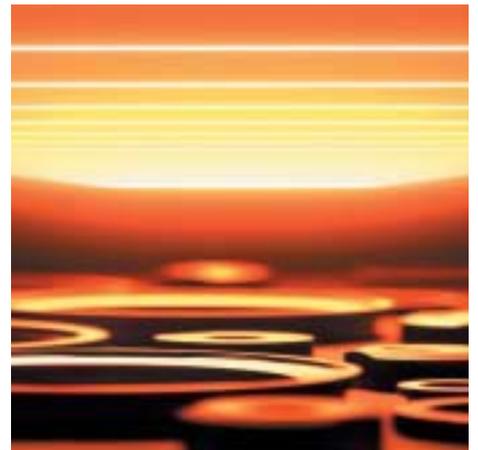
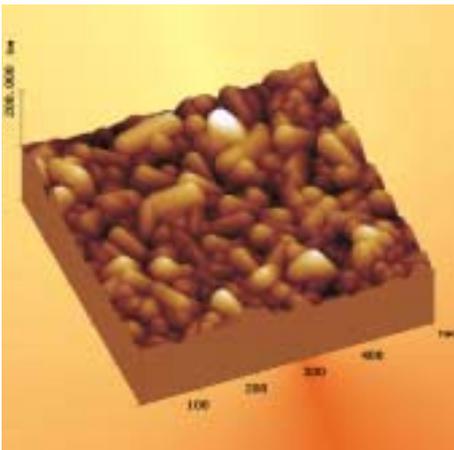




Fraunhofer Institut
Schicht- und
Oberflächentechnik

Jahresbericht 2003

Annual Report 2003



Jahresbericht 2003
Annual Report 2003

Abbildungen auf der Titelseite
(von links):

Bild 1: TiO₂-Film auf Glas, aufgenommen mit dem Rasterkraftmikroskop (AFM) im Tapping Mode.

Fig. 1: TiO₂ coating on glass, imaged by atomic force microscopy (AFM) using tapping mode.

Bild 2: Superharte Schicht aus kubischem Bornitrid (cBN) auf einer Hartmetall-Wendeschneidplatte.

Fig. 2: Superhard cubic boron nitride (cBN) coating on a cemented carbide cutting insert.

Bild 3: Diamantbeschichtung keramischer Gleitringdichtungen mit dem Heißdraht-CVD-Prozess.

Fig. 3: Deposition of diamond on axial seal rings with the hot-wire CVD process.

**Fraunhofer-Institut für Schicht-
und Oberflächentechnik IST**
Institutsleitung: Prof. Dr. Günter Bräuer
Bienroder Weg 54 E
D-38108 Braunschweig
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-0
Telefax +49 (0) 5 31/21 55-901
E-Mail info@ist.fraunhofer.de
www.ist.fraunhofer.de

Redaktion

Dr. Simone Kondruweit
Simone Peist

Gesamtherstellung

Arnold & Domnick, Leipzig
Verlagsproduktion – alle Medien

© Fraunhofer IST 2004

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich freue mich, Ihnen den Jahresbericht des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik für das Jahr 2003 überreichen zu dürfen und hoffe, dass wir damit wieder interessante Informationen und Anregungen für Sie bieten können.

Bei anhaltender Konjunkturschwäche schauen auch wir auf ein in wirtschaftlicher Hinsicht schwieriges Jahr zurück. Dennoch erwarten wir für 2003 ein ausgeglichenes Ergebnis. Für 2004 scheint das vielzitierte »Licht am Ende des Tunnels« sichtbar: Bereits zum jetzigen Zeitpunkt ist der überwiegende Teil der notwendigen externen Mittel unter Vertrag. Dabei beobachten wir neben unseren etablierten Arbeitsgebieten ein zunehmendes Interesse an den relativ neuen Aktivitäten aus den Bereichen Mikro- und Sensortechnik sowie Plasmaverfahren im Atmosphärendruckbereich.

Der »Congress Industrielle Oberflächentechnik«, den wir zum zweiten Mal gemeinsam mit der Landesinitiative »Neue Materialien Niedersachsen e.V.« veranstalteten, war eines der herausragenden Ereignisse des Berichtsjahres. Mehr als 100 Teilnehmer, davon der wesentliche Anteil aus der Industrie, informierten sich zum Thema »Innovative Oberflächen als Erfolgsfaktor in der Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt«. Die überwältigende Resonanz kann als Zeichen für das große Interesse an den Anwendungen der Schicht- und Oberflächentechnik auch in schwierigen wirtschaftlichen Zeiten gedeutet werden.

Die Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Braunschweig wurde weiter intensiviert und verzahnt: Seit dem 1.4.2003 stehen das Institut für Oberflächentechnik und Plasmatechnische Werkstoffentwicklung an der TU

und das Fraunhofer IST unter einer gemeinsamen Leitung. Am 1. Oktober hat Herr Prof. Dr. Claus-Peter Klages, langjähriger stellvertretender Institutsleiter am IST, den Ruf auf eine Professur an die TU Braunschweig angenommen. Parallel dazu wird er weiter als Leiter der Abteilung »Atmosphärendruckverfahren« im Fraunhofer IST wirken. Mit den genannten Maßnahmen sind beste Voraussetzungen für die Stärkung der Oberflächentechnik am Standort geschaffen.

Um auch für zukünftige Entwicklungen eine solide Basis zu erhalten, wurden im Berichtsjahr eine Reihe von Geräteinvestitionen getätigt. Am Anfang des Berichtsjahres wurde eine neue Großanlage in Betrieb genommen, um innovative tribologische Schichten im industriellen Maßstab zu produzieren. Die Abteilung »Schichtcharakterisierung«, nach wie vor eine der tragenden Säulen unseres Hauses, modernisierte ihren Gerätepark und erschloss sich damit neue Möglichkeiten für die Oberflächen- und Schichtanalytik.

Bevor ich Ihnen nun viel Spaß beim Lesen unseres Jahresberichts wünsche, möchte ich mich bei unseren Partnern aus Forschung und Entwicklung, unseren Auftraggebern aus der Industrie, bei allen Förderern, Kollegen und Freunden bedanken. Durch ihr Vertrauen, ihre Unterstützung und die gute Zusammenarbeit haben sie alle Anteil am Erfolg unseres Instituts. Nicht zu vergessen sind dabei die hervorragenden Leistungen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des IST, denen ich an dieser Stelle ebenfalls ganz herzlich für ihr besonderes Engagement und ihre hohe Motivation auch in dieser schwierigen Zeit danke.



Prof. Dr. Günter Bräuer



Von rechts:
Prof. Dr. Günter Bräuer, Institutsleiter des
Fraunhofer IST, und seine Stellvertreter
Prof. Dr. Claus-Peter Klages und
Dipl.-Ing. Wolfgang Diehl.
Right to left:
Prof. Dr. Günter Bräuer, head of the
Fraunhofer IST, and his deputies
Prof. Dr. Claus-Peter Klages and
Dipl.-Ing. Wolfgang Diehl.

Preface

Ladies and Gentlemen,

It gives me great pleasure to be able to present the 2003 Annual Report of the Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST, and I hope we can again offer you interesting and stimulating information.

In this time of persistent business weakness, we too have had a difficult year economically. However we expect a balanced result for 2003, with 2004 showing signs of the much-anticipated »light at the end of the tunnel«: already the main part of the necessary external funding is under contract. In addition to our established work areas, we see mounting interest in the relatively new activities of micro and sensor technology as well as atmospheric pressure plasma processes.

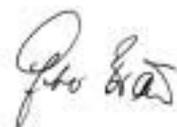
One of the outstanding events of the report year was the »Congress Industrial Surface Technology«, organized for the second time jointly with the State Initiative »Neue Materialien Niedersachsen e.V.« (»New Materials Lower Saxony, Inc.«). More than one hundred participants came mainly from industry to find out about the theme innovative surfaces as a success factor in the automotive, air and space industries. The overwhelming response is indicative of the tremendous interest in the applications for layer and surface technology even in these difficult economic times.

Cooperation with the Technical University Braunschweig was further intensified and forged together. Since April 1, 2003 the Institute for Oberflächentechnik und Plasmatechnische Werkstoffentwicklung (Surface Technology and Plasmatechnology of Materials) at the TU and the Fraunhofer IST have been under joint

management. On October 1 long-standing IST deputy institute director Prof. Dr. Claus-Peter Klages, became a professor at the TU Braunschweig. In parallel, he is also head of the Atmospheric Pressure Processes Department at the Fraunhofer IST. These measures lay down the best conditions for strengthening surface technology initiatives in the region.

In order to form a solid basis for future developments, a series of equipment investments were made during the report year. At the beginning of 2003 a new large plant was commissioned to enable production of industrial-scale innovative tribological layers. The Layer Characterization Department, still one of the main pillars of our institute, modernized their equipment park thus opening up new possibilities for surface and layer analysis.

Before wishing you much enjoyment in reading our annual report, I would like to thank our partners in research and development, our clients in industry, and all sponsors, colleagues and friends. Your trust, support and fruitful cooperation give you a share in the success of our institute. Last but not least I must mention the outstanding achievements of the IST employees, to whom I sincerely extend my heartfelt thanks for your special engagement and high level of motivation, even at this difficult time.



