industrial Cooperative Research Associations „Otto von Guericke“ e.V. (AiF-FV-Nr. 13303 BR/1).

References:

- /1/ Schulz, U., Munzert, P., Kaiser, N.: „Surface modification of PMMA by DC glow discharge and microwave plasma treatment for the improvement of coating adhesion“, Surf. Coat. Technol. 142–144, (2001) 507–511.
- /2/ Schulz, U., Munzert, P.: „Polymere 2000“, <http://www.iof.fhg.de/german/aufgaben/A1/polymere.html>.
- /3/ Schulz, U., Schallenberg, U.B., Kaiser, N.: „Antireflective coating design for plastic optics“, Applied Optics 41, (2002) 3107–3110.



Olaf Stenzel

Einleitung

Dünne optische Schichten sind heute aus der angewandten Optik nicht mehr fortzudenken. In vielen Fällen wird die gewünschte Spezifikation eines optischen Dünnschichtsystems (z. B. eine hohe Transmission oder Reflexion in einem vorgegebenen Spezialbereich) durch ein trickreiches Spiel mit konstruktiver und destruktiver Interferenz zwischen den intern reflektierten Lichtwellen erreicht. Damit möglichst viele Wellen zur Überlagerung kommen können, darf das Licht innerhalb der Schichten nicht absorbiert werden, so dass für diese Interferenzbeschichtungen Materialien mit möglichst kleinem Extinktionskoeffizient eingesetzt werden. Eine völlig andere Situation liegt in selektiven Absorberschichten vor. Ihre Aufgabe ist eine starke Absorption in einem definierten Wellenlängenbereich, wogegen in anderen Spektralbereichen die Absorption möglichst klein sein soll. Für solche Systeme sind Materialien mit hohen Extinktionskoeffizienten im entsprechenden Wellenlängenbereich gefragt. Das Design derartiger Absorber beinhaltet neben dem dünnschichtoptischen Aspekt daher auch eine materialwissenschaftliche Fragestellung, nämlich die Synthese von Absorbermaterialien mit auf die Anwendung zugeschnittenen Absorptionseigenschaften.

Die Idee

In unseren Arbeiten wird zu diesem Zweck die optische Anregung so genannter Oberflächenplasmonen in kleinen Metallpartikeln genutzt. Normalerweise bedingen die freien Elektronen in Metallen den typischen metallischen Glanz einer Metalloberfläche. Hat man es hingegen mit kleinsten Metallpartikeln von nur einigen Nanometern Durchmesser zu tun,

ändert sich die Situation grundlegend. Der Bewegungsspielraum der zuvor freien Elektronen ist nun auf die Partikellänge beschränkt, so dass sich die Elektronen optisch ähnlich wie gebundene Elektronen verhalten – sie zeigen resonante Absorptionseigenschaften und sind daher für das Design selektiv absorbierender Materialien geeignet.

In der Sprache der Quantenmechanik kann die kollektive Schwingung der Leitungselektronen als Superposition vieler Elementaranregungen aufgefasst werden, der so genannten Plasmonen. Die Bezeichnung „Oberflächenplasmon“ rührt nun daher, dass sich bei der Elektronenschwingung im Metallpartikel nur an der Oberfläche eine Überschussladung ausbilden kann – im Partikelinneren werden die Elektronenladungen durch die Ladungen der Atomrümpfe kompensiert. Die Oberflächenladungen können zur Ausbildung eines Dipolmoments führen, das effektiv mit dem elektrischen Feld der Lichtwelle wechselwirkt. Daher können derartige Oberflächenplasmonen in Metallpartikeln durch Lichtabsorption angeregt werden, am effektivsten unter Resonanzbedingungen.

Dabei ist wesentlich, dass die Resonanzwellenlänge von einer Vielzahl von Parametern abhängt, wie Größe und Form der Metallpartikel, aber auch von den dielektrischen Eigenschaften der Umgebung. Es ist somit möglich, die optischen Eigenschaften derartiger Metallpartikel zu manipulieren und auf diese Weise Materialien mit „maßgeschneiderten“ optischen Eigenschaften zu präparieren.

Introduction

Optical thin films are currently in widespread use in a large variety of applications. In many cases, the desired film specifications (for example a high transmittance or a high reflectance over a certain wavelength range) are achieved through the complex interplay of both the constructive and destructive interference of light beams that are reflected by the internal thin film interfaces. Naturally, these interference coatings may consist of a large number of alternating layers, so that many interfaces contribute to the light which is finally transmitted or reflected. In order to superimpose a high number of internally reflected partial waves, the light must not be absorbed inside the films. Therefore, one has to use film materials with as low an extinction coefficient as possible (ideally zero). In the case of selective absorber coatings, the situation is entirely different. Their function is to achieve a high rate of absorbency within a well-defined wavelength range while also guaranteeing negligible absorption in other spectral regions. For such coatings, one needs materials with high extinction coefficients at the relevant wavelengths. The design of such absorbers therefore combines aspects of optical material research with those of thin film technology.

General idea

Our approach to the absorber design makes use of the optical excitation of surface plasmons in small metal particles. In general, the free electron portion in metals is responsible for the characteristic brightness of metallic surfaces. The situation is quite different, however, in relation to small metal particles with a size of only a few nanometers. Here the motion of previously „free“ electrons is confined to within the particle so that the electrons behave optically in a similar manner to bound electrons, displaying resonant absorption behavior, and can therefore be considered as a natural choice for selective absorber material.

In the language of quantum physics, the collective motion of electrons is identical to the superposition of elementary oscillations called plasmons. The term „surface plasmon“ stems from the fact that net charges appear only at the surface of small metal particles ; within the particles, the electron charges are compensated for by the positive charges of the cores. The surface charges may lead to the formation of a dipole moment which can interact effectively with the impinging light in such a way as that the surface plasmons are easily excited by the absorption of electromagnetic radiation. The key point is that the resonance wavelength of the surface plasmon excitation depends on a variety of parameters such as the size and shape of the particle and the dielectric properties of its environment. It is therefore possible to manipulate the optical behavior of metal particle assemblies in order to prepare materials with custom optical absorption properties.



Norbert Kaiser

Ausgewählte Ergebnisse

Wir untersuchen derzeit die optischen Eigenschaften von Edelmetallpartikeln in ultradünnen Fluorid- und Oxidschichten. Abb. 1 (oben) zeigt Dünnschichtproben, bei denen kleine Silberinseln in Lanthanfluorid eingebettet sind. Die Proben unterscheiden sich nur in der jeweiligen Abscheidetemperatur, was offensichtlich dramatische Auswirkungen auf ihr optisches Verhalten hat. Mit steigender Abscheidetemperatur wechselt die Probenfarbe von blau zu gelb. Das muss mit Variationen im Absorptionsverhalten zusammenhängen. Die blau erscheinende Schicht sollte etwa im gelb-orangen Spektralbereich absorbieren, während die gelb erscheinende Schicht blaues bis violettes Licht absorbiert.

Tatsächlich bestätigen die in Abb. 2 dargestellten gemessenen Absorptionsspektren, dass die Absorptionslinie der Silberpartikel mit steigender Abscheidetemperatur eine Blauverschiebung aufweist.

Das unterschiedliche Absorptionsverhalten der gezeigten Schichten liegt in der unterschiedlichen Schichtmorphologie begründet.

Derartige Informationen sind über Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) zugänglich, Abb. 1 (unten) zeigt die entsprechenden Aufnahmen. Bei geringen Abscheidetemperaturen finden sich Silberinseln mit irregulären Formen in der Schicht, während die Inseln bei hohen Abscheidetemperaturen eher sphärisch wirken.

Derzeit ist eine umfassende theoretische Beschreibung der beobachteten Effekte praktisch unmöglich wegen der komplizierten Inselnformen und der geringen Inselabstände, die eine zusätzliche Wechselwirkung der Plasmonen in den einzelnen Inseln miteinander zur Folge haben. Trotzdem ist ein qualitatives Verständnis der hauptsächlichen Trends durchaus möglich. Tatsächlich sind in kompliziert geformten Silberinseln (wie wir sie bei geringen Abscheidetemperaturen vorliegen haben) Plasmonenanregungen entlang verschiedener Richtungen bei verschiedenen Wellenlängen möglich.

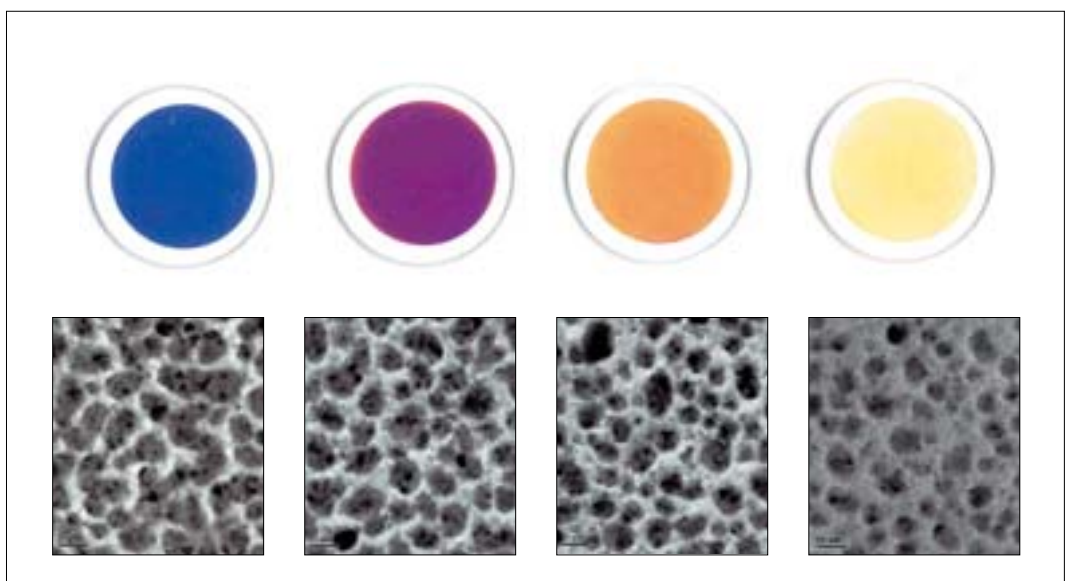
Dabei entsprechen Anregungen entlang der Längsachse niedrigen Absorptionsfrequenzen, was den Trend der Rotverschiebung der resultierenden Absorptionsbande in statistischen Ensembles irregulär geformter Metallinseln zur Folge hat.

Zusammenfassung und Ausblick

Es ist nach alledem möglich, die Absorptionslinienposition von Metallinselfilmen durch die Abscheidebedingungen einzustellen. Darüber hinaus ist die Peakabsorption durchaus beachtlich – wir erzielten Extinktionsindizes bis zu 4,0. Zum Vergleich sei angemerkt, dass typische organische Farbstoffkristalle, wie die Phthalocyanine, im visuellen Spektralbereich Extinktionskoeffizienten um 1,0 aufweisen. In der Perspektive ist beabsichtigt, derartige ultradünne Metall-Dielektrikum-Komposittschichten in Interferenzschichtsysteme einzubringen, um Schichtsysteme mit speziellen Absorptions- und Reflexionseigenschaften zu präparieren.