Prof. Dr. Günter Bräuer

Inhalt

Vorwort	3
Inhalt	6
Institutprofil	10
Kuratorium	11
Forschungs- und Dienstleistungsangebot	12
Das Institut in Zahlen	14
Organisationsstruktur	16
Forschungsberichte	19
Maschinenbau und Fahrzeugtechnik	21
Diamantbeschichtete keramische Gleitringdichtungen	22
OSOMETRIS Oberflächenstrukturoptimierung für mediengeschmierte Tribosysteme	24
Mikrotribologie strukturierter Oberflächen	26
Dünnschichtsensoren zur Messung von Temperatur und Kraft im Wälzkontakt	28
Dynamische Beschichtung von Metallbändern mit einer Hohlkatoden-Glimmentladung	30
Werkzeuge	33
cBN-beschichtete Werkzeuge	34
Hartstoffbeschichtetes Zerspanwerkzeug mit elektronischer Kontrolle der Schneidkanten	36
Kohlenstoffschichten zum schmiermittelfreien Aluminiumschneiden	38
Galvanisch beschichtetes Polyurethan im Werkzeug- und Modellbau	40
Energie, Glas und Fassade	43
Hochtransparente, temperaturstabile Low-E-Architekturglasbeschichtungen	44

Contents

Preface	5
Contents	7
Institute Profile	10
Board of Trustees	11
The Scope of Research and Services	12
Budget of the Fraunhofer IST	14
Organizational Chart	16
Research News	19
Mechanical and Automotive Engineering	21
Diamond-coated Ceramic Axial Seal Rings	22
OSOMETRIS Surface Structure Optimization of Lubricated Tribological Systems	24
Microtribologically Structured Surfaces	26
Thin Film Sensors for Detecting Force and Temperature	28
Dynamic Coating of Metal Strips with a Hollow Cathode Corona Discharge	30
Tools	33
cBN Coated Tools	34
Hard Coated Cutting Tools with Electronic Control of the Cutting Edge	36
Carbon-based Coating Systems for Dry Punching of Aluminium Sheet	38
Galvanic Coated Polyurethane for Tools and Model Making	40
Energy, Glass and Facade	43
Heat Resistive Low-E Architectural Glass Coatings with High Transmittance	44

Optik, Information und Kommunikation	47
Temperaturstabile und transparente optische Funktionsschichten	48
Transformierbare Schichtsysteme für (opto-)elektronische Bauelemente	50
Mensch und Umwelt	53
Plasma Printing	54
Abwasserbehandlung mit Diamant	56
Leistungen und Kompetenzen	59
Verfahren zur Abscheidung von DLC/a-C:H-Schichten	60
Entwicklung eines DLC-Hochrateprozesses	62
DUPLEX-Behandlung am Dortmunder OberflächenCentrum	64
Plasmaverfahren ohne Vakuum	66
Laserstrukturierung von Oberflächen	68
Ortsaufgelöste Strukturuntersuchungen an Diamantschichten: Textur und Korngröße	70
Namen, Daten, Ereignisse	72
Veröffentlichungen	80
Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	87

Optics, Information and Communications	47
Temperature-stable, Transparent Optical Functional Layers	48
Transformable Layer Systems for Optoelectronic Components	50
Life Science and Ecology	53
Plasma Printing	54
Wastewater Treatment with Diamond	56
Services and Competencies	59
Process for Depositing DLC/a-C:H Coatings	60
Development of a DLC High Speed Process	62
DUPLEX Processing at the Dortmunder OberflächenCentrum	64
A Vacuumless Plasma Process	66
Laser Structuring of Surfaces	68
Spatially Resolved Structure Investigations of Diamond Layers: Texture and Grain Size	70
Names, Facts, Events	72
Scientific Publications	80
The Fraunhofer-Gesellschaft at a Glance	87

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung, Schichtcharakterisierung und Oberflächenanalyse. Zahlreiche Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure arbeiten daran, Oberflächen der verschiedensten Grundmaterialien neue oder verbesserte Funktionen zu verleihen, um auf diesem Wege innovative, marktgerechte Produkte zu schaffen. Zur Zeit ist das Institut in den Geschäftsfeldern Maschinenbau und Fahrzeugtechnik; Werkzeuge; Energie, Glas und Fassade; Optik, Information und Kommunikation und Mensch und Umwelt tätig. Zur Bearbeitung dieser Geschäftsfelder nutzt das Institut seine Kompetenzen in den folgenden Bereichen: Niederdruckverfahren; Elektrische und opti-

sche Schichten; Superharte Schichten; Kunststoffmetallisierung; Atmosphärendruckverfahren; Mikro- und Nanotechnologie; Reibungsminderung und Verschleißschutz; Korrosionsschutz; Analytik und Prüftechnik. Entsprechend dem Querschnittscharakter von Schicht- und Oberflächentechnologien kooperiert das Institut mit einer großen Zahl von Lohnbeschichtern, Anlagenbauern und Schichtanwendern aus den unterschiedlichsten Branchen. Die wichtigsten sind Maschinenbau, Verkehrstechnik, Fertigungstechnik, Elektronik, Optik, Informations-, Energie-, Medizintechnik und Biotechnologie.

77 feste Mitarbeiter bearbeiten auf einer Büro- und Laborfläche von mehr als 4000 m² vielfältige Forschungsaufträge, wobei das Leistungsangebot des Fraunhofer IST durch die

plastics; atmospheric pressure processes; micro and nano technology; friction reduction and wear protection; corrosion protection; analysis and testing.

In line with the cross-sectional character of coatings and surface technologies the institute cooperates with a large number of coating service providers, equipment manufacturers, and coating users from diverse industries like machinery, transportation, production technology, electronics, optics, information technology, energy, medical devices, and biotechnology to name just the most important ones.

On an office and laboratory area of more than 4 000 square feet 77 tenured employees are addressing a variety of research projects. Its capabilities are supplemented by the competencies of other institutes from

Kompetenzen anderer Institute des Fraunhofer-Verbunds »Oberflächentechnik und Photonik« ergänzt wird. Viele Projekte werden mit öffentlichen Mitteln des Landes Niedersachsen, des Bundes, der Europäischen Union und anderer Institutionen gefördert.

Ziele

Wichtige Ziele des Fraunhofer IST sind

- die schnelle Umsetzung innovativer Lösungen aus anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung in die industrielle Praxis,
- die Etablierung neuer zukunftsweisender Technologien am Markt und
- der Transfer dieser innovativen Technologien zu kleinen und mittleren Unternehmen.

the Fraunhofer pool »Surface Technology and Photonics«. Many projects are supported by funding through the state (Land) Niedersachsen (Lower Saxony), the federal government, the European Union, and other institutions.

Goals

Important goals of the Fraunhofer IST are

- the rapid transfer of innovative solutions from application oriented research and development to the industrial praxis,
- the establishment of new future oriented technologies in the market place and
- the transfer of these innovative technologies to small and medium sized companies.

As an industry oriented R&D service center, the Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST is pooling competencies in the areas film deposition, coating application, film characterization, and surface analysis. A large number of scientists, engineers, and technicians are busily working to provide various types of surfaces with new or improved functions and, as a result, help create innovative marketable products. At present, the institute's business segments are mechanical and automotive engineering; tools; energy, glass and facade; optics, information and communications; life science and ecology.

In pursuing these business segments the institute utilizes its competencies in the following fields: Low pressure processes; electrical and optical coatings; super-hard coatings; coatings on

Kuratorium

Board of Trustees

Die Kuratorien der einzelnen Fraunhofer-Institute stehen der Institutsleitung und dem Vorstand der Gesellschaft beratend zur Seite. Ihnen gehören Persönlichkeiten der Wissenschaft, der Wirtschaft und der öffentlichen Hand an.

The board of trustees consists of qualified scientists, experts from industry, science and research, authorities and institutions, who examine the research activities of the IST and advise the institute's management as well as the board of directors in the Fraunhofer-Gesellschaft.

Vorsitz

Chairman

Dipl.-Ing. R. Lacher
Singulus Technologies AG

Stellvertretender Vorsitz

Deputy

Prof. Dr. H. Oechsner
Institut für Oberflächen- und Schicht-
analytik IFOS an der Universität
Kaiserslautern

Dr. G. Benz
Robert Bosch GmbH

Prof. Dr. W. Blau
EFDS Europäische Forschungsgesell-
schaft Dünne Schichten e. V.

Dr. R. Blessing
Trendelburg

Dipl.-Ing. E. Dietrich
Hanau

Dr. S. Döttinger
DaimlerChrysler AG

Dr. U. Engel
Zollern-BHW
Gleitlager GmbH & Co.

Dr. R. Grün
Plasma Technik Grün GmbH

Prof. Dr.-Ing. J. Hesselbach
Institut für Werkzeugmaschinen und
Fertigungstechnik der Technischen
Universität Braunschweig

Dr. H. Hilgers
IBM Deutschland GmbH

Prof. Dr.-Ing. Dr. habil. N. Kanani
Atotech Deutschland GmbH

Dipl.-Ing. J. Meinel
Leybold Optics GmbH

MinRat Dipl.-Phys. J. von Schaewen
Bundesministerium für Bildung und
Forschung

MinRat Dr. H. Schroeder
Niedersächsisches Ministerium für
Wissenschaft und Kultur

Dr. H. Schulz
Balzers AG

Dr. M. Steinhorst
Dortmunder OberflächenCentrum
GmbH

Dr. G. J. van der Kolk
Bodycote Coating Centrum B.V.

Laborausstattung und Großgeräte

- Produktionsanlagen für Me-DLC, DLC, Hartstoff-Schichten (bis 1600 l Volumen)
- Beschichtungsanlagen auf der Basis der Magnetron- und RF-Dioden-Zerstäubung
- Anlage zum Ionenplattieren
- Anlagen für Hohlkathodenverfahren
- Anlagen zur Arc-Verdampfung
- Anlagen für die Abscheidung mittels plasmaaktiviertem CVD (PACVD)
- Plasmadiffusionsanlagen
- Heißdraht-CVD-Anlagen für die Diamantabscheidung
- Beschichtungseinrichtungen für metallorganische Gasphasenabscheidung (MOPCVD-Prozesse)
- In-line-Beschichtungsanlage für großflächige optische Funktionsschichten (bis 60 x 100 cm²)
- Einrichtung für galvanotechnische Prozesse
- Photolithographie-Ausstattung (40 m² Reinraum)
- 15-stufige Reinigungsanlage auf wässriger Basis
- Laser für 3D-Mikrostrukturierung

Analytik und Qualitätssicherung

- Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop
- Elektronenstrahl-Mikrosonde
- Sekundärionen-Massenspektrometer
- Röntgen-Diffraktometer zur Strukturanalyse, XRR
- Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskop
- Mikro- und Nanoindentor zur Härteprüfung
- Technische Profilometer
- Prüfeinrichtungen für Reibung, Verschleiß und Schichthaftung
- IR- und UV/VIS-Spektrometer
- Spektroskopisches Ellipsometer, In situ UV-VIS, UV-VIS-NIR-Ellipsometer
- Messeinrichtungen für Oberflächenenergie
- Messeinrichtungen für elektrische und magnetische Schichteigenschaften
- Einrichtungen für Korrosions- und Klimatest
- VSM-Messplatz für magnetische Schichten
- Testsysteme für die elektrochemische Abwasserbehandlung

Vorbehandlung

Wir reinigen Oberflächen

Erfolgreiche Beschichtungen setzen eine richtige Vorbehandlung der Oberfläche voraus. Wir bieten daher

- Effiziente Oberflächenreinigung auf wässriger Basis inklusive Trocknung
- Spezielle Glasreinigung
- Plasmavorbehandlung
- Plasmareinigung

Special Equipment

- Me-DLC, DLC, hard coating (up to 1600-l volume) production plant
- Coating facilities incorporating magnetron and RF diode sputtering
- Ion-plating unit
- Coating systems for hollow cathode processes
- Arc vaporization facilities
- Plasma-activated CVD (PACVD) units
- Plants for plasma diffusion
- Hot-filament-CVD units for diamond coating
- Coating equipment for metal-organic physical chemical vapor deposition (MOPCVD processes)
- In-line coating facility for large-surface optical functional coatings
- Equipment for electroplating processes
- Photolithographic equipment (40 m² clean room)
- 15-stage cleaning unit for surface cleaning on aqueous basis
- Laser for 3D microstructuring

Analysis and Quality Control

- Testing equipment for friction, wear and coating adhesion
- Microhardness measurement equipment (nanometer indentor) for the determination of elastic / plastic deformability of coatings
- Measurement equipment for electrical and optical coating characteristics
- Scanning electron microscope (+ EDX), electron-beam microprobe, scanning tunnel and scanning force microscope
- X-ray diffraction equipment for structural analysis, XRR
- Secondary-ion mass spectrometer
- Raman spectrometer, IR spectrometer, UV-VIS spectrometer
- VSM measuring station for magnetic films
- Systems for testing of electrochemical wastewater treatment

Pretreatment

We clean surfaces

Successful coatings imply a proper surface pretreatment. Therefore we offer

- Effective aqueous surface cleaning including drying
- Special glass cleaning
- Plasma pretreatment
- Plasma cleaning

Beschichtung

Wir entwickeln Prozesse und Schichtsysteme

Dünne Schichten sind das Kerngeschäft des Fraunhofer IST. Zur Schichtherstellung verfügt das Institut über ein breites Spektrum an Technologien: Von der Plasmabeschichtung im Vakuum und bei Atmosphärendruck über Heißdraht-CVD-Verfahren bis hin zur Galvanik. Das Leistungsangebot umfasst

- Schichtentwicklung
- Prozesstechnik (einschließlich Prozessdiagnostik, -modellierung und -regelung)
- Simulation von Schichtsystemen und Prozessen

Prüfung/ Charakterisierung

Wir sichern die Qualität

Eine schnelle und zuverlässige Analytik und Qualitätssicherung ist die Voraussetzung für eine erfolgreiche Schichtentwicklung. Wir bieten unseren Kunden

- Prüfverfahren und produktspezifische Qualitätskontrollen, z. B. Verschleißmessung an beliebigen Bauteilen
- Mechanische, chemische, mikromorphologische und strukturelle Charakterisierung
- Optische und elektrische Charakterisierung
- Schnelle und vertrauliche Schadensanalyse

Anwendung

Wir übertragen Forschungsergebnisse in die Praxis

Um einen effizienten Technologietransfer zu gewährleisten, bieten wir

- Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Entwicklung wirtschaftlicher Produktionsszenarien
- Prototypenentwicklung, Kleinserienfertigung, Beschichtung von Musterbauteilen
- Anlagenkonzeptionierung und Fertigungsintegration
- Beratung und Schulungen

Coating

We develop processes and layer systems

Thin films are the core business of the Fraunhofer IST. The institute utilizes a wide range of coating technologies, ranging from plasma assisted deposition in vacuum and at atmospheric pressure over hot-filament CVD processes to electroplating. Our services are

- Development of coatings
- Process technology, including process diagnostics, modelling and control
- Simulation of layer systems and processes

Testing/ Characterization

We ensure quality

A responsive and reliable analysis and quality control is the prerequisite for a successful coating development. We offer our customers:

- Test methods and product specific quality control methods, e.g. wear measurement on arbitrary parts
- Mechanical, chemical, micromorphological, and structural characterization
- Optical and electrical characterization
- Rapid and confidential failure analysis

Application

We transfer research results to the production floor

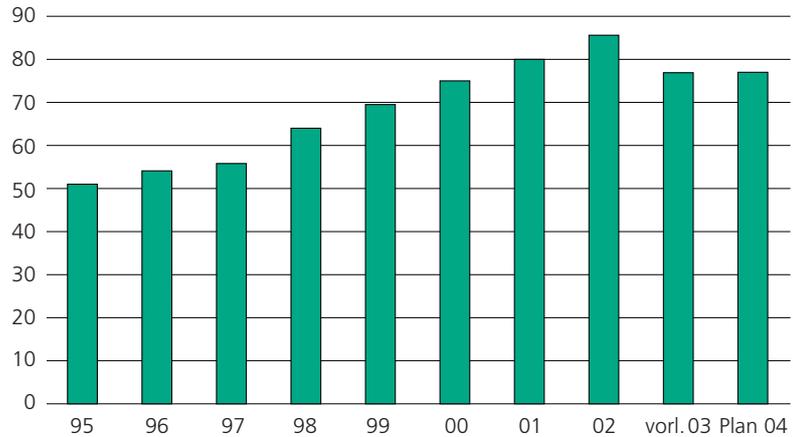
To guarantee an efficient technology transfer we offer

- Cost-of-ownership calculations, development of economical production scenarios
- Prototype development, pilot and sample coatings
- Equipment layout and integration into manufacturing lines
- Consulting and training

Mitarbeiterentwicklung

Aus wirtschaftlichen Gründen hat das Institut bis zum Jahresende den Mitarbeiterstamm auf 77 feste Stellen reduziert. Zusätzlich werden 7 Doktoranden, 2 Mitarbeiter in Kurzzeitverträgen, 2 Mitarbeiter über Kooperationsverträge mit der TU Braunschweig und 2 Auszubildende im Bereich Galvanik beschäftigt. Zur Unterstützung der Forschungsarbeiten kann auf rd. 50 Diplomanden, Praktikanten, Schüler und studentische Hilfskräfte zurückgegriffen werden.

Anzahl der Mitarbeiter / Number of Employees



Human resources

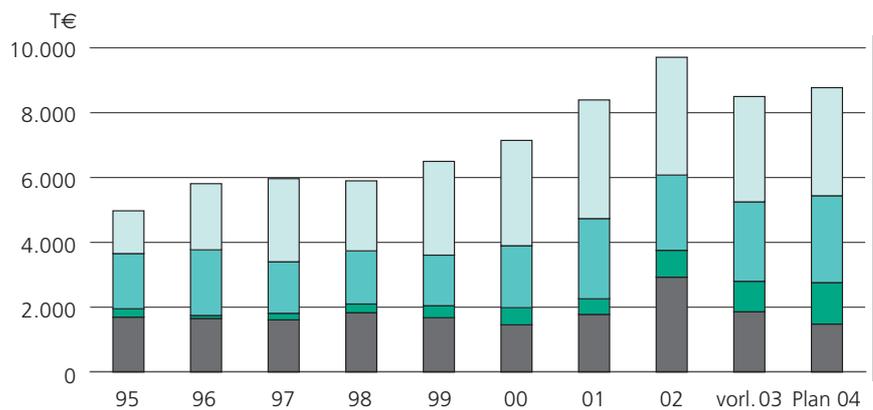
Up to the end of the year the institute reduced the employees on regular positions to 77 for economic reasons. In addition the institute is holding 7 students taking their doctorate, 2 employees with short-term contracts, 2 employees via cooperation contracts with the university of Braunschweig and 2 apprentices in the field of electroplating. Moreover approximately 50 students taking their first agree in science, probationers, pupils and student supporting the research activities.

Ertragsstruktur Betriebshaushalt

Durch Einsparmaßnahmen im Personal- und Investitionsbereich konnte der Grundfinanzierungsbedarf im Vergleich zum Vorjahr um 35 % gesenkt werden. Die Wirtschaftserträge tragen mit 38 %, die Öffentlichen Erträge mit 29 % und die Strategischen Mittel aus Fraunhofer-Sonderforschungsprogrammen mit 11 % zur Haushaltsdeckung bei.

Turnover

Compared to last year the basic financing could be reduced by 35 % because of lower personnel expenses and investments. The operative turnover includes the economic returns with 38 %, the public returns with 29 % and the strategic funding from special research programs of the Fraunhofer-Gesellschaft with 11 % to cover all business expenses.