Abb. 1:
Oben: Silberinselfilme, eingebracht in Lanthanfluorid. In jeder Probe ist dieselbe mittlere Dicke von 4 nm Silber in 6 nm Lanthanfluorid eingebettet. Die Abscheidetemperatur beträgt (von links nach rechts) Raumtemperatur, 100 °C, 200 °C, und 300 °C.

Unten: Die Ergebnisse der Transmissionselektronenmikroskopie. Die Silberinseln sind als dunkle Flecken sichtbar. Die Schichtmorphologie wird durch die Abscheidetemperatur entscheidend beeinflusst. Mit steigender Abscheidetemperatur werden die Inseln eher kugelförmig. Die abgebildeten Ausschnitte geben eine Fläche von jeweils 170 nm x 170 nm wieder.



Selected results

We are currently investigating the optical properties of noble metal particles embedded in ultrathin films of various fluoride and oxide optical thin film materials. Fig. 1 (top) shows samples in which silver islands are embedded in lanthanum fluoride. The samples differ only in their deposition temperature, which has a tremendous effect on their optical properties. With increasing deposition temperature, the color of the samples changes from blue to yellow. This is clearly connected with variations in the absorption behavior of the films. The blue film is expected to have an absorption line located in the yellow-orange region of the spectrum, while the yellow film should absorb blue or violet light.

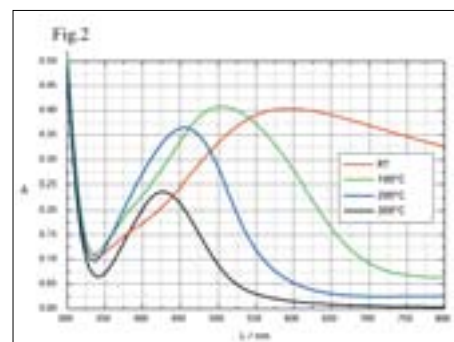
Fig. 2 depicts the measured absorption spectra of all films and confirms that the absorption line of the silver particles (lanthanum fluoride is non-absorbing in the visible spectral region so that absorption is caused by the silver fraction) shifts to the blue with increasing deposition temperature.

Fig. 1:
Top: Silver island films, embedded in lanthanum fluoride. In each sample, the same amount of silver (corresponding to an average thickness of 4 nm) is embedded in 6 nm of lanthanum fluoride. From left to right: The deposition temperature is room temperature, followed by 100 °C, 200 °C, and 300 °C, respectively.

Bottom: Electron microscopy images of the corresponding samples. The silver islands appear as dark spots. The deposition temperature has a clear effect on film morphology. With increasing deposition temperature, the silver islands become more spherical in shape. Each image shows a area of 170 nm x 170 nm.

The differing absorption behavior of the samples is caused by the diverse morphology of the silver islands embedded in lanthanum fluoride. Information on the morphology may be obtained by means of transmission electron microscopy (TEM), as shown in fig. 1 (bottom). The islands are quite irregular in shape at low deposition temperatures, but become more spherical with increasing deposition temperature.

At present, a theoretical description of the optical behavior of such systems is practically impossible due to the complicated shape of the islands and the small intercluster distances that give rise to electromagnetic interaction between the plasmon modes of the individual particles. It is nevertheless possible to obtain a qualitative understanding of the main effects. Indeed, in non-spherical silver islands (which occur at low deposition temperatures), plasmon excitation may be achieved along different axes of the cluster. Excitations parallel to the longer axis of a prolate cluster lead to light absorption at lower frequencies, which in turn causes a red-shift in the resulting absorption line of statistical non-spherical cluster assemblies.



Conclusion and outlook

It is therefore possible that the absorption line position can be controlled by the deposition parameters. The absorption rate is otherwise quite strong; in our experiments we achieved extinction coefficients as large as 4.0. In comparison, typical organic dye crystals such as phthalocyanines have extinction coefficients in the visible spectral area of approximately 1. There are future plans to incorporate these ultrathin metal-dielectric-composite films into multilayer stacks in order to design thin film systems with custom absorption and reflection behavior.

Abb. 2:
Das Absorptionsvermögen der Proben. Mit wachsender Abscheidetemperatur wird eine Blauverschiebung der Absorptionslinie beobachtet, im Einklang mit theoretischen Erwägungen.

Fig. 2:
The absorbency of the samples. An increase in deposition temperature leads to a blue-shift in the surface plasmon absorption maximum, in accordance with theoretical considerations.

Namen, Daten, Ereignisse

Names, Dates, Activities

1. Internationale Gäste

1. International Guests

Dr. Jean M. Bennett
Naval Air Warfare Center, China Lake, USA

Dr. Piere-Damien Berger
Louis Brissot
ATMEL Grenoble, France

Dr. Yegor A. Bugayev
National Technical University, Kharkov, Ukraine

Dr. Gencho Danev
Central Laboratoruium of Photoprocesses,
Sofia, Bulgaria

Dr. Heinrich Endert,
Dr. Takashi Mitsumoto
IMRA, Ann Arbor, USA

Dr. Alexander Gorshkov
Saint Petersburg, Russia

Dr. Keyogi Kamatsu
Tohoku University, Sendai, Japan

Prof. Joón-Sung Kuin
Kwangju Institute, Kwangju, Korea

Dr. Myung-Bok Lee
Samsung, Suwon, Korea

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

Dr. Igor Militynski
University of Charkov, Ukraine


Dr. Myagawa;
Dr. Takeshi Okamoto;
Dr. Uchida
Matsushita, Osaka, Japan

Olga V. Poltseva
National Technical University,
„Kharkov Polytechnic Institue“, Kharkov, Ukraine

Viktoriya A. Sevryukova
National Technical University,
„Kharkov Polytechnic Institue“, Kharkov, Ukraine

Prof. Ichirou Yamaguchi
RIKEN Institute, Saitama, Japan

Dr. Evgeniy N. Zubarev
National Technical University,
„Kharkov Polytechnic Institue“, Kharkov, Ukraine



2. Kooperation mit Instituten anderer Länder

2. Cooperation with Institutes in other Countries

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

France:
CEA Saclay, Dr. Francois Kajzar

Israel:
Technion, Haifa, Prof. Abraham Marmor

Ireland:
Trinity College Dublin, Prof. Werner Blau

Italy:
ENEA Rome, Dr. Enrico Masetti

Sincrotrone Trieste, Dr. Richard Walker

University 'La Sapienza', Rom,
Prof. Francesco Michelotti,
Prof. Mario Bertolotti

Portugal:
University Aveiro, Prof. Nikolai Sobolew

Russia:
Lebedev Institute Moscow,
Prof. Alexander V. Vinogradov

Moscow State University,
Prof. Alexander Tikhonravov

Spain:
University of Barcelona,
Prof. Salvador Bosch Puig

Switzerland:
IMT, Universität Neuchatel,
Prof. Hans-Peter Herzig

CSEM Zurich, Dr. Mike Gale

Ukraine:
National Technical University
„Kharkov Polytechnic Institute”,
Prof. V. V. Kondratenko

USA:
Naval Air Warfare Center, China Lake,
Dr. Jean M. Bennett

3. Mitgliedschaften 3. Memberships

Dr. Andreas Bräuer:

- Programm-Komitee-Mitglied der Tagung „Linear Optical Properties of Waveguides“ SPIE USA
Conference Program Committee
„Linear Optical Properties of Waveguides“ SPIE USA
- Mitglied des AMA-Fachausschusses für optische Sensorik
Member of the AMA advisory board for „Optical Sensing“
- Gutachter für die Zeitschriften „Applied Optics“, „Optical Engineering“, „Optics Letters“
Referee for journals „Applied Optics“, „Optical Engineering“, „Optics Letters“
- Gutachter für den Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
Referee of the publishers Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Dr. Angela Duparré:

- Topical Editor Journal „Applied Optics“, Optical Thin Films
- Assessor Board Member of the Australian Research Council
- Chair International Conference „Advanced Characterization techniques for Optical, Semiconductor, and Data Storage Industries“, SPIE Symposium 2002, Seattle USA
- Chair International Conference „Advanced Characterization techniques for Optics, Semiconductors, and Nanotechnologies“, SPIE Symposium 2003, San Diego, USA
- DIN-Normenausschuss NAFuO, AA O18 AK2, „Optische Komponenten und Werkstoffe“
- ISO-Committee Member ISO/TC 172/SC 9/WG 6
- Mitglied des VDI/VDE-GMA Fachausschuss 3.32 „Metrologie in der Mikro- und Nanotechnik“
Member of the committee on „Metrology in Micro- and Nanotechnologies“ of the association of German Engineers (VDI)
- Program Committee Member International Conference „Advances in Optical Thin Films“, St. Etienne, France 2003

Dr. Ramona Eberhardt:

- DIN-Normenausschuss NAFuO, AA F3, „Fertigungsmittel für Mikrosysteme“

Dr. Claudia Gärtner:

- Mitglied im Kooperationsverbund „Präzision aus Jena“
Member of the Cooperation Network: „Precision from Jena“
- Mitglied im OptoNet e.V.
Member of OptoNet e.V.
- Mitglied im DECHEMA Arbeitsausschuss Mikroverfahrenstechnik
Member of DECHEMA working committee „Micro Process Engineering“

Dr. Volker Guyenot:

- Mitglied im Wissenschaftlich-Technischen-Rat der Fraunhofer-Gesellschaft
Member of the Scientific-Technical Advisory Committee of the Fraunhofer-Gesellschaft
- Mitglied der Hauptkommission des Wissenschaftlich-Technischen-Rats der Fraunhofer-Gesellschaft
Member of the Board of the Scientific-Technical Advisory Committee of the Fraunhofer-Gesellschaft
- Kurator im Businessplan-Wettbewerb des Landes Thüringen
Curator of the committee of business competition of Thuringia
- Gutachter bei STIFT
Referee of STIFT
- Member of the Board 27th Int. SPIE Conference # 4771, Seattle 2002

Dr. Norbert Kaiser:

- Member of Program Committee 5th International Conference on Coatings on Glass
- Co-Chair of the „International Symposium on Laser Induced Damage in Optical Materials“, Boulder, USA
- Program-Chair „9th Topical Meeting on Optical Interference Coatings“
Tucson, Arizona
- Vorsitzender des Fachausschusses „Dünne Schichten für die Optik und Optoelektronik“ der Europäischen Forschungsgesellschaft für Dünne Schichten
President of technical committee „Thin Films for Optics and Optoelectronics“ of the European Society of Thin Films
- Chair of High Level Expert Meeting „Design and Technology of Optical Coatings“, Bonassola Italien
- Chair International Conference „Advances in Optical Thin Films“, St. Etienne, France 2003

Prof. Dr. Wolfgang Karthe:

- Sprecher Fraunhofer Institutsverbund Oberflächentechnik und Photonik (VOP)
Speaker of the Fraunhofer Alliance Surface Technology and Photonics
- Wissenschaftlicher Beirat Jenoptik
Scientific Advisory Board of Jenoptik AG
- Wissenschaftlicher Beirat Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme GmbH
Scientific Advisory Board of the Institute Microelectrical and Mechatronical Systems
- Kuratorium Fachhochschule Jena
Board of Curators of the Technical College Jena
- Kuratorium Hermsdorfer Institut für Technische Keramik
Board of Curators of the Hermsdorf-Institute for Technical Ceramics
- Wissenschaftlicher Beirat VDI-Kompetenzfeld Optische Technologien
Advisory Board of the VDI-Competence Field of Optics Technologies
- Wissenschaftsrat der AMA
Scientific Board of AMA
- Wissenschaftlicher Beirat BioRegio e.V.
Scientific Board of BioRegio Association (Bioregio e.V.)
- Board-Mitglied von Journal Microsystem Technology
Board Member Journal Microsystem Technology
- Programmkomitee OPTO 2002 – Kongress
Program Committee OPTO 2002 Congress
- Programmkomitee Sub-Chair CLEO 2003 – Kongress
Program Committee Sub-chair CLEO 2003 Congress
- Programmkomitee Hereaeus-Seminar Mikrooptik 2002
Program Committee Hereaeus Seminar on Microoptics 2002
- Programmkomitee Int. Symp. on Photonics in Measurement
Program Committee Member Int. Symp. on Photonics in Measurement
- Programmkomitee Mikrotechnik Thüringen MTT 2002
Program Committee Member Microtechnology Thuringia MTT 2002
- Arbeitskreis Integrierte Optik
Study group Integrated Optics
- Arbeitskreis Mikrosystemtechnik beim VDI TZ IT Teltow
Study group Microsystem Technology at VDI TZ IT Teltow

- Ausschuss für Forschung und Innovation des Verbandes der Wirtschaft Thüringens
Committee for Scientific and Innovation of the Association of the Thuringian Economy
- Fachausschuss Mikrooptik GMM
Special Committee Microoptics of GMM-Society
- Gutachter Journal Applied Physics
Referee for Journal Applied Physics
Gutachter AiF
Referee for AiF-Society
- Gutachter STIFT
Referee for Thuringian Foundation for Technology and Innovation Promotion (STIFT)
- Vorstandsmitglied OptoNet e.V.
Board Member of OptoNet Association (OptoNet e.V.)

Dr. Gunther Notni:

- AMA Association
- Beirat „Zeitschrift für Angewandte Gewässerökologie“
Editorial Board „Zeitschrift für Angewandte Gewässerökologie“
- VDI/VDE-GMA Fachausschuss 3.32.
„Optische 3-D-Messtechnik“
VDI/VDE-GMA board 3.32.
„Optical 3D-measurement“
- Fachverband Photonik und Präzisionstechnik SPECTARIS, Fachgruppe
„Industrielle Messtechnik und Sensorik“
SPECTARIS Association, board Metering solutions
- Chair Int. Conference „Rapid Prototyping“, u-Rapid, Frankfurt

Dr. Christoph Wächter:

- Programm-Komitee „Integrated Optics Devices VI“ SPIE – The International Society for Optical Engineering“
Program Committee „Integrated Optics Devices VI“ SPIE – The International Society for Optical Engineering“
- Mitglied des Technischen Komitees des Workshops „Optical Waveguide Theory and Numerical Modelling“
Member Technical Committee Workshop “Optical Waveguide Theory and Numerical Modelling“

Dr. Uwe Detlef Zeitner:

- Referee „Optics Express“, „Optics Letters“

4. Besondere Ereignisse
4. Special Events

Winterschule Optische Schichten
Winter school „Optical Coatings“
21.–22. March 2002 in Tabarz

OptoNet Workshop „Optische Schichten“
OptoNet Workshop „Optical Coatings“
30. October 2002 in Jena

Patentanmeldungen

Patents Pending

02F38126
Metallisches Fluorid in Pulver- oder Granulatform, Verfahren zu seiner Herstellung und den Nachweis der Reinheit
Kaiser, N.; Heber, J.; Triebel, W.; Mühlig, Ch.

02F38094
Faseroptischer Abstandssensor
Schreiber, P.; Kudaev, S.; Weichenhain, R.; Ihlemann, J.; Hibbing, M.; Michaelis, A.; Niehoff, W.; Gorelik, V.

02F38128
Optisches Element, Verfahren zu seiner Herstellung und zur Bestimmung seiner optischen Eigenschaften
Kaiser, N.; Heber, J.; Triebel, W.; Mühlig, Ch.

02F40378
Verfahren zur Reduzierung der Grenzflächen von Kunststoffsubstraten sowie derart modifiziertes Substrat und dessen Verwendung
Munzert, P.; Scheler, M.; Uhlig, H.; Schulz, U.; Kaiser, N.

02F40284
Elektrostatisches Halteelement
Kalkowski, G.; Risse, St.

02F40388
Elektrostatischer Chuck und Verfahren zur Herstellung
Eberhardt, R.; Stöckl, W.; Kalkowski, G.; Banse, H.

02F38013
Multichannel Ion Energy Distribution Analyzer
Kaiser, N.; Pulker, H.; Strauss, G.; Stärz, R.

02F38039
Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordination eines Gegenstandes
Notni, G.; Heinze, M.; Kühmstedt, P.

02F40197
Optisches Element und Verfahren zu seiner Herstellung
Kalkowski, G.; Damm, Ch.; Beckert, E.; Leitl, A.

02F38127
Element und Verfahren zu seiner Herstellung, bei dem zwei in Bezug zu mindestens einer Justierachse positionierte Körper stoffschlüssig miteinander verbunden sind
Kalkowski, G.; Damm, Ch.; Beckert, E.; Leitl, A.

02F40601
Ti-Pt-Au/Sn-Schichtsystem zur Realisierung haftfester Lötverbindungen
Eberhardt, R.; Stöckl, W.; Banse, H.; Kaiser, N.; Feigl, T.

02F40599
Verbundbauteil und Verfahren zur Herstellung eines Verbundbauteils
Eberhardt, R.; Stöckl, W.; Banse, H.; Kaiser, N.; Feigl, T.

02F40908
Messanordnung zur Bestimmung organischer und anorganischer Wasserinhaltsstoffe in stehenden und fließenden Gewässern
Meisel, J.; Notni, G.

02F40871-IOF/CZ
Lichtmischstab
Kießling, H.; Symanowski, Ch.; Hoffmann, J.; Geißler, E.; Dr. Trölsch, A.; Zielke, M.

02F40600
Ti-Pt-TiN-Au/Sn-Schichtsystem zur Realisierung haftfester Lötverbindungen
Eberhardt, R.; Stöckl, W.; Banse, H.; Kaiser, N.; Feigl, T.

02F40602
Ti-Pt-Au/Sn-Schichtsystem zur Realisierung haftfester Lötverbindungen
Eberhardt, R.; Stöckl, W.; Banse, H.; Kaiser, N.; Feigl, T.



Patenterteilungen

Patent Awards

100 12 793

Sensorelement zur optischen Detektion von chemischen oder biochemischen Analyten

Danz, N.; Waldhäusl, R.

100 44 522

Optische Anordnung zur Strahlführung

Heimbeck, H.-J.; Heinemann, S.; Höller, F.;
Juranek, H.-J.; Langenbach, E; Sand, R.;
Schreiber, P.

199 51 974

Kinematische Aufhängung

Damm, Ch.; Kischstein, U.; Peschel, T.

196 45 150

Optische Anordnung zur Symmetrierung der Strahlung von Laserdioden

Göring, R.; Poßner, T.; Schreiber, P.

DD 280 169

Verfahren und Anordnung zur Vermessung der Form bzw. Formänderung und unregelmäßigen Körpern mit streuender Oberfläche

Gerber, J.; Schreiber, W.

100 25 741

Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/ oder deren zeitlichen Änderung

Heinze, M.; Notni, G.

100 20 042

Vorrichtung zur Bestimmung der Haftfestigkeit von auf Substraten aufgetragenen Beschichtungen

Harnisch, G.; Schmidt, U.; Schulz, U.

Diplomarbeiten Diploma Theses

Steffen Buschbeck
**Strahlhomogenisierung inkohärenter
Lichtquellen mittels Linsentandemarrays**
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 09/02

Markus Däuber
Master Thesis
**Entwurf und Variantenvergleich
miniaturisierter Ablensysteme für die
Elektronenstrahlolithographie**
Fachhochschule Furtwangen, 04/02

Michael Himmelreich
**Aufbau eines optischen 3-D-Messsystems
und Implementierung der Software**
Fachhochschule Jena, 11/02

Antje Kaless
**Untersuchungen zur Korrelation von subjek-
tiven visuellen Bewertungen der Streulicht-
wirkung rauer Glasoberflächen mit totalen
und winkelaufgelösten Streulichtmessungen**
Fachhochschule Jena, 12/02

Gaby Knuschke
**Analyse der informationstechnischen
Möglichkeiten zur systemunabhängigen
Anbindung des relationalen Datenbank-
systems Oracle 8i an das Internet unter
betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten**
Fachhochschule Jena, 06/02

Ludwig Kuttner
Entwicklung eines Mehrfachfasergreifers
Fachhochschule Jena, 12/02

Kerstin Lau
**Reinigungseigenschaften von Brillengläsern
mit Topcoating**
Fachhochschule Jena, 12/02

Katharina Pforr
**Marketingkonzeption für die Medizin-
technik am Fraunhofer-Institut für
Angewandte Optik und Feinmechanik**
Fachhochschule Erfurt, 09/02

Henrike Trompeter
**Schneller mikrooptischer Schalter
in hybridem Aufbau**
Universität Paderborn, 04/02

Lars Wagner
**Refraktive und Diffraktive Korrektoren
für Kollimatorasphären**
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 05/02

Yvonne Weigel
**Eigenschaften und Haltbarkeit von
Topcoatings auf Brillengläsern**
Fachhochschule Jena, 12/02

Martin Weiss
**Entwicklung eines Greifsystems für
mikrooptische Bauelemente**
Fachhochschule Jena, 08/02

Messebeteiligungen

Science Fair Participation

Control 2002

Fraunhofer-Verbund Vision, Fraunhofer Alliance
Vision 09.04.–12.04.,
Sinsheim, Deutschland, Germany

- **Mobiles multi-view 3-D-Messsystem,**
Mobile multi-view 3-D Measurement System

Hannover Messe 2002

Mikrosystemtechnik in Thüringen,
Micro Technology Thuringia
15.04.–20.04., Hannover, Deutschland, Germany

- **Präzisionssysteme für die Lithographie:**
Wafer-Chucks,
Precision Systems for
Lithography: Wafer Chucks
- **Montage von Mikrosystemen:**
Automatisierte Justage von Glasfaser-
komponenten,
Assembly of Microsystems:
Automated Adjustment of Fibre Optics by
Stroke Impulses
- **Präzisionsmontage u. Mikrobearbeitung:**
Löten mikrooptischer Komponenten,
Microassembly and Micromachining :
Soldering of Micro Optical Components
- **Polymer-Mikrotechnik,**
Polymer Microtechnology