- Wirtschaftserträge / Earnings realized in the industrial sector
- Öffentliche Erträge / Earnings realized in the public sector
- Interne Programme / Internal Programms
- Grundfinanzierung / Basic Financing

Betriebshaushalt

Der Betriebsaufwand von insgesamt 8,5 Mio € reduzierte sich um 1,2 Mio € im Vergleich zum Vorjahr. Da die personalwirtschaftlichen Maßnahmen erst zum Jahresende wirksam wurden, blieb der Personalaufwand nahezu unverändert. Sondereinflüsse des Vorjahres, wie Infrastrukturmaßnahmen und Geräteeigenbauten konnten abgeschlossen werden, so dass sich bei den Sachkosten Einsparungen in Höhe von 1,2 Mio € ergeben.

Budget

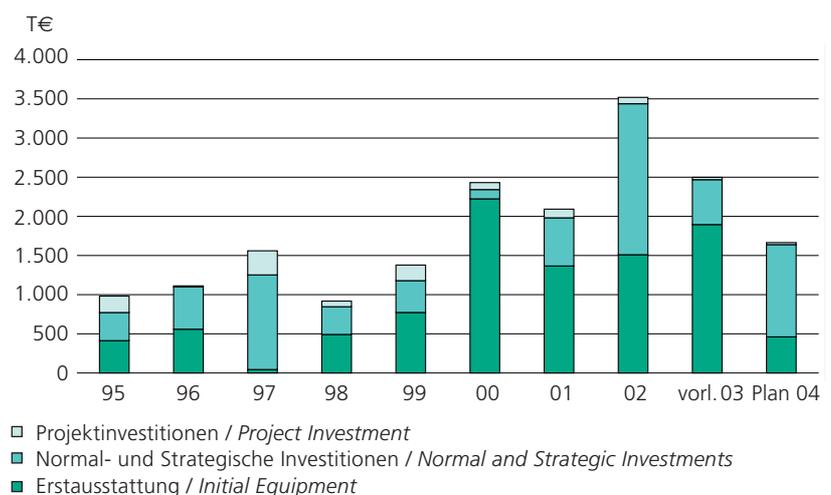
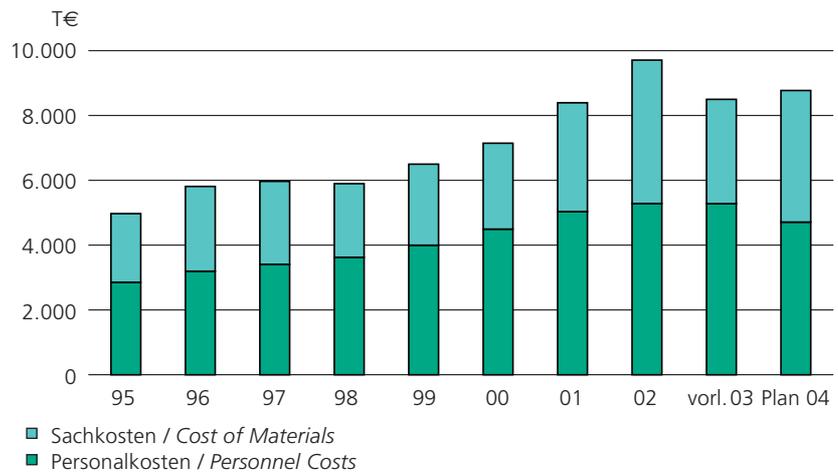
Compared to last year the business expenses of a total of 8.5 Mio € increased by approximately 1.2 Mio €. Personnel expenses were held on the same high level as last year, because of personnel-economic measures became effective at the end of the year. Compared to last year there were no non-recurring costs for infrastructural measures and for activation of capital resources for the construction of facilities, therefore the impersonal costs increased by approximately 1.2 Mio €.

Investitionen

Die neue Anlage zur Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS) hält mit 36 % einen erheblichen Investitionsanteil des Institutes. Die Gesamtsumme von 2,5 Mio € beinhaltet ferner ein Sputtersystem zur Schicht- und Prozessentwicklung für hochwertige optische und elektrische Funktionsschichten (23 %) sowie diverse Kleingeräte, die für das Akquirieren und Bearbeiten der Forschungsvorhaben notwendig sind.

Investment

The new equipment for Secondary-ion-Massspectrometry represents a 36 % of the institutes total investment. The investments sums up to 2.5 Mio € and also includes a sputter system for process design and development of high-quality optical and electrical coating (23 %) as well as multiple smaller facilities ensuring the institute's competence in acquiring and conducting research.



Organisationsstruktur

Organizational Chart

Institutsleitung

Director

Prof. Dr. Günter Bräuer
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-500
E-Mail braeuer@ist.fraunhofer.de



Stellvertretender Institutsleiter

Deputy

Prof. Dr. Claus-Peter Klages
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-510
E-Mail klages@ist.fraunhofer.de



Stellvertretender Institutsleiter

Deputy

Dipl.-Ing. Wolfgang Diehl
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-500
E-Mail diehl@ist.fraunhofer.de



Verwaltung

Administration

Dipl.-Volkswirt Uwe Kampfer
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-220
E-Mail kampfer@ist.fraunhofer.de



Marketing und Kommunikation

Marketing and Communications

Dr. Simone Kondruweit
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-535
E-Mail kon@ist.fraunhofer.de



Transferzentrum IST

Transfer Center IST

Dr.-Ing. Jochen Brand
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-600
E-Mail jochen.brand@ist.fraunhofer.de



Dortmunder OberflächenCentrum

Dortmunder OberflächenCenter

- Prototypen- und Kleinserienfertigung
Prototypes and small volume production
- Anlagenkonzeptionierung
Device conceptions
- Plasmadiffusion
Plasma diffusion
- Reinigungstechnologie
Cleaning technology

Diamanttechnologie

Diamond Technology

Dr. Lothar Schäfer
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-520
E-Mail schaefer@ist.fraunhofer.de



Systembau

System Engineering

- Werkzeuge und Bauteile
Tools and components
- Elektrochemische Anwendungen
Electrochemical applications
- Prozessentwicklung
Process engineering
- Großflächige Heißdraht-CVD-Systeme
Large-area hot-filament CVD systems

Neue tribologische Beschichtungen

New Tribological Coatings

Dr. Klaus Bewilogua
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-642
E-Mail bewilogua@ist.fraunhofer.de



- DLC, cBN, CNx
DLC, cBN, CNx
- Definierte Benetzung
Wetting behaviour
- Umformwerkzeuge
Forming tools
- Trockenschmierstoffe
Dry lubricants

Optische und elektrische Schichten
Optical and Electrical Coatings

Dr. Michael Vergöhl
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-640
E-Mail vergoehl@ist.fraunhofer.de



Schicht- und Prozessentwicklung
Coating and Process Development

Dr. Michael Vergöhl

- Optische und elektrische Schichtsysteme
Optical and electrical coatings
- PVD-/CVD-Technologie
PVC/CVD technologies
- Materialentwicklung
Materials engineering

Mikro- und Sensortechnologie
Micro and Sensor Technologies

Dipl.-Ing. Holger Lüthje
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-644
E-Mail luethje@ist.fraunhofer.de



- Dünnschichtsensorik
Thin film sensors
- Sensorische Multifunktionsschichten
Multifunctional coatings with sensors
- Mikrostrukturierung 2D und 3D
Microstructuring 2D and 3D

Großflächenbeschichtung
Large Area Coatings

Dr. Bernd Szyszka
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-525
E-Mail szyszka@ist.fraunhofer.de



Magnetron-Sputtern
Magnetron Sputtering

Dr. Bernd Szyszka

- Großflächenelektronik
Large area electronics
- Prozesstechnologie
Process technology
- Transparente und leitfähige Schichtsysteme
Transparent and conductive coatings
- Prozesssimulation
Process simulation

Hohlkatodenverfahren
Hollow Cathode Processes

Dr. Thomas Jung
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-616
E-Mail jung@ist.fraunhofer.de



- Plasmaquellen
Plasma sources
- Hochrateverfahren
High rate processes
- Oxid- und C-Schichten
Oxide and carbon films

Atmosphärendruckverfahren
Atmospheric Pressure Processes

Prof. Dr. Claus-Peter Klages

Galvanotechnologie
Electroplating

Dr. Andreas Dietz
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-646
E-Mail dietz@ist.fraunhofer.de



- Komposite
Composites
- Leichtmetallbeschichtung
Light metal coatings
- Verfahrensentwicklung
Process development

Atmosphärendruck-Plasmaverfahren
Atmospheric Pressure Plasma Processes

Prof. Dr. Claus-Peter Klages

- Haftvermittlung
Adhesion-promoting surface treatment
- Chemische Funktionalisierung
Chemical functionalization
- Plasmareinigung
Plasmacleaning
- BioChip-Oberflächen
BioChip surfaces

Schichtcharakterisierung
Characterization of Materials and Layers

Dr. Peter Willich
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-570
E-Mail willich@ist.fraunhofer.de



Analytik
Analysis

Dr. Peter Willich

- Mikro- und Oberflächenanalyse
Micro and surface analysis
- Mikroskopie und Strukturanalyse
Microscopy and structure analysis
- Auftragsuntersuchungen
Industrial services

Qualitätssicherung
Quality Control

Dr. Peter Willich

- Material- und Schichtprüfung
Testing of coatings and materials
- Kundenspezifische Prüfverfahren
Development of testing procedures
- Auftragsuntersuchungen
Industrial services

Forschungsberichte

Research News

Im Geschäftsfeld »Maschinenbau und Fahrzeugtechnik« werden Schichtsysteme und Oberflächentechniken zur Reibungsminderung, zum Verschleißschutz und Korrosionsschutz entwickelt und anwendungsorientiert optimiert. Neben der Schichtanpassung an spezielle Applikationen sowie der Entwicklung neuartiger Schichtsysteme steht die Entwicklung und Umsetzung produkt- und produktionsangepasster Beschichtungsprozesse im Vordergrund. In diesem Jahr konnten erfolgreiche Arbeiten z. B. auf folgenden Gebieten durchgeführt werden:

- Diamantbeschichtete keramische Gleitringdichtungen
- OSOMETRIS Oberflächenstrukturoptimierung für mediengeschmierte Tribo-Systeme
- Mikrotribologie strukturierter Oberflächen
- Dünnschichtsensoren zur Messung von Temperatur und Kraft im Wälzkontakt
- Dynamische Beschichtung von Metallbändern mit einer Hohlkatoden-Glimmentladung

Zu den Kunden dieses Geschäftsfeldes zählen neben Schichtherstellern vor allem Schichtanwender aus allen Bereichen des Maschinenbaus, der Automobilindustrie bis hin zur Luft- und Raumfahrt.

The business area »Mechanical and Automotive Engineering« has been developing coating systems and surface technologies that reduce friction, protect against wear and corrosion and that are optimized according to the application. As well as adapting the coating for special applications and the development of new layer systems, developing and transposing the product and production-adapted coating processes has been in the foreground. This year successful work was carried out in the following areas:

- Diamond-coated Ceramic Axial Seal Rings
- OSOMETRIS Surface Structure Optimization of Lubricated Tribological Systems
- Microtribologically Structured Surfaces
- Thin Film Sensors for Detecting Force and Temperature
- Dynamic Coating of Metal Strips with a Hollow Cathode Corona Discharge

Customers for these business areas included not only coating manufacturers but also users in all areas of engineering from automotive to aerospace.

Bild: Beschichtungsanlage bestückt mit Getriebeteilen für eine DLC-Beschichtung.
Fig.: Coating machine with gears for the deposition of a DLC-coating.

Ansprechpartner / Contacts

Dr.-Ing. Jochen Brand
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-600
E-Mail jochen.brand@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Carola Brand
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-574
E-Mail carola.brand@ist.fraunhofer.de

Diamantbeschichtete keramische Gleitringdichtungen

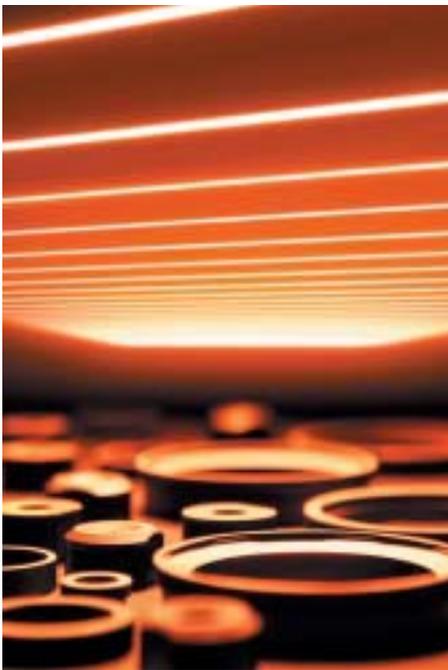


Bild 1: Diamantbeschichtung keramischer Gleitringdichtungen mit dem Heißdraht-CVD-Prozess; derzeit möglicher Maximaldurchmesser: 500 mm.

Fig. 1: Deposition of diamond on axial seal rings with the hot-wire CVD process. Current maximum diameter: 500 mm.

Gleitringdichtungen sind ein wichtiges Funktionselement in Pumpen und anderen Fördereinrichtungen für unterschiedlichste Medien und Einsatzgebiete.

Stand der Technik

Aufgrund ihrer Materialeigenschaften haben sich Siliziumcarbidwerkstoffe (SiC) heute als Standard etabliert. Allerdings gibt es viele Einsatzgebiete, bei denen die Leistungsfähigkeit vorhandener Dichtungen noch nicht ausreicht. Probleme entstehen vor allem dann, wenn es zu Mangelschmierzuständen kommt, was häufig während des An- und Abschaltvorganges auftritt: Das Fehlen eines Mediums im Dichtspalt der Gleitringdichtung führt zu einem drastischen Anstieg sowohl der Reibung als auch des Verschleißes, was den vorzeitigen Ausfall der Dichtung zur Folge haben kann.

WISA »DiaCer«

Im Rahmen eines Fraunhofer-internen Forschungsprojekts (WISA »DiaCer«) arbeitet das Fraunhofer IST zusammen mit den Fraunhofer-Instituten IKTS, IPK und IWM an der Entwicklung diamantbeschichteter Keramiken »DiaCer« als neuem Hochleistungswerkstoffverbund. Neben Werkzeuganwendungen (Zerspanung und Umformung) fokussieren sich die Arbeiten auf den Bereich tribologisch hochbelasteter Dichtungen und Lager. Die am IST entwickelte Anlagentechnik ermöglicht die Herstellung uniformer und hafter Diamantbeschichtungen auf Flächen von derzeit bis zu 100 cm x 50 cm (siehe Bild 1).

Diamantbeschichtete Gleitringdichtungen

Durch die Beschichtung keramischer Gleitringdichtungen mit einer nur wenige Mikrometer dünnen polykristallinen Diamantschicht wird die Leistungsfähigkeit der Dichtung enorm verbessert. Diamant als der härteste Werkstoff überhaupt besitzt gegenüber SiC nicht nur eine sehr viel höhere Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit, sondern verfügt auch über wesentlich bessere Gleiteigenschaften. Durch den sehr niedrigen Reibwert (vgl. Bild 2) entsteht im Betrieb der Dichtung wesentlich weniger Wärme. Weil der Reibwert auch bei Mangelschmierung und im Trockenlauf niedrig bleibt, treten Verschleißprobleme oftmals gar nicht erst auf.

In umfangreichen Tests am Fraunhofer IWM sowie bei einem führenden Dichtungshersteller wurde bereits nachgewiesen, dass DiaCer-Gleitringdichtungen auch unter extremen Testbedingungen und im Trockenlauf über ein ausgezeichnetes Betriebsverhalten verfügen. Zukünftig werden Feldtests bei Endanwendern durchgeführt.

Geplant ist neben anderem der Einsatz in bei der Erdölförderung eingesetzten Multiphasenpumpen (Verschleiß durch Partikel), in Heißwasseranwendungen (lokaler Trockenlauf durch Dampfblasen) sowie in der Medizintechnik (Trockenlauf, Abriebvermeidung, Reinstwassereinsatz).

Diamond-coated Ceramic Axial Seal Rings

Axial seal rings are an important functional element in pumps and other conveying systems for varying media and areas of application.

State of the technology

Silicon carbide materials (SiC) are established as the current standard due to their material properties. However the performance of existing seals is still not satisfactory in many areas. Above all, there are problems at low lubricant levels, such as is often the case during switching on and off: the lack of a medium in the interfacial gap of the axial seal ring leads to a drastic increase in both friction and wear, which may result in the early failure of the seal.

WISA »DiaCer«

Within the framework of an internal Fraunhofer research project (WISA »DiaCer«), the Fraunhofer IST is working together with the Fraunhofer institutes IKTS, IPK and IWM on the development of diamond coated ceramics »DiaCer« as a new heavy-duty composite material. As well as looking at tool applications (cutting and forming), the work focuses on tribologically highly stressed seals and bearings. The plant technology developed at IST currently enables uniform and adhesive diamond coatings to be produced on surfaces up to 100 cm x 50 cm (see figure 1).

Diamond-coated axial seal rings

Seal performance can be improved tremendously by coating the ceramic axial seal rings with a thin polycrystalline diamond layer just a few micrometers thick. Being the

hardest of all materials, diamond has not only much higher wear and corrosion resistance than SiC but also fundamentally improved sliding properties. As a result of the very low friction value (see figure 2), the seal generates considerably less heat during operation. Since the friction value remains low even during dry operation or a lack of lubrication, wear-related problems often even do not occur.

Comprehensive tests at Fraunhofer IWM and at a leading seal producer have already proved that DiaCer axial seal rings have excellent operating behavior under extreme test conditions and in dry operation. In the future, field tests will be carried out with endusers.

Planned uses include multi-phase pumps for handling crude oil (wear caused by particulates), hot water applications (local dry running due to steam voids), and medical technology (dry running, avoiding particle generation by wear, pure water applications).

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Markus Höfer
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-620
E-Mail hoefer@ist.fraunhofer.de

Dr. Lothar Schäfer
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-520
E-Mail schaefer@ist.fraunhofer.de

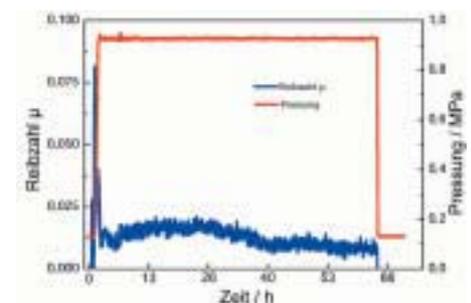


Bild 2: Typischer Reibwertverlauf beim 65 h-Test einer DiaCer-Gleitringdichtung in Wasser. Zum Vergleich: Der Reibwert von SiC gegen SiC beträgt unter gleichen Bedingungen 0,1 ... 0,2.

Fig. 2: Typical friction behavior of a DiaCer axial seal ring in a 65 hour test in water. By comparison, the friction value of SiC against SiC under the same conditions is 0.1...0.2.