OPTO/MTT 2002

14.05.–16.05., Erfurt, Deutschland, Germany

- **Mikrooptik-Technologie,**
Micro-Optics Technology
- **Mikrooptische Module,**
Micro-Optical Modules
- **Präzisionssysteme für die Lithographie:**
Wafer-Chucks,
Precision Systems for Lithography:
Wafer Chucks
- **Präzisionsmontage u. Mikrobearbeitung:**
Löten mikrooptischer Komponenten,
Microassembly and Micromachining:
Soldering of Micro Optical Components
- **Polymer-Mikrotechnik,**
Polymer Microtechnology

OPTATEC 2002

18.06.–21.06., Frankfurt/Main,
Deutschland, Germany

- **Beschichtungen auf Kunststoffen:**
Antireflexbeschichtungen,
Coatings on Plastic: Antireflection Coatings
- **Beschichtungen für NIR und VIS:**
Multilayer und Nanostrukturen,
NIR and VIS Coatings:
Multilayers and Nanostructures
- **Beschichtungen für UV, EUV und weiche**
Röntgenstrahlung: Multilayer-Spiegel,
UV, EUV and Soft X-Ray
Coatings: Multilayer Mirrors
- **Mikrooptischer Sensor zur Echtzeit-**
charakterisierung von Kunstfasern,
Microoptical Sensor for on-line Characteriza-
tion of Textile Fibers
- **Mikrooptischer Positionssensor: Encoder**
ohne zugehörige Maßverkörperung,
Microoptical Position Sensor: Encoder with-
out Codestrip
- **Präzisionssysteme für die Lithographie:**
Elektrostatische und Vakuum-Chucks,
Precision Systems for Lithography:
Electrostatic and Vacuum Chucks
- **Montage von Mikrosystemen:**
Greifen – Justieren (Automatische
Justierung) – Fügen,
Assembly of Microsystems:
Gripping – Alignment (Automated Adjust-
ment) – Joining
- **Mikrobearbeitung:**
Zerspanen – Strukturieren,
Micromachining:
Microcutting - Microstructuring
- **Polymer-Mikrotechnik: Mikrofluidik und**
Mikrooptische Komponenten,
Polymer Microtechnology: Microfluidic and
Micro-optical Components

Nanotech 2002

26.–28.11., Montreux, Schweiz, Switzerland

- **Mikrofluidik,**
Microfluidic

Euromold 2002

Fraunhofer-Allianz Rapid Prototyping, Fraunhofer
Network Rapid Prototyping
04.12.–07.12., Frankfurt/Main, Deutschland,
Germany

- **Mobiles multi-view 3-D-Messsystem,**
Mobile multi-view 3-D Measurement System

Publikationen **Publications**

Banse, H.; Eberhardt, R.; Stöckl, W.; Kaiser, N.
Laserlöten mikrooptischer Komponenten
In: Tagungsband als DVS-Berichte, Band 221:
„Moderne Lasertechnologien und Ihre Anwendung“, S. 8 (2002), ISBN 3-87155-678-5

Becker, H.; Aschke, L.; Schubert, F.; Lenzen, F.;
Yulin, S.; Feigl, T.; Kuhlmann, T.; Kaiser, N.
**Ion beam sputter deposition of low defect
EUV mask blanks on 6 inch LTEM substrates
in a real production environment**
In: SPIE Proceedings, Vol. 4688 (2002)
p. 503–508, ISBN 0-8194-4434-0

Becker, H.; Gärtner, C.
Polymer based micro-reactors
In: Reviews in Molecular Biotechnology 82
(2001) p. 89–99, ISSN 1389-0352

Beckert, E.; Mohaupt, M.;
Harnisch, G.; Eberhardt, R.
**Handling of microoptical components for
microassembly**
In: SPIE Proceedings, Vol. 4755 (2002)
p. 531–543, ISBN 0-8194-4518-5

Bräuer, A.; Zeitner, U.D.; Schreiber, P.;
Dannberg, P.; Büttner, A.
**Photonen in Bestform – Strahlformung mit
refraktiven mikrooptischen Elementen**
In: Laser + Photonik (2002)1

Büttner, A.; Zeitner, U. D.
**Calculation of the average lenslet shape and
aberrations of microlens arrays from their
far-field intensity distribution**
In: Applied Optics, 41 (2002) 32 p. 6745–6919,
ISSN 0003-6935

Büttner, A.; Zeitner, U.D.
**Wave optical analysis of LED beam shaping
using microlens arrays**
In: Optical Engineering, 41 (2002)
40 p. 2393–2401, ISSN 0091-3286

Danz, N.; Waldhäusl, R.; Bräuer, A.;
Kowarschik, R.
Dipole lifetime in stratified media
In: Journal of the Optical Society of America B,
19 (2002) 3 p. 412–418, ISSN 0740-3224

Duparré, A.; Flemming, M.; Steinert, J.; Reihs, K.
**Optical coatings with enhanced roughness
for ultrahydrophobic, low scatter
applications**
In: Applied Optics, 41 (2002) 16 p. 3294–3298,
ISSN 0003-6935

Duparré, A.; Ferre-Borrull, J.; Gliech, S.; Notni,
G.; Steinert, J.; Bennett, J.
**Surface characterization techniques for
determining Root-Mean-Square roughness
and power spectral densities of optical
components**
In: Applied Optics, 41 (2002) 1 p. 154–171,
ISSN 0740-3224

Eberhardt, R.; H. Banse, H.
Neue Montagetechniken für die Mikrooptik
In: EOS-Workshop Optatec 18.6.2000,
Frankfurt (2002), S. 23–27

Feigl, T.; Heber, J.; Gatto, A.; Kaiser, N.
**Optics Developments in the VUV-soft X-ray
spectral region**
In: Nuclear instruments & methods in physics
research A, 483 (2002) p. 351–356,
ISSN 0168-9002

Feigl, T.; Yulin, S.; Kuhlmann, T.; Kaiser, N.
**Damage resistant and low stress EUV multi-
layer mirrors**
In: Japanese journal of applied physics Part 1, 41
(2002) 6b p. 4082–4085, ISSN 0021-4922

Ferrari, M.; Tenner, I.; Lang, K.; Peschel, T.;
Damm, C.; Müller, E.; Guyenot, V.; Figulla, H. R.
**Hämodynamische Eigenschaften eines Stents
mit eingnähter Aortenbioprothese zum
perkutanen Herzklappenersatz**
In: Tagungsband 67. Jahrestagung der Deutschen
Gesellschaft für Kardiologie-, Herz- und Kreis-
laufforschung 19.–21.4. 2001 Mannheim

Ferré-Borull, J.; Steinert, J.; Duparré, A.
**Extending the capabilities of scanning probe
microscopy for microroughness analysis in
surface engineering**
In: Surface and Interface Analysis, 33 (2002)
2 p. 92–95, ISSN 0142-2421

Gatto, A.; Commandre, M.
**Multiscale mapping technique for the simul-
taneous estimation of absorption and partial
scattering in optical coatings**
In: Applied Optics, 41 (2002) 1 p. 225–234,
ISSN 0003-6935

Gatto, A.; Feigl, T.; Kaiser, N.; Garzella, D.; De
Ninno, G.; Couprie, M.E.; Marsi, M.; Trovo, M.;
Walker et.al.
**Multiscale degradations of storage
ring FEL optics**
In: Nuclear Instruments and Methods in Physics
Research A, 483 (2002) 1–2 p. 172–176,
ISSN 0168-9002

Gatto, A.; Heber, J.; Kaiser, N.; Ristau, D.;
Günster, S.; Kohlhaas, J.; Marsi, M.; Trovo, M.;
Walker, R.P. et.al.
**High-performance UV/VUV optics for the
Storage Ring FEL at ELETTRA**
In: Nuclear Instruments and Methods in Physics
Research A, 483 (2002) 1–2 p. 357–362,
ISSN 0168-9002

Gatto, A.; Thielsch, R.; Heber, J.; Kaiser, N.;
Ristau, D.; Günster, St.; Kohlhaas, J.; Marsi, M.;
Trovo, M.; Walker, R.; Garzella, D.; Couprie, M.E.;
Torchio, P.; Alvisi, M.; Amra C.
**High-performance deep-ultraviolet optics for
free-electron lasers**
In: Applied Optics, 41 (2002) 16 p. 3236–3241,
ISSN 0003-6935

Gliech, S.; Steinert, J.; Duparré, A.
**Light scattering measurements on optical
thin film components at 157 nm and 193 nm**
In: Applied Optics, 41 (2002) 16 p. 3224–3234,
ISSN 0003-6935

Guyenot, V.
**Vollautomatischer Justierautomat
für Glasfasern**
In: Photonik, 34 (2002) 2 S. 8, ISSN 1432-9778

Guyenot, V.
Punktgenaue Mikromontage
In: MM Das Industriemagazin, 44 (2002) 10

Guyenot, V.
**Montage und Justierung mikrooptischer
Bauelemente**
In: Tagungsband EOS-Workshop Optatec
18.6.2002, Frankfurt,
Teil „Trends im Optikdesign“, S. 91–95

Guyenot, V.; Gebhardt, A.; Harnisch, G.;
Damm, C.; Siebenhaar, C.; Peschel, T.;
Rohde, M.; Thaut, M.; Pieper, K.;
Maisenbacher, B.; Nebendahl, B.; Barnhart, D.
**Bitte leise klopfen – Justierautomation für
faseroptische Baugruppen**
In: Laser + Photonik, (2002) 2

Guyenot, V.; Siebenhaar, C.
**Eine neue Methode zur Justierung von
Faseroptikbaugruppen**
In: Tagungsband 47. Internationales Wissen-
schaftliches Kolloquium Technische Universität
Ilmenau 23.–26.9.2000, S. 382–383,
ISSN 0943-7207

Guyenot, V.; Siebenhaar, C.; Peschel, T.; Damm,
C.; Harnisch, G.; Thaut, M.; Rohde, M.
Adjustment robot for fiber optics assemblies
In: SPIE Proceedings Vol. 4771 (2002) p. 61–69,
ISBN 0-8194-4538-X

Heber, J.; Mühlig, C.; Triebel, W.; Danz, N.; Thielsch, R.; Kaiser, N.
193 nm laser induced luminescence in oxide thin films
In: Applied Physics A, 75 (2002) 5 p. 637–640, ISSN 0947-8396

Heber, J.; Mühlig, C.; Triebel, W.; Danz, N.; Thielsch, R.; Kaiser, N.
Deep UV laser induced luminescence in oxide thin films
In: Applied Physics A, 75 (2002) 5 p. 637–640, ISSN 0947-8396

Holzer, W.; Penzkofer, A.; Pertsch, T.; Danz, N.; Bräuer, A.; Kley, E.B.; Tillmann, H.; Bader, C.
Corrugated neat thin-film conjugated polymer distributed-feedback lasers
In: Applied Physics B Lasers and Optics, 74 (2002) 4–5 p. 333–342, ISSN 0946-2171

Kaiser, N.
Interference Coatings for the Ultraviolet Spectral Region
In: International Trends in Applied Optics (2002) p. 145–164, ISBN 0-8194-4510-X