OSOMETRIS Oberflächenstruktur- optimierung für mediengeschmierte Tribosysteme

Oberflächentopographien spielen neben den Materialeigenschaften eine entscheidende Rolle für das tribologische Verhalten technischer Oberflächen. Vor allem in mediengeschmierten Tribosystemen ist die Topographie als Schmierstoffreservoir und -verteilungssystem Voraussetzung für mikrohydrodynamische Effekte und eine entscheidende Hilfe, um verbesserte Reib- und Verschleißverhältnisse zu erreichen. Neben der stochastischen Rauheit, die in der Regel durch die eingesetzten Fertigungsverfahren bestimmt wird, spielen vor allem bewusst eingebrachte, deterministische Strukturen (z. B. Schmierstofftaschen) eine wichtige Rolle. Die definierte Herstellung sowie die exakte Beschreibung von Oberflächentopographien ist daher eine wichtige Voraussetzung zur Beurteilung mediengeschmierter Tribosysteme.

Stand der Technik

Obwohl die Bedeutung der Oberflächenstrukturen ausreichend bekannt ist, wird sie nur in wenigen technischen Anwendungen gezielt eingesetzt (z. B. Honstruktur bei Zylinderlaufflächen in Verbrennungsmotoren). Die exakte Erfassung und Beschreibung von Oberflächenstrukturen ist aufwändig und schwierig. Auch fehlen mathematische Werkzeuge zur Auslegung solcher Strukturen sowie ein technologischer und wirtschaftlicher Vergleich möglicher Herstellungsverfahren.

Ausblick

Ein enormes Potenzial bei der Verbesserung von Reibungs- und Verschleißverhältnissen in mediengeschmierten Systemen wird durch einen gezielten Einsatz von Oberflächentopographien

erwartet. Der direkte Vergleich verschiedener Strukturierungsmöglichkeiten sowie die Simulation von Oberflächenstrukturen und die Messung von Oberflächentopographien bieten völlig neue Möglichkeiten, tribologische Systeme in Ihrer Leistungsfähigkeit zu verbessern und an anwendungsspezifische Anforderungen anzupassen. Hierdurch erschließen sich auch ganz neue Anwendungsgebiete, z. B. in der Antriebs-, Dichtungs- oder Umformtechnik.

Im Rahmen einer gemeinsamen Studie von sieben Fraunhofer-Instituten wurde eine Bewertung des Marktpotenzials verschiedener Branchen für die Thematik »Gezielte Oberflächenstrukturierung für mediengeschmierte Tribosysteme« durchgeführt. Die Ergebnisse belegen das hohe technische Potenzial dieser Technologie sowie das Interesse der Industrie.

Die beteiligten Fraunhofer-Institute vertreten alle wesentliche Verfahren zur Strukturherstellung und -beschreibung und sind somit ein kompetenter Ansprechpartner in fast allen Fragen zur Oberflächenstrukturierung.

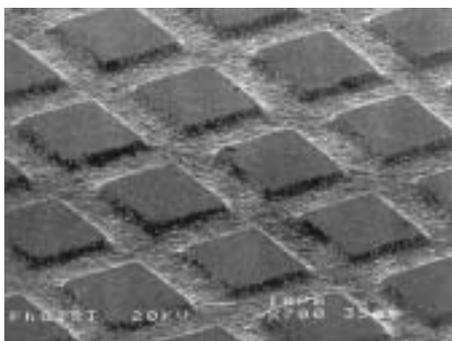


Bild 1: Plasma-geätzte Oberflächenstrukturen.
Fig. 1: Plasma-etched surface structures.

OSOMETRIS Surface Structure Optimization of Lubricated Tribological Systems

Next to material properties, surface topography plays a deciding role in the tribological behavior of technical surfaces. In lubricated tribological systems the topography serves above all as a lubricant reservoir and distribution system for microhydrodynamic effects and is significant in improving friction and wear behavior. After stochastic roughness (generally determined by the choice of manufacturing process), deliberately introduced determined structures such as lubricant pockets play the most important role. Therefore important preconditions when evaluating lubricated tribological systems are defined production as well as an exact characterization of surface topography.

Current technology

Despite the significance of surface structure being well understood, it is only used specifically in a few technical applications e.g. the structure achieved by honing cylinder bores in internal combustion engines. The exact measurement and characterization of surface structures is both necessary and difficult. Additionally there is a lack of mathematical tools for interpreting such structures and for the technological and economic comparison of possible manufacturing processes.

Outlook

There is enormous potential for improvements in the friction and wear behaviors of lubricated systems from the targeted use of surface topography. Through direct comparison of different structuring possibilities, simulation of surface structures, and the measurement of surface topography, there is the possibility of

discovering ways to improve the efficiency of tribological systems and to match application-specific requirements. Thus completely new areas of application are opening up, e.g. in drive, sealing or forming technologies.

A joint study by seven Fraunhofer Institutes evaluated the market potential of various business areas grouped under the title »Surface Structure Optimization of Lubricated Tribological Systems«. The results indicate the high technical potential of this technology, as well as the interest from industry.

As the participating Fraunhofer Institutes cover all the fundamental processes for producing and characterizing structure, they are competent partners to answer just about every question on surface structure.

Ansprechpartner / Contacts

Dr.-Ing. Jochen Brand
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-600
E-Mail jochen.brand@ist.fraunhofer.de

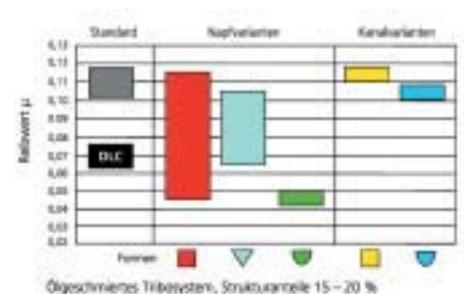


Bild 2: Reibungsoptimierung eines mediengeschmierten Tribosystems.
Fig. 2: Friction optimization of a lubricated tribological system.

Mikrotribologie strukturierter Oberflächen

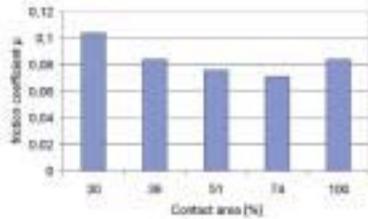


Bild 1: Abhängigkeit des Reibwertes μ einer a-C-beschichteten Probe von der resultierenden Kontaktfläche bei konstanter Last (3 N, Gegenkörper: Al_2O_3).

Fig. 1: Dependence of the friction coefficient of an a-C-coated sample on the contact area under constant load (3 N, counterpart: Al_2O_3).

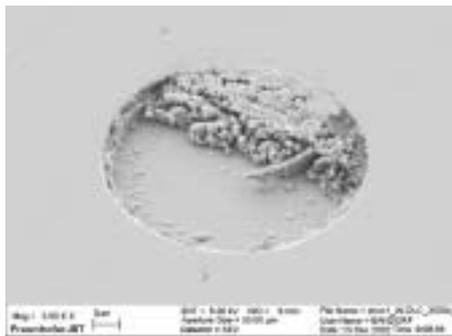


Bild 2: Mikrostruktur, die zum Teil mit Verschleißpartikeln aufgefüllt ist.

Fig. 2: Micropattern partially filled with debris.

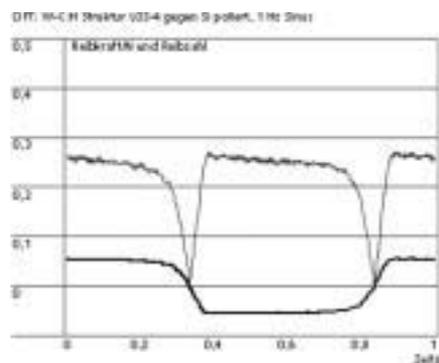


Bild 3: Reibkraft und Reibzahl einer mikrostrukturierten W-C:H-Probe gegen poliertes Silizium bei sinusförmiger Anregung. Gleitreibwert: $\mu \sim 0,25$.

Fig. 3: Friction force and coefficient of a microstructured W-C:H-sample sliding against polished silicon for sinusoidal excitation. Sliding friction coefficient: $\mu \sim 0,25$.

Aktuelle Untersuchungen des tribologischen Verhaltens von technischen Bauteilen ziehen zusehends strukturierte, d. h. mikroprofilierte Oberflächen in Betracht. Allerdings handelt es sich hierbei fast ausschließlich um geschmierte Systeme. Für Mikrosysteme, die primär trocken laufende Systeme sind, gibt es bisher keine Lösungen. Der Beitrag befasst sich mit der Untersuchung verschiedener Mikrostrukturen und deren Einfluss auf das tribologische Verhalten von Gleitpaarungen.

Tribologische Untersuchungen an mikrostrukturierten Proben

Die Untersuchung des Reibverhaltens der mikrostrukturierten Proben erfolgte mittels Pin-on-Disk-Tests, um einen Anschluss an makroskopische Ergebnisse zu gewährleisten. Für die mikrotribologischen Untersuchungen wurde ein oszillierender Test im flächigen Mikrokontakt verwendet.

Als erste Struktur wurden konzentrische Kreise betrachtet, bei denen die Schienenbreite konstant gehalten wurde, während der Abstand zwischen zwei Schienen variiert wurde. Die Untersuchungen erfolgten an a-C-beschichteten Siliziumproben. Bild 1 lässt deutlich erkennen, dass sich für einen definierten Flächenanteil ein minimaler Reibwert einstellt. Mit Reduktion der Kontaktfläche und damit einhergehender Erhöhung der Flächenpressung nimmt der Reibwert bis zu einem Minimalwert ab. Mit Überschreiten einer kritischen Last setzt Verschleiß ein und der Reibwert steigt wieder an. Für tribologische Paarungen gilt es daher, das systemtypische Minimum zu ermitteln und die Kontaktsituation entsprechend einzustellen.

Des Weiteren wurden Vertiefungen mit verschiedenen geometrischen Formen untersucht. Erste Tests bezogen sich auf Rhomben und kreisförmige Löcher mit unterschiedlicher Flächen-dichte. Das beste Ergebnis wurde mit den Rhomben erzielt. Allerdings zeigte sich, dass hierbei nicht primär die Form, sondern vielmehr die resultierende Tiefe den Ausschlag gab. Es wurde eine Reduktion des Reibwertes um mehr als 50 % erzielt. Allgemein zeigte sich, dass im Falle auftretenden Verschleißes die Abrasivpartikel aus der Kontaktzone entfernt werden und sich in den Strukturen ansammeln. Mit zunehmender Füllung vergrößert sich die Kontaktfläche und der Reibwert steigt an. Bild 2 zeigt eine teilweise mit Verschleißpartikeln ausgefüllte Mikrostruktur der Probenoberfläche.

Neben der Struktur wird der resultierende Reibwert auch durch die Bewegungsform beeinflusst. Hierzu wurden Mikroflächen mit unterschiedlichen Steuersignalen gegeneinander bewegt. Bei sinusförmiger Ansteuerung wurde kein Stick-Slip beobachtet, allerdings lag der Gleitreibwert deutlich höher als bei einer Ansteuerung mit rechteckförmigem Signal (Abbildungen 3 und 4).

Ausblick

Durch die Kombination von Mikrostruktur und Regelung können aktive Mikrosysteme in tribologischem Kontakt reibungs- und verschleißoptimiert betrieben werden. In Bild 5 ist eine Zusammenstellung verschiedener Paarungen mit den resultierenden Reibzahlen dargestellt.

Current investigations on the tribological behavior of technical components increasingly consider patterned, i.e. micro-profiled surfaces. Actually almost exclusively lubricated systems are concerned. For micro-systems which are primarily dry running nearly no solutions are existing yet. This article covers the investigation of different micro-patterns on the tribological behavior of sliding pairings.

Tribological investigations of micro-structured samples

Pin-on-disk tests were used to study the friction behavior of micro-structured samples, to establish a connection with macroscopic results. For the micro-tribological investigations an oscillating test in surface micro-contact was applied.

The first focus was set on of concentric circles, where the rail width was kept constant while the distance between the two rails varied. Investigations were made on a-C-coated silicon samples. Figure 1 clearly shows that for a defined contact area a minimum friction coefficient was observed. By decreasing the contact area and thus increasing the associated surface pressure reduces the friction coefficient was reduced to a minimum value. Exceeding a critical load results in starting wear, and the friction coefficient increases again. For tribological pairings it is therefore possible to adjust a minimum friction coefficient typical for the system by adjusting the contact situation accordingly.

Further, cavities with different geometric forms were investigated. The presented tests refer to rhombic and circular holes with various surface densities. The best results were achieved with rhomboids. Indeed it appea-

red that the resulting depth rather than the form was of primary importance. Due to microstructures the friction coefficient could be reduced by more than 50 %. It turned out that when wear, the debris was removed from the contact zone and accumulated in the pattern. With increasing filling, the contact surface was enlarged and the friction coefficient rose. Figure 2 shows a micro-pattern partially filled with debris.

As well as by the pattern, the resulting friction coefficient is also influenced by the type of motion control. Therefore micro areas were moved against each other with varying driving signals. With sinusoidal steering no stick-slip was observed, indeed the sliding friction coefficient was significantly higher than for steering with a rectangular signal (figures 3 and 4).

Outlook

Active micro-systems in tribological contact can be optimized for wear and friction by using a combination of micro-pattern and motion control. Figure 5 shows a compilation of different pairings with the resulting friction values.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Ralf Bandorf
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-602
E-Mail bandorf@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Holger Lüthje
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-644
E-Mail luethje@ist.fraunhofer.de

Microtribologically Structured Surfaces

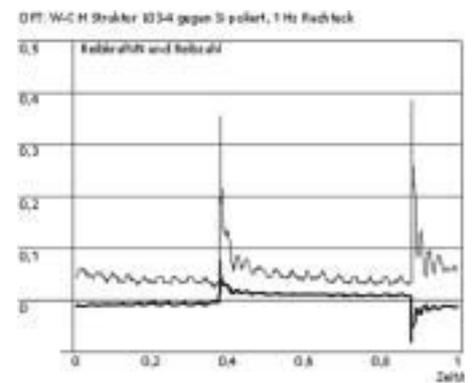


Bild 4: Reibkraft und Reibzahl einer mikrostrukturierten W-C:H-Probe gegen poliertes Silizium bei rechteckförmiger Anregung. Gleitreibwert: $\mu \sim 0,05$.

Fig. 4: Friction force and coefficient of a micro structured W-C:H-sample sliding against polished silicon for rectangular excitation. Sliding friction coefficient: $\mu \sim 0,05$.

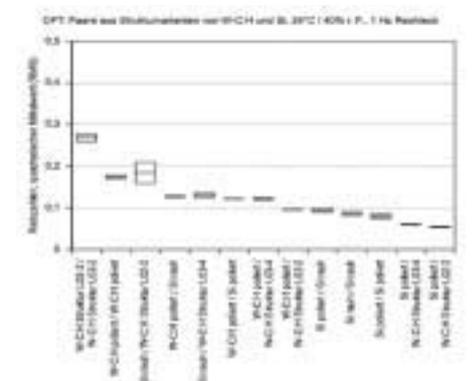


Bild 5: Variation der Reibpartner und Strukturen zur Ermittlung optimierter Paarungen (oszillierend, Rechteck-Signal).

Fig. 5: Variation of mating material and structure for optimised pairings (oscillating test, rectangular excitation signal).

Dünnschichtsensoren zur Messung von Temperatur und Kraft im Wälzkontakt

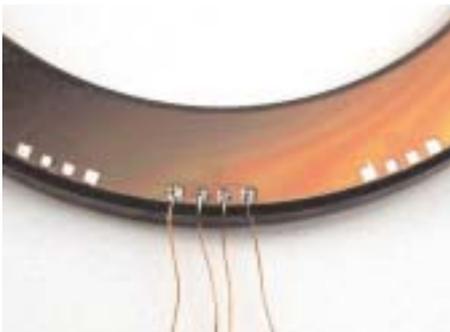


Bild 1: Axiallagering mit Temperatursensor.
Fig. 1: Bearing with integrated thin film sensor for measuring temperature.



Bild 2: Dünnschichtsystem zur Temperaturmessung.
Fig. 2: Thin film layer system for detecting temperature.

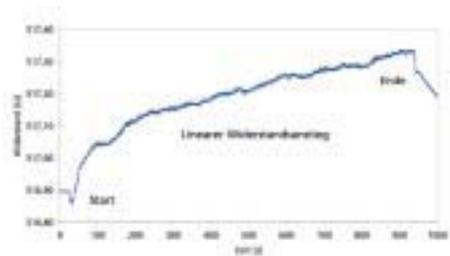


Bild 3: Temperatur-Widerstandsverlauf des T-Sensors bei 1000 rpm als Funktion der Zeit.
Fig. 3: Resistance behavior of the Cr-structure at 1000 rpm w.r.t. time.

Die vom IST entwickelte Mikrosensorik eröffnet neue Wege, um in schwer zugänglichen und stark beanspruchten Bereichen von Maschinen Informationen über Belastung und Temperatur während des Betriebes zu erhalten. Sie wurde im Rahmen eines öffentlich geförderten BMBF-Projektes in Zusammenarbeit mit Industriepartnern entwickelt.

Mikrosensorik zur Temperaturmessung im Lager

Im Bereich der Mikro- und Sensortechnologie werden Mikrosensoren mittels CVD-, PVD- und Lithografieverfahren hergestellt, die aus einer Kombination aus verschleißfesten Hartstoffschichten und Sensorschichten bestehen. Ein solcher Sensoraufbau ist schematisch in Bild 2 dargestellt. Die Schicht 1 ist eine Isolationsschicht, z. B. SiCON[®], Al₂O₃ oder AlN mit einer Dicke von $d=3\ \mu\text{m}$. Darauf wird die Sensorschicht (Cr, TiN mit $d=0,2\ \mu\text{m}$) abgeschieden und strukturiert. Nach einem zweiten photolithografischen Schritt werden die Kontakte der Strukturen mit Cu beschichtet. Diese Cu-Kontakte ($d=0,5\ \mu\text{m}$) benötigt man zum späteren Anlöten der Messdrähte. Den Abschluss bildet eine Verschleißschutzschicht (SiCON[®], AlN, Al₂O₃ u. a. mit $d=3\ \mu\text{m}$). Mit diesem Temperatursensorsystem wurden Axiallagering beschichtet (Bild 1) und ihre Funktionsfähigkeit in Hochlasttribometertests überprüft. Dabei wurde ein Ring mit dem Schichtsystem SiCON[®]-Cr-SiCON[®] bei einer Axiallast von 100 N und einer Drehgeschwindigkeit von 1000 rpm untersucht. In Bild 3 ist zu erkennen, dass eine lineare Erwärmung eintritt, da der Widerstand der Cr-Struktur linear ansteigt. Die charakteristische Widerstandsänderung des Chrom liegt bei $1\ \Omega/^\circ\text{C}$.