Kaiser, N.
Review of the fundamentals of thin-film growth
In: Applied Optics, 41 (2002) 16 p. 3053–3060, ISSN 0003-6935

Kalkowski, G.; Risse, S.; Guyenot, V.
Electrostatic chuck behaviour at ambient conditions
In: Microelectronic Engineering 61–62 (2002) July, p. 357–361, ISSN 0167-9317

Karthe, W.; Bräuer, A.; Notni, G.; Kaiser, N.; Guyenot, V.
10 Jahre Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik. Von einem Partner auf Probe zum anerkannten Partner der Wirtschaft
In: 4. Jahrbuch zur Technik- und Industrieerschichte (2002) S. 212–241, ISBN 3-931743-56-X

Klemm, S.; Rzanny, R.; Riehemann, S.; Volz, H.-P.; Schmidt, B.; Gerhard, M.D.; Filz, C.; Schönberg, A.; Mentzel, H.-J.; Kaiser, W.A.; Blanz, B.
Cerebral phosphate metabolism in first-degree relatives of patients with schizophrenia
In: The American Journal of Psychiatry, 158 (2001) June, p. 958–960

Kuhlmann, T.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.; Gorelik, T.; Kaiser, U.; Richter, W.
Chromium-scandium multilayer mirrors for the nitrogen K line in the water window region
In: Applied Optics, 41 (2002) 10 p. 2048–2052, ISSN 0003-6935

Kuhlmann, T.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Rekord-Reflexion im Spektralbereich des Wasserfensters
In: Photonik 34 (2002) 2 S. 43, ISSN 1432-9778

Kuhlmann, T.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.; Bernitzki, H.; Lauth, H.
Design and fabrication of broadband EUV multilayer mirrors
In: SPIE Proceedings Vol. 4688 (2002) p. 509–515, ISBN 0-8194-4434-0

Kühmstedt, P.
Praxisbericht: Multi-view 3-D-Messsystem in Rapid Prototyping- und Qualitätssicherungs-Prozessketten
In: Seminar mit Praktikum Optische 3-D-Messtechnik für die Qualitätssicherung in der Produktion, 21.–22.11.2002, Magdeburg, Fraunhofer IFF

Kühmstedt, P.; Notni, G.; Hintersehr, J.; Gerber, J.
Automatically CAD-CAM-System for Dental Purpose – a new Industrial Application
In: Proceedings Euro u-Rapid, Frankfurt Main, 2–3 December 2002, ISBN 3-8167-6227-1

Lehnicke, S.; Löffelbein, B.; Zimmer, O.; Fütting, M.; Burkhardt, T.; Grimme, D.; Gärtner, C.; Piltz, S.
Fertigung von Mikrokomponenten aus Glas
In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 5 (2002) S. 238–242

Munzert, P.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Vakuumbeschichtung von Kunststoffen auf Cycloolefinbasis für optische Anwendungen
In: Vakuum in Forschung und Praxis, 13 (2001) 6, ISSN 0947-076X

Munzert, P.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Beschichtung von Kunststoffen auf Cycloolefinbasis für optische Anwendungen
In: Tagungsband/Zweites Oberflächentechnisches Kolloquium: 28.6.2001 in Merseburg (2001) 2, S. 39–43, ISBN 3-86010-620-1

Nicole, P.; Fourdin, C.; Schaller, M.; Streppel, U.; Braeuer, A.
New 3-D opto-microwave module for signal summation in active antenna applications
In: SPIE Proceedings, Vol. 4829, (2002), p. 1069–1070, ISBN 0-8194-4569-7

Niesing, B.
Smarte Schichten
In: Fraunhofer Magazin (2002) S. 8–12, ISSN 1434-7113

Notni, G.
Selbstkalibrierendes optisches 3-D-Messsystem „Kolibri“ – Ein neuer Ansatz für Reverse Engineering
In: Begleitband zum 3-D-Erfahrungsforum Werkzeug und Formenbau, Berlin 28.2.–1.3.2002, S. 129–140, ISBN 3-7983-1886-7

Notni, G.
Multi-view 3-D-D-Messtechniken auf der Basis Streifenprojektion im produktiven Umfeld
In: Jahrbuch für Optik und Feinmechanik 2002, (2002), S. 115–134, ISBN 3-7949-0663-2

Notni, G.
Robuste Multi-view 3-D-Messtechniken – Systeme und Applikationen
In: Tagungsband 7. Symposium Bildverarbeitung (2002), 13.–14.6.2002 Ostfildern

Notni, G.
Streifenprojektion
In: Tagungsband Seminar mit Praktikum Optische 3-D-Messtechnik für die Qualitätssicherung in der Produktion, 21.–22.11.2002, Magdeburg, Fraunhofer IFF

Notni, G.; Kühmstedt, P.; Heinze, M.
System complet de scanning 3-D sur 360 degrés pour applications anatomiques et industrielles
In: Tagungsband Scanning (2002), 24–25 April 2002 Paris

Notni, G. H.
Simultane 3-D-Ganzkörperform- und Farberfassung
In: Vision, Leitfaden zu praktischen Anwendungen der Bildverarbeitung (2002), S. 7–9, ISBN 3-8167-6094-5

Notni, G. H.; Kühmstedt, P.; Heinze, M.; Notni, G.
Method for Simultaneous Measurement of 3-D Shape and Color Information of Complex Objects
In: Tagungsband International Symposium on Photonics in Measurement: Tagung Aachen 11.–12.6. 2002, p. 293–298, ISBN 3-18-091694-X

Notni, G.H.; Kühmstedt, P.; Heinze, M.; Notni, G.
Simultaneous Measurement of 3-D Shape and Color of Objects
In: Spie Proceedings Vol. 4778, (2002), p. 74–82, ISBN 0-8194-4545-2

- Pertsch, T.; Zentgraf, T.; Peschel, U.; Bräuer, A.; Lederer, F.
Beam Steering in waveguide arrays
 In: Applied Physics Letters, 80 (2002),
 18 p. 3247–3249, ISSN 0003-6951
- Pertsch, T.; Zentgraf, T.; Peschel, U.;
 Bräuer, A.; Lederer, F.
**Anomalous Refraction and Diffraction in
 Discrete Optical Systems**
 In: Physical Review Letters, 88 (2002) 9
 p. 093901-1–093901-4, ISSN 0031-9007
- Reihs, K.; Duparré, A.; Flemming, M.
**Design und Charakterisierung optischer
 Schichten erhöhter Rauheit mit ultrahydro-
 phoben und streuarmlen Eigenschaften**
 In: Photonik, 34 (2002) 4 S. 36–38,
 ISSN 1432-9778
- Reitemeier, R.; Notni, G.; Fichtner, D.; Heinze,
 M.; Schöne, Ch.; Schmidt, A.
**Verfahren zur digitalen Darstellung von
 Körperoberflächen für Epithesen,
 Strahlenapplikatoren und Atemmasken**
 In: DZZ – Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift, 57
 (2002) 10 S. 623–625, ISSN 0012-1029
- Riehemann, S.; Volz, H.-P.; Stützer, P.; Smesny, S.;
 Gaser, C.; Sauer, H.
**Hypofrontality in neuroleptic-naive schizo-
 phrenic patients during the Wisconsin Card
 Sorting Test – a fMRI study**
 In: European Archives of Psychiatry and Clinical
 Neurosciences, 251 (2001) 2 p. 66–71,
 ISSN 0940-1334
- Risse, S.
**Luftlager aus Glas und Glaskeramik für
 optische Anwendungen**
 In: Laser Magazin, (2002) 4 S. 29–31,
 ISSN 0945-8875
- Ristau, R.; Gunster, S.; Bosch, S.; Duparre, A.;
 Masetti, E.; Ferre-Borrull, F.; Kiriakidis, G.;
 Peiro, F.; Quesnel, E.; Tikhonravov, A.
**Ultraviolet Optical and Microstructural Pro-
 perties of MgF₂ and LaF₃ coatings deposited
 by Ion-Beam Sputtering and Boat and
 Electron-Beam Evaporation**
 In: Applied Optics, 41 (2002) 16 p. 3196–3204,
 ISSN 0947-8396
- Rötting, O.; Röpke, W.; Becker, H.; Gärtner, C.
Polymer microfabrication technologies
 In: Micro System Technologies, 8 (2002)
 1 p. 32–36, ISSN 0946-7076
- Schreiber, P.; Zeitner, U. D.
**Design and analysis of a microoptical speckle
 displacement sensor**
 In: SPIE Proceedings Vol. 4768, (2002)
 p. 93–100, ISBN 0-8194-4535-5
- Schulz, U.
**Vakuumbeschichtung von transparenten
 Kunststoffen für optische Anwendungen**
 In: Kunststoffverarbeitung Deutschland,
 Fachkatalog Verlag Kuhn (2002) S. 22–23,
 ISSN 0175-6753
- Schulz, U.; Schallenberg, U. B.; Kaiser, N.
**Antireflection coating design
 for plastic optics**
 In: Applied Optics 41 (2002) 16 p. 3107–3110,
 ISSN 0003-6935
- Shipulin, A.; Onishchukov, G.; Michaelis, D.; Rie-
 del, P.; Peschel, U.; Lederer, F.
**Fiber Transmission system with semiconduc-
 tor optical amplifiers without in-line filtering**
 In: Optics Communication, 209 (2002)
 4–6 p. 309–319, ISSN 0030-4018
- Siebenhaar, C.; Guyenot, V.; Gebhardt, A.;
 Harnisch, G.; Damm, C.; Peschel, T.;
 Rohde, M.; Thaut, M.
**Theory and application of an alternative
 adjustment method based on transfer of
 momentum**
 In: Proceedings 3rd International Conference and
 4th General Meeting EUSPEN 2002 Eindhoven
 University of Technology (2002) p. 147–150
- SieB, G.; Buß, W.
**Design and realization of a fast controur
 and colour sensor module for industrial
 applications**
 In: OPTO (2002), Proceedings International
 Conference Optoelectronics,
 Optical Sensors & Measuring Techniques,
 14–16 May 2002, Erfurt, p. 301–309
- Streppel, U.
**Herstellung mikrooptischer Elemente mittels
 selbstorganisierter Prozesse**
 In: Photonik, 5 (2002), S. 36, ISSN 1432-9778
- Streppel, U.; Dannberg, P.; Wächter, C.;
 Braeuer, A.
**Control of self-writing processes in photo-
 polymerizable resins for the fabrication of
 micro-optical structures**
 In: SPIE Proceedings, Vol. 4829 (2002),
 p. 763–764, ISBN 0-8194-4569-7
- Streppel, U.; Dannberg, P.; Wächter, C.; Bräuer,
 A.; Fröhlich, L.; Houbertz, R.; Popall, M.
**New wafer-scale fabrication method for
 stacked optical waveguide interconnects
 and 3-D microoptic structures using photo-
 responsive (inorganic-organic hybrid-)
 polymers**
 In: Optical Materials, 21 (2002) p. 475–483,
 ISSN 1056-5825
- Streppel, U.; Dannberg, P.; Wächter, C.; Bräuer,
 A.; Nicole, P.
**Optical signal summation with multilayer
 integrated optical fan-out devices**
 In: SPIE Proceedings, Vol. 4829 (2002),
 p. 471–472, ISBN 0-8194-4569-7
- Thielsch, R.; Gatto, A.; Heber, J.; Kaiser, N.
**A comparative study of the UV optical and
 structural properties of SiO₂, Al₂O₃, and
 HfO₂ single layers deposited by reactive
 evaporation, ion-assisted deposition and
 plasma ion-assisted deposition**
 In: Thin Solid Films, 410 (2002) 1–2 p. 86–93,
 ISSN 0040-6090
- Thielsch, R.; Gatto, A.; Kaiser, N.
**Mechanical stress and thermal-elastic
 properties of oxide coatings for use in the
 deep-ultraviolet spectral region**
 In: Applied Optics 41 (2002) 16 p. 3211–3217,
 ISSN 0003-6935
- Tikhonravov, A. V.; Trubetskov, M. K.;
 Kokarev, M. A.; Amotchkina, T. V.; Duparré, A.;
 Quesnel, E.; Ristau, R.; Gunster, S.
**Effect of systematic errors in spectral
 photometric data on the accuracy of deter-
 mination of optical parameters of dielectric
 thin films**
 In: Applied Optics, 41 (2002) 13 p. 2555–2560,
 ISSN 0003-6935
- Torchio, P.; Gatto, A.; Alvisi, M.; Albrand, G.;
 Kaiser, N.; Amra, C.
**High-reflectivity HfO₂/SiO₂ ultraviolet
 mirrors**
 In: Applied Optics, 41 (2002) 16 p. 3256–3261,
 ISSN 0003-6935
- Trovó, M.; Clarke, J. A.; Couprie, M. E.;
 Dattoli, G.; Garzella, D.; Gatto, A.; Gianessi, L.;
 Günster, S.; Kaiser, N.; Marsi, M.; Poole, M. W.;
 Ristau, D.; Walker, R. P.
**Operation of the European storage ring FEL
 at ELLETRA down to 190 nm**
 In: Nuclear Instruments and Methods in Physics
 Research, 483 (2002) 1–2 p. 157–161,
 ISSN 0029-554X