Mikrosensorik zur Kraftmessung im Lager

Der Aufbau des Dünnschichtsensorensystems zur Messung von Kräften ist in Bild 2 dargestellt. Als Schicht 1 ist die Sensorschicht aus F-DLC ($d=3\ \mu\text{m}$) bezeichnet, auf die mittels Sputter- und Lithografieverfahren Strukturen (im Bild mit 2 gekennzeichnet) aus z. B. Cr ($d=0,2\ \mu\text{m}$) beschichtet werden. Die Kontakte werden auch hier mit Cu beschichtet und abschließend wird als Verschleißschutz (3) SiCON[®], Al₂O₃ oder AlN ($d=3\ \mu\text{m}$) abgeschieden. Axiallagering wurden mit diesen Sensorsystemen zur Messung von Lagerkräften ausgestattet (Bild 4). In Voruntersuchungen wurden die Strukturen statisch über eine Lagerkugel mit linear anwachsender Belastung getestet und dabei die Widerstandsänderung der Sensorschicht F-DLC gemessen. Die Ergebnisse (Bild 5) zeigen, dass der Widerstand mit zunehmender Belastung linear abnimmt und dieses Verhalten auch reversibel ist. Axiallagering mit dem Schichtsystem F-DLC-Cr-SiCON[®] wurden im Hochlasttribometer dynamisch getestet. Das Ziel dieser Untersuchungen ist, durch Widerstandsänderungen des Kraftsensors das Überrollen der Lagerkugeln zu detektieren, die dadurch verursachten Kräfte zu messen und auch eine Unwucht festzustellen, wenn diese Kräfte über den Ring verteilt inhomogen sind. Bei diesen Versuchen wurde zwischen den Lagerringen ein Käfig mit vier Kugeln eingebaut. Bild 6 zeigt in guter Auflösung die Kraft-/Widerstandscharakteristik eines Messpunktes beim Überrollen der einzelnen Kugeln.

Micro-sensors developed at IST open up new ways of obtaining information about stress and temperature from poorly accessible, highly stressed areas of machinery during operation. They were developed within the framework of a project publicly funded by the BMBF (Federal Ministry of Education and Research) and in cooperation with industrial partners.

Micro-sensors for measuring temperature in bearings

In the areas of micro and sensor technology, micro-sensors are produced by means of CVD, PVD and lithographic processes and consist of a combination of wear-resistant hardening layers and sensor layers. Figure 2 shows the schematic set-up of such a sensor. Layer 1 is an insulating layer, e.g. SiCON[®], Al₂O₃ or AlN with thickness $d=3\ \mu\text{m}$. The sensor layer (Cr, TiN with $d=0.2\ \mu\text{m}$) is deposited and structured on top of this. After a second photolithographic step, the contacts of the structure are coated with Cu ($d=0.5\ \mu\text{m}$). The measuring wires are subsequently soldered onto these Cu contacts. The final layer to be coated is wear-resistant SiCON[®], AlN, Al₂O₃ or similar with $d=3\ \mu\text{m}$. This temperature sensing system is coated on axial bearings and its functionality is tested using a high load tribometer. A ring with the layer system SiCON[®]-Cr-SiCON[®] was studied with an axial load of 100 N at 1000 rpm. A linear warming can be seen in figure 3, occurring because the Cr texture's resistance increases linearly. For chromium the characteristic change in resistance is $1\ \Omega/^\circ\text{C}$.

Micro-sensors for measuring force in bearings

The arrangement of thin layer systems for measuring forces is portrayed in

figure 2. The sensor layer (1) of F-DLC ($d=3\ \mu\text{m}$) is laid down first. Then the structured layer (2) of e.g. Cr ($d=0.2\ \mu\text{m}$) is coated by sputter and lithographic processes. The contacts are also coated with Cu at this stage, before the third and final layer of wear-resistant SiCON[®], Al₂O₃ or AlN ($d=3\ \mu\text{m}$) is deposited. Axial bearings were fitted with these sensor systems in order to measure bearing force (figure 4). Preliminary investigations tested the structure statically over a ball-bearing with linearly increasing load, thus measuring the change in resistance of the sensor layer F-DLC. The results (figure 5) indicate that resistance decreases linearly with increasing load, and vice versa. Axial bearings with the layer system F-DLC-Cr-SiCON[®] were then tested dynamically in a high load tribometer. The purpose of the investigations was to detect the rolling balls through change in resistance of the force sensors, to measure the forces thus caused, and also to determine any imbalance when these forces are unevenly distributed around the ring. A cage with four balls was placed between the bearings for these trials. Figure 6 shows at good resolution the force/resistance characteristics of a measuring point for a passing single ball.

Ansprechpartner / Contacts

Dipl.-Ing. Saskia Biehl
Telefon +49 (0)5 31/21 55-604
E-Mail biehl@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Holger Lüthje
Telefon +49 (0)5 31/21 55-644
E-Mail luethje@ist.fraunhofer.de

Thin Film Sensors for Detecting Force and Temperature

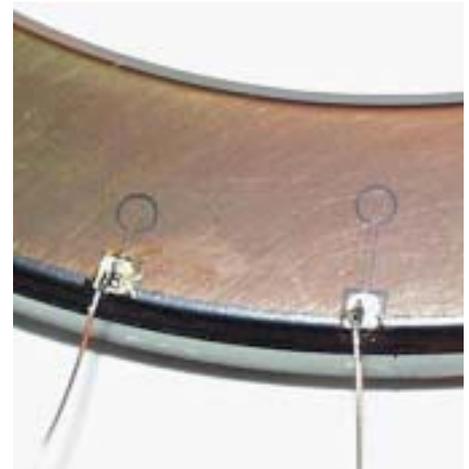


Bild 4: Dünnschichtsensormesssystem zur Kraftmessung auf Axiallagerringen.

Fig. 4: Thin film sensor for the detection of bearing forces on axial roller rings.

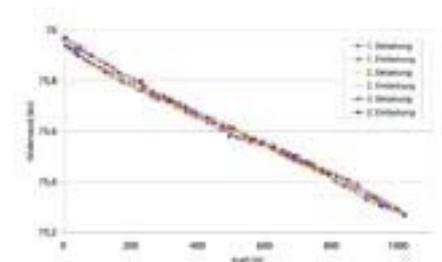


Bild 5: Lineare Widerstandsabhängigkeit von der statischen Belastung des Kraftsensors.

Fig. 5: Resistance of the force sensor shows a linear dependence on the static load.

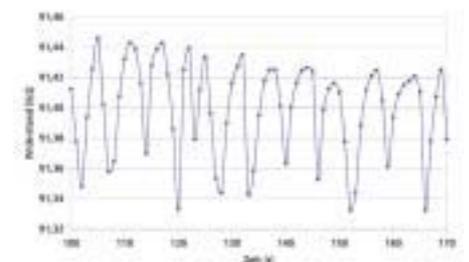


Bild 6: Widerstandsverhalten des Kraftsensors auf einem Axiallagerring, der mit 10 rpm läuft.

Fig. 6: Resistance behavior of the force sensor on an axial roller ring rotating at 10 rpm.

Dynamische Beschichtung von Metallbändern mit einer Hohlkathoden-Glimmentladung

Durch Plasmaverfahren lassen sich auf Metallbändern Oberflächenfunktionen realisieren, die mit konventionellen Verfahren nicht oder nur unzureichend möglich sind (z. B. dichter, optisch transparenter Korrosionsschutz). Um jedoch solche Verfahren in den industriellen Fertigungsprozess von Metallbändern integrieren zu können, müssen sie hohe Ansprüche u. a. an Produktivität und Uniformität auf großen Flächen erfüllen. Das am IST entwickelte Bandhohlkathoden-Verfahren (*strip hollow cathode process, SHC*) bietet für diese Anforderungen eine überzeugende Lösung.

Das Bandhohlkathoden-Verfahren

Bei der Bandhohlkathode bildet das in einer Schleife geführte Metallband eine Hohlgeometrie aus (Bild 1). Bei geeigneter elektrischer Beschaltung brennt zwischen den parallelen Abschnitten des Bands eine intensive Hohlkathoden-Glimmentladung. Diese wird zur Plasma-aktivierten chemischen Abscheidung (*plasma activated chemical vapor deposition, PACVD*) von Polymeren auf Silizium- und Kohlenstoff-Basis genutzt. Das Verfahren gewährleistet hohe Beschichtungs-raten bei gleichzeitig minimaler Streu-beschichtung. Der Arbeitsdruck liegt mit 0,2 mbar im Feinvakuum und stellt damit nur geringe Anforderungen an die Vakuum-Umgebung.

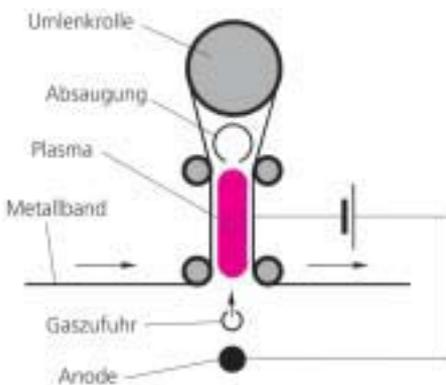


Bild 1: Arbeitsprinzip des Bandhohlkathoden-Verfahrens: Eine intensive Glimmentladung brennt zwischen den parallelen Abschnitten eines geeignet geführten Metallbands.

Fig. 1: The working principle of the strip hollow cathode process: an intensive glow discharge is maintained between the parallel sections of a suitably guided metal strip.

flächen geeignet. Folgende Schichtsysteme wurden bisher hergestellt und untersucht:

– **Korrosionsschutzschichten** auf der Basis siliziumhaltiger Plasmapolymere ($\text{SiO}_x\text{C}_y\text{H}_z$). Diese Schichten sind praktisch kohlenstofffrei, besitzen hervorragende Hafteigenschaften und zeigen bereits bei Schichtdicken unter 100 nm einen wirksamen Korrosionsschutz (Bild 2).

– **Diamantähnliche Kohlenstoffschichten** (*diamond-like carbon, DLC*) als Korrosions- und