Uhlig, H.; Kaiser, N.

Blocking improved narrow-band filters for the UV-B region

In: Optical Engineering, 40 (2001) 10 p. 7, ISSN 0091-3286

Waldhäusl, R.; Danz, N.; Schmidt, K.; Vetter, D.
Planarer Biochip auf der Basis integriert-optischer Wellenleiter

In: DBU Initiativen zum Umweltschutz, 41 (2002) S. 143–150, ISBN 3-5030-6645-4

Yulin, S.; Feigl, T.; Kuhlmann, T.; Kaiser, N.; Fedorenko, A. I.; Kondratenko, V. V.; Poltseva, O. V.; Sevryukova, V. A.; Zolotaryov, A. Yu.; Zubarev, E. N.

Interlayer transition zones in Mo/Si superlattices

In: Journal of applied physics, 92 (2002) 3 p.1216–1220, ISSN 0021-8979

Zeitner, U. D.; Dannberg, P.

Double-sided hybrid microoptical elements combining functions of multistage optical systems

In: SPIE Proceedings Vol. 4440 (2001) p. 44–50, ISBN 0-8194-4154-6

Zeitner, U. D.; Wyrowski, F.

Design of unstable laser resonators with userdefined mode shape

In: IEEE Journal of quantum electronics, 37 (2001)12 p. 1594–1599, ISSN 0018-9197

Zeitner, U. D.; Wyrowski, F.

Design of hard-edged unstable laser resonators with userdefined mode shape

In: SPIE Proceedings, Vol. 4436 (2001) p. 16–20, ISBN 0-8194-4150-3

Zimmermann, K.; Gerlach, E.; Huang, J.; Siebenhaar, C.

Simulation von biologisch-inspirierten Antrieben

In: First International Symposium on Mechatronics, 21.–22.3.2002, Chemnitz, ISBN 3-00.-007504-6

**Vorträge und Kongressposter
Lectures and Poster Sessions**

Becker, H.; Sobel, F.; Aschke, L.; Renno, M.; Krieger, J.; Buttgereit, U.; Hes, G.; Lenzen, F.; Knapp, K.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kuhlmann, T.; Kaiser, N.

High-performance 6-inch EUV mask blanks produced under real production condition by ion-beam sputter deposition

Lecture: 2nd Annual BACUS Symposium on Photomask Technology, 30 September–4 October 2002, Monterey, California, USA

Becker, H.; Aschke, L.; Schubert, B.; Lenzen, F.; Yulin, S.; Kuhlmann, T.; Feigl, T.; Kaiser, N.

Ion beam sputter deposition of low defect EUV mask blanks on 6 inch LTEM substrates in a real production environment

Lecture: SPIE's 27th International Symposium on Microlithography, 8 March 2002, Santa Clara, USA

Bernitzki, H.; Lauth, H.; Weißbrodt, P.; Feigl, T.; Kaiser, N.

Coatings for Next Generation

Photolithography – some aspects

Lecture: Lambda Physik Fourth Annual 157 nm/EUV Symposium, 10–11 April 2002, Ft. Lauderdale, U.S.A.

Bräuer, A.

Modifikation optischer Eigenschaften durch Mikrostrukturierung

Vortrag (eingeladen): 18.11. 2002, ETH Zürich, Schweiz

Bräuer, A.

Technologies for complex microoptical systems

Lecture (Invited): 17.7.2002, Samsung, Korea

Bräuer, A.

UV-polymerization and its application for high precision microoptical elements

Lecture (Invited): Seoul-University 2.7.2002, Seoul-University, Korea

Bräuer, A.; Streppel, U.; Pertsch, T.; Peschel, U.; Lederer, F.

Discrete media and anomalous light propagation

Lecture (Invited): ISMOA 2002 in Bandung, Indonesia

Bräuer, A.; Streppel, U.; Pertsch, T.; Peschel, U.; Lederer, F.

Anomalous light propagation and diffraction control

Lecture: SPIE's 47th Annual Meeting 7–11 July 2002, Seattle, USA

Bräuer, A.; Streppel, U.; Pertsch, T.; Peschel, U.; Lederer, F.

3-D pattern formation and anomalous light propagation

Lecture (Invited): Nanophotonics 26.8.–29.8.2002, Aix-en-provence, France

Büttner, A.

Experimental Realization of generalized Laser Resonator concepts

Lecture: 274. Heraeus – Seminar „Microoptics“ 22.–24.4.2002, Bad Honnef, Germany

Büttner, A.; Zeitner, U. D.

Experimentelle Umsetzung generalisierter Resonatorkonzepte

Vortrag: 103. DGaO Jahrestagung 2002, 22.–25.5.2002, Innsbruck, Österreich

Büttner, A.; Zeitner, U. D.

Bestimmung gemittelter Formfehler von Mikrolinsenarrays aus deren Fernfeldintensitätsverteilung

Poster: 103. DGaO Jahrestagung 2002, 22.–25.5.2002, Innsbruck, Österreich

Claessen, R.; Figueiredo, P.; Stahlschmidt, O.; Duparré, A.; Reihs, K.

Durable Self Cleaning Glass coatings

Lecture: 4th JCCG November 2002, Braunschweig, Germany

Claessen, R.; Reihs, K.; Figueiredo, P.; Stahlschmidt, O.; Duparré, A.

Towards a true „No-Clean“ Property: Highly durable ultra-hydrophobic coatings for optical applications

Lecture: European Coatings Conference 6.–7.6.2000, Berlin, Germany

- Duparré, A.
System for measuring VUV light scattering, transmittance and reflectance: VULSTAR
Lecture: Fourth International EUV/157 nm Technology Symposium, 10–12 April 2002, Fort Lauderdale, USA
- Duparré, A.; Benkert, N.; Glied, S.
Characterizing CaF₂ for VUV optical components: roughness, surface scatter, and bulk scatter
Lecture: 7th International Workshop on Laser Beam and Optics Characterization, 18–20 September 2002, Boulder, USA
- Duparré, A.; Flemming, M.; Steinert, J.
Design optischer Schichtsysteme mit ultrahohen Eigenschaften und geringer Lichtstreuung
Vortrag: 103. DGaO Jahrestagung 2002, 22.–25.5. 2002, Innsbruck, Österreich
- Duparré, A.; Glied, S.
Optimization of the instrumentation for total scatter measurement at 157 nm
Lecture: The international symposium on optical science and technology, SPIE's 47th annual meeting, 7–11 July 2002, Seattle, Washington, USA
- Duparré, A.; Notni, G.
Charakterisierung nanorauer Oberflächen
Vortrag: DAKOM 2002, Darmstadt, Deutschland
- Eberhardt, R.
Mikrooptische Bausteine für die modulare Mikrosystemtechnik
Vortrag (eingeladen): FORUM „Modulare Mikrosysteme“ im VDMA, 10.10.02, Frankfurt/Main, Deutschland
- Eberhardt, R.; Banse, H.
Neue Montagetechniken für die Mikrooptik
Vortrag: EOS-Workshop Optatec 2002, 18.6.2002, Frankfurt/Main, Deutschland
- Eberhardt, R.; Mohaupt, M. ;
Erfahrungen bei der Montage von Mikrosystemen
Vortrag (eingeladen): Symposium Reinraumtechnik und Mikrosystemtechnik 11.9.02, Jena, Deutschland
- Feigl, T.
Beschichtungen für den EUV-Spektralbereich und weiche Röntgenstrahlung
Vortrag: 6. Optatec, 21 June 2002, Frankfurt/Main, Deutschland
- Feigl, T.
EUV- and X-Ray optics
Lecture: Military University of Technology, 19 November 2002, Warsaw, Poland
- Feigl, T.; Kuhlmann, T.; Yulin, S.; Kaiser, N.
Design and fabrication of broadband and narrowband Mo/Si multilayer mirrors
Poster: 6th International Conference on the Physics of X-Ray Multilayer Structures, 3–7 March 2002, Chamonix, France
- Feigl, T.; Yulin, S.; Kuhlmann, T.; Kaiser, N.
EUV- und Röntgensichten
Vortrag: OptoNet-Workshop, 30. Oktober 2002, Jena, Deutschland
- Feigl, T.; Heber, J.; Gatto, A.; Kaiser, N.
Optics Developments in the VUV – Soft X-Ray Spectral Region
Lecture: 31.5.2002, Kharkiv State University, Ukraine
- Gärtner, C.; Stegemann, E.-M.
Microfluidic ChipShop – Das Labor auf dem Mikrochip
Vortrag: Gründerseminar – Sommerakademie der Friedrich-Schiller-Universität, 23.9.2002, Jena, Deutschland
- Gärtner, C.; Becker, H.
Entwicklung von polymerbasierten Mikrofluidik-Komponenten
Vortrag: Workshop „Chemische und biologische Mikrolabortechnik“, 20.–22.2.2002, Ilmenau, Deutschland
- Gärtner, C.; Rötting, O.; Becker, H.
Polymer based microfluidic devices
Poster: Statusseminar modulare Mikroverfahrenstechnik 28.2.2002, Frankfurt/Main, Deutschland
- Glied, S.; Duparré, A.
Results of a „Round Robin“ experiment as reflectivity at a wavelength of 1,06 microm
Poster: 34. Annual Symposium on Optical Materials for High Power Laser 16–18 September 2002, Boulder, USA
- Glied, S.; Gessner, H.; Duparré, A.
Angle resolved scatter measurement in the VUV spectral region
Lecture: The international symposium on optical science and technology, SPIE's 47th annual meeting, 7–11 July 2002, Seattle, Washington, USA
- Glied, S.; Geßner, H.; Duparré, A.
System for measuring angle resolved and total light scattering, transmittance and reflectance at 193 nm and 157 nm
Lecture: 7th International Workshop on Laser Beam and Optics Characterization, 18–20 September 2002, Boulder, USA
- Guyenot, V.
Montage und Justierung mikrooptischer Bauelemente
Vortrag: EOS-Workshop Optatec 2002 Teil „Trends im Optikdesign“ 18.6.2002, Frankfurt/Main, Deutschland
- Guyenot, V.;
Montagetechnologien für Mikrooptik
Vortrag: Forum zur OPTATEC 2002, 20.06.02, Frankfurt/Main, Deutschland
- Guyenot, V.; Siebenhaar, C.
Eine neue Methode zur Justierung von Faseroptikbaugruppen
Vortrag: 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium Technische Universität Ilmenau 23.–26.9.2002, Deutschland
- Guyenot, V.; Siebenhaar, C.; Peschel, T.; Damm, C.; Harnisch, G.; Thaut, M.; Rohde, M.
Adjustment robot for fiber optics assemblies
Lecture: Annual meeting 2002 Seattle, Washington, USA
- Heber, J.; Mühlig, C.; Triebel, W.; Danz, N.; Thielsch, R.; Kaiser, N.
Luminescence in UV thin films
Lecture: 34th Boulder Damage Symposium, 16–18 September 2002, Boulder, USA
- Houbertz, R.; Fröhlich, L.; Popall, M.; Streppel, U.; Dannberg, P.; Wächter, C.; Bräuer, A.
Inorganic-Organic Hybrid Materials for Application in Optical Devices
Poster: ICCG, 4th International Conference on Coatings on Glass 3–7 November 2002, Braunschweig, Germany
- Kaiser, N.
Grundlagenuntersuchungen zur Erzeugung beschichteter ultrapräziser optischer Oberflächen
Vortrag: Kongress NanoDE, Innovation durch Nanotechnologie am 6.–7.5.02 im Bundeshaus Bonn, Themenforum 'Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung', Deutschland

Kaiser, N.
Optical Coatings for Extreme Ultraviolet Radiation and for Abrasion Resistant Antireflection Coatings for Plastics
Lecture: Symposium „New Coating Technologies in Precision Optics and Telecom“, 6.–20.3.2002; 7.3. Symp. in Alzenau;
11.3. Symp. in Shenzhen, China;
13.3. Symp. in Chung Li, Taiwan;
15.3. Symp. in Tokyo, Japan;
18.3. Symp. in Los Angeles, USA

Kaiser, N.
Optische Schichtsysteme für den Ultraviolett-Bereich
Vortrag: 5. Otti Fachforum Schichten auf Glas, 16.–17.04.2002, Regensburg, Deutschland

Kaiser, N.
Schichtdesign
Vortrag: 5. Otti Fachforum Schichten auf Glas, 16.–17.4.2002, Regensburg, Deutschland

Kaiser, N.
Short Course „Coatings on Plastics“
Lecture (Invited): 4th International Conference on Coatings on Glass, 3.–7.11.2002, Braunschweig, Germany

Kaiser, N.
Symposium Welcome
Lecture (Invited): 34th Boulder Damage Symposium, 16.–18.9.2002, Boulder, USA

Kaiser, N.
Optik metallischer Nanostrukturen
Vortrag: 3. Otti Fachforum Nanotechnologie, 22.–23.10.2002, Regensburg, Deutschland

Kaiser, N., Kuhlmann, T., Feigl, T., Yulin, S.
Broadband and narrowband EUV multilayer mirrors
Lecture: 5th Symposium of European Vacuum Coaters, Anzio 2002
Organized by Romana Film Sottili, September 30th–October 2nd 2002, Anzio (Rome) Italy

Kalkowski, G.; Guyenot, V.
Electrostatic chucks for vacuum lithography
Lecture: 1. International EUV Chucking and Metrology Workshop, 2.7.2002, München, Germany

Kopp, S.; Zenk, W.; Kühmstedt, P.; Notni, G.; Geller, R.; Zöllner, F.
G-Scan – ein neues Verfahren zur 3-D-Erkennung des Gesichtes
Vortrag: Zahnmedizinerveranstaltung 1.–5.5.2002, Kampen, Deutschland

Kozhevnikov, I.V.; Asadchikov, V.E.; Bukreeva, I.N.; Duparré, A.; Krivonosov, Y.S.; Metzger, T.H.; Morawe, C.; Pyatakhin, M.V.; Steinert, J.; Ziegler, E.
X-ray and AFM study of the roughness of growing W and B4C films, and W/B4C multilayer mirrors
Lecture: International Conference on „Physics of x-ray multilayer structures“ (PXRMS), 2–7 March 2002 Zahnmedizinerveranstaltung, Chamonix, France

Kuhlmann, T.
Beschichtungen für den EUV-Spektralbereich und weiche Röntgenstrahlung
Vortrag: 6. Optatec, 21. Juni 2002, Frankfurt/Main, Deutschland

Kuhlmann, T.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.
EUV multilayer mirrors with tailored spectral reflectivity
Lecture: SPIE's 47th International Symposium on Optical Science and Technology, 11 July 2002, Seattle, USA

Kuhlmann, T.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Design and fabrication of broad- and narrowband EUV multilayer mirrors
Lecture: 31.5.2002, Kharkiv State University, Ukraine

Kühmstedt, P.
Praxisbericht: Multi-view 3-D-Messsystem in Rapid Prototyping- und Qualitätssicherungs-Prozessketten
Vortrag: Seminar mit Praktikum Optische 3-D-Messtechnik für die Qualitätssicherung in der Produktion, 21.–22.11.2002, Magdeburg, Fraunhofer IFF, Deutschland

Kühmstedt, P.; Notni, G.; Hintersehr, J.; Gerber, J.
Automatically CAD-CAM-System for Dental Purpose – a new Industrial Application
Lecture: Euro u-Rapid, 2–3 December 2002, Frankfurt/Main, Germany

Kühmstedt, P.; Notni, G.; Gerber, J.
Anforderungen an die Vermessung von Gebissabdrücken mit optischen 3-D-Digitalisierern
Poster: Marburger Gipstagung 10.–11. September 2002, Marburg/ Tagungsbericht zur Marburger Gipstagung 2002, Deutschland

Kühmstedt, P.; Notni, G.; Heinze, M.
Aufsätze für eine neue Verbindung von 3-D- und 2-D-Datenaufnahme und die Erfassung von Lichtkanten und Gestaltungslinien
Poster: 103. DGaO Jahrestagung 2002, 22.–25.5. 2002, Innsbruck, Österreich

Michaelis, D.; Peschel, U.; Skryabin, D.; Lederer, F.; Firth, W. J.
The origin of motion of solitary waves near Hopf-bifurcations
Lecture: Topical Meeting „Nonlinear guided waves and their applications“ 1–4 September 2002, Stresa, Italy

Michaelis, D.; Peschel, U.; Skryabin, D. V.; Lederer, F.; Firth, W. J.
Oscillation induced Motion in dissipative systems
Lecture: International Quantum Electronic Conference 2002, Moskov, Russia

Mohaupt, M.; Gengenbach, U.
Standardisierung in der Mikrosystemtechnik – Ein Überblick
Vortrag: Symposium Reinraumtechnik und Mikrosystemtechnik, 11.9.2002, Jena, Deutschland

Munzert, P.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Hochtransparente Thermoplaste in plasma-gestützten PVD-Beschichtungsprozessen
Vortrag: Tagungsband Polymerwerkstoffe 2002, Halle/Saale, Sep. 2002, Deutschland

Munzert, P.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Transparent thermoplastic polymers in plasma-assisted coating processes
Poster: Tagungsband Plasma Surface Engineering 2002, Sep. 2002, Garmisch-Partenkirchen, Germany

Nicole, P.; Fourdin, C.; Schaller M.; Streppel, U.; Bräuer, A.

New 3-D opto-microwave module for signal summation in active antenna applications

Lecture: ICO 2002-Konferenz
25–30 August 2002, Florenz, Italy

Notni, G.

Optische 3-D-Digitalisertechniken für die virtuelle und praktische Medizin

Vortrag: 315. Jenaer Carl-Zeiss-Optikkolloquium
17.9.2002, Jena, Deutschland

Notni, G.

Robuste Multi-view 3-D-Messtechniken – Systeme und Applikationen

Vortrag: 7. Symposium Bildverarbeitung 2002,
13.–14.6.2002 Ostfildern, Deutschland

Notni, G.

Selbstkalibrierendes optisches 3-D-Messsystem „Kolibri“ – Ein neuer Ansatz für Reverse Engineering

Vortrag: 3-D-Erfahrungsforum Werkzeug und Formenbau, Berlin 28.2.–1.3.2002, Deutschland

Notni, G.

Streifenprojektion

Vortrag: Seminar mit Praktikum Optische 3-D-Messtechnik für die Qualitätssicherung in der Produktion, 21.–22.11.2002 Magdeburg, Fraunhofer IFF, Deutschland

Notni, G.; Kühmstedt, P.; Heinze, M.

System complet de scanning 3-D sur 360 degrés pour applications anatomiques et industrielles

Lecture: Scanning 2002, 24–25 April 2002, Paris, France

Notni, G.; Recknagel, R.-J.; Kowarschik, R.

Hochauflösende Oberflächencharakterisierung unter Anwendung von Waveletmethoden

Vortrag: Darmstädter Kolloquium für optische Messtechnik (DAKOM) 2002, 27.2.2002, Darmstadt, Deutschland

Notni, G. H.; Kühmstedt, P.; Heinze, M.; Notni, G.
Kombinative Multi-view 3-D-/2-D-Messtechniken

Vortrag: 47. Internationales wissenschaftliches Kolloquium, 23.–26.9.2002, TU Ilmenau, Deutschland

Notni, G. H.; Kühmstedt, P.; Heinze, M.; Notni, G.

Method for Simultaneous Measurement of 3-D Shape and Color Information of Complex Objects

Lecture: International Symposium on Photonics in Measurement 11.–12.6. 2002, Aachen, Germany

Notni, G. H.; Kühmstedt, P.; Heinze, M.; Notni, G.

Simultaneous Measurement of 3-D Shape and Color of Objects

Lecture: SPIE's 47th Annual Meeting Interferometry XI: Applications (AM 141) 7–11 July 2002, Seattle, Washington, USA

Riehemann, S.; Palme, M.; Eichler, U.; Koschmieder, I.; Luther, E.; Damm, C.; Notni, G.

Beleuchtungskonzepte zum Einsatz reflektierender LCOS und DMD-Microdisplays am Beispiel einer digital projizierenden Spaltlampe

Poster: 103. DGaO Jahrestagung 2002, 22.–25.5.2002, Innsbruck, Österreich

Schreiber, P.; Buß, W.; Rosenberger, R.; Zeitner, U. D.

Design und Aufbau eines mikrooptischen Speckle-Positionssensors

Vortrag: 103. DGaO Jahrestagung 2002, 22.–25.5.2002, Innsbruck, Österreich

Schulz, U.

Beschichtung von Kunststoffen für die Optik

Vortrag: OTTI-Seminar 17.4.2002, Regensburg, Deutschland

Schulz, U.

Beschichtung von Kunststoffen für die Optik

Vortrag: OTTI-Seminar 19.9.2002, Würzburg, Deutschland

Schulz, U.; Schallenberg, U. B.; Kaiser, N.

Entspiegelung von transparenten Kunststoffen

Vortrag: 10. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium (NDVaK) 17.–18.10.2002, Dresden, Deutschland

Schulz, U.; Schallenberg, U. B.; Kaiser, N.

Scratch resistant antireflective coating for plastic substrates

Lecture: 4th International Conference on Coatings on Glass (4.ICCG) 4.–7.11.2002, Braunschweig, Germany

Schulz, U.; Schallenberg, U. B.; Kaiser, N.

Symmetrical periods in AR-coatings for plastic optics

Lecture: 5th Symposium of European Vacuum Coaters, 30.9.–2.10.2002, Anzio, Italy

Steinert, J.; Gliech, S.; Duparré, A.

Oberflächenqualität und Streuverluste von CaF₂ für Anwendungen in der UV-Mikrolithografie

Vortrag: 103. DGaO Jahrestagung 2002, 22.–25.5.2002, Innsbruck, Österreich

Stenzel, O.

Oberflächenplasmonen in dünnen Schichten

Vortrag: OptoNet-Workshop, 30. Oktober 2002, Jena, Deutschland

Streppel, U.; Dannberg, P.; Wächter, Ch.; Bräuer, A.

Control of self-writing processes in photo-polymerizable resins for the fabrication of micro-optical structures

Lecture/Poster: ICO 2002-Konferenz
25–30 August 2002, Florenz, Italy

Streppel, U.; Dannberg, P.; Wächter, C.; Bräuer, A.; Nicole, P.

Optical signal summation with multilayer integrated optical fan-out devices

Lecture/Poster: ICO 2002-Konferenz
25–30 August 2002, Florenz, Italy

Streppel, U.; Wächter, C.; Dannberg, P.; Bräuer, A.; Kowarschik, R.

Erzeugung mikrooptischer Elemente durch Strukturierung von Polymeren mittels selbstorganisierter Prozesse

Vortrag: 103. DGaO Jahrestagung 2002, 22.–25.5.2002, Innsbruck, Österreich

Wagner, L.; Schreiber, P.

Refraktive und Diffraktive Korrektoren für Kollimatorasphären

Poster: 103. DGaO Jahrestagung 2002, 22.–25.5.2002, Innsbruck, Österreich

Yulin, S.; Kuhlmann, T.; Feigl, T.; Kaiser, N.

Reflectivity and stability of Cr/Sc multilayers for the Soft X-ray range

Lecture: 6th International Conference on the Physics of X-Ray Multilayer Structures, March 3–7 2002, Chamonix, France

Yulin, S.; Kuhlmann, T.; Feigl, T.; Kaiser, N.

Reflectivity and stability of Cr/Sc multilayers for the Soft X-ray range

Poster: SPIE's 47th International Symposium on Optical Science and Technology, 11.7.2002, Seattle, USA

Yulin, S.; Kuhlmann, T.; Feigl, T.; Kaiser, N.

Reflectivity and stability of Cr/Sc multilayer mirrors

Lecture: 31.5.2002, Kharkiv State University, Ukraine

Zeitner, U.D.; Karthe, W.

Modelling of microoptical systems

Lecture: 274. Heraeus – Seminar „Microoptics“ 22.–24.4.2002, Bad Honnef, Germany

Zeitner, U. D.; Kaufmann, S.; Kley, E.–B

Mikrooptisches Sensorsystem zur Bestimmung der Doppelbrechung von Textilfasern

Vortrag: 103. DGaO Jahrestagung 2002, 22.–25.5.2002, Innsbruck, Österreich

Zubarev, E.N.; Kondratenko, V.V.; Sevryukova, V.A.; Pinegin, V.I.; Penkov, A.V.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kuhlmann, T.; Kaiser, N.

The structure of interfaces in as-deposited, annealed and irradiated Mo/Si multilayers

Poster: 12th International Conference on the Thin Films (ICTF-12), 15–20 September 2002, Bratislava, Slovakia

Zubarev, E.N.; Kondratenko, V.V.; Sevryukova, V.A.; Zhurba, A.V.; Rubets, S.P.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kuhlmann, T.; Kaiser, N.

Influence of substrate bias voltages on the structure of Mo/Si multilayers

Lecture: 12th International Conference on the Thin Films (ICTF-12), 15–20 September, 2002, Bratislava, Slovakia

Zubarev, E.N.; Kondratenko, V.V.; Sevryukova, V.A.; Zhurba, A.V.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kuhlmann, T.; Kaiser, N.

Influence of substrate bias voltages on the structure of Mo/Si multilayers

Lecture: 6th International Conference on the Physics of X-Ray Multilayer Structures, 3–7 March 2002, Chamonix, France

Bahn/Busverbindung

(ca. 20 Minuten incl. Gehweg)

Ab Bahnhof Jena-Paradies (Nord-Süd-Verbindung) ca. 5 Minuten Fußweg in die Innenstadt. Von dort aus ab Teichgraben mit den Linien 10, 13 oder 40 in Richtung Burgau oder Winzerla.

An der Haltestelle „Beutenberg Campus“ aussteigen und der Ausschilderung folgen. Ab Westbahnhof (Ost-West-Verbindung) kann die gleiche Verbindung genutzt werden.

Auto

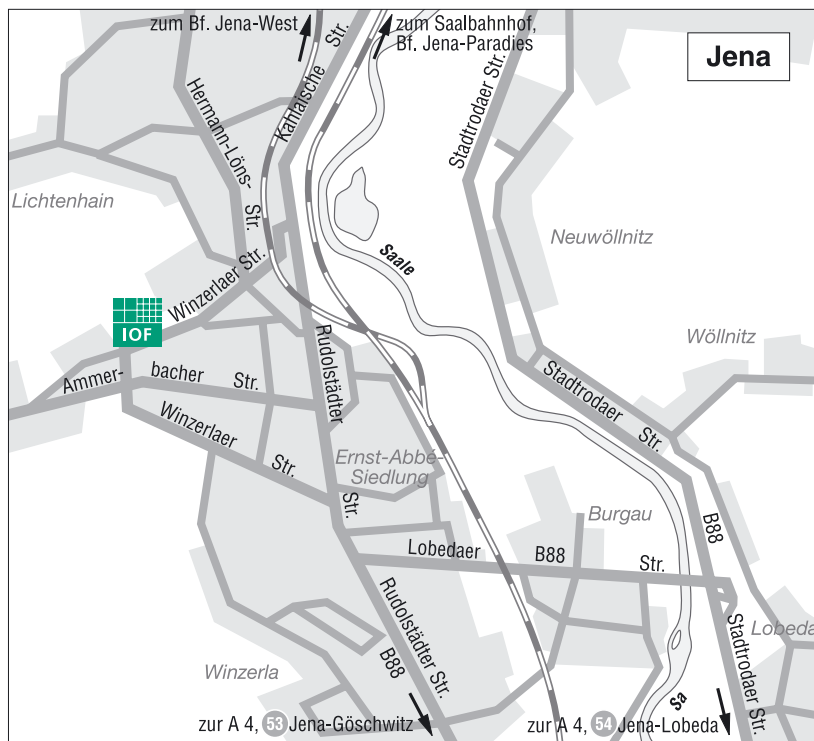
Autobahn A 4 bis Abfahrt Jena-Göschwitz. Auf der Bundesstraße B 88 stadteinwärts, links in Richtung Winzerla, entlang der Winzerlaer Straße immer der Ausschilderung „Fachhochschule – Beutenberg Campus“ folgen. Auf der linken Seite liegt dann sichtbar das Fraunhofer IOF. Benutzen Sie die Einfahrt Beutenberg Campus, von dort aus folgen Sie der Ausschilderung.

Flugzeug

Ab Flughafen Leipzig/Halle auf der Autobahn A 9 nach Süden bis zum Hermsdorfer Kreuz und dann auf die A 4 Richtung Frankfurt wechseln; diese dann bei Jena-Göschwitz verlassen, weiter siehe Auto

oder

ab Flughafen Erfurt auf der Autobahn A 4 Richtung Dresden bis Abfahrt Jena-Göschwitz.



Directions of Fraunhofer IOF

By train

(app. 20 minutes with footpath)

Jena has four stations. If you take the route from north to south you will arrive at the station Jena-Paradiesbahnhof.

Please go to the bus stop on Teichgraben (5 minutes into the city) and take the Number 10, 13 or 40 direction Burgau or Winzerla. Step off the bus at „Beutenberg Campus“ und follow the direction sign to Fraunhofer IOF.

If you take the route from west to east, leave the train at Jena-Westbahnhof.

After the bridge on the right hand you will see the bus stop Magdelstiege. Use the same lines to Beutenberg-Campus.

By car

Leave the A4 motorway at the exit Jena-Göschwitz, follow the federal highway B 88 into town, turn off left toward Winzerla, along Winzerlaer Straße until the direction sign „Fachhochschule – 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 A 9 motorway to the south (direction Munich) up to the Hermsdorfer Kreuz. Here you have to change the motorway, follow the A 4 motorway westward (direction Frankfurt) and leave it at the exit Jena-Göschwitz, further see car.

Or starting from airport Erfurt on the A 4 motorway direction Dresden to exit Jena-Göschwitz.

Impressum

Imprint

Herausgeber Editor

Fraunhofer-Institut für
Angewandte Optik und Feinmechanik
Winzerlaer Straße 10
07745 Jena
Telefon: +49 (0) 36 41/8 07-2 01
Fax: +49 (0) 36 41/8 07-6 00
E-Mail: info@iof.fraunhofer.de
Internet: www.iof.fraunhofer.de

Institutsleiter Director

Prof. Dr. Wolfgang Karthe
Telefon: +49 (0) 36 41/8 07-2 01
Fax: +49 (0) 36 41/8 07-6 00
E-Mail: wolfgang.karthe@iof.fraunhofer.de

Presse und Öffentlichkeitsarbeit Press and Public Relation

Dipl.-Ing. Annedore Munde
Telefon: +49 (0) 36 41/8 07-3 70
E-Mail: annedore.munde@iof.fraunhofer.de

Gestaltung Graphic design

Schneider Media GmbH
Haarbergstraße 47
99097 Erfurt

Druck Print

Druckhaus Naumburg
Bahnhofstraße 34
06618 Naumburg

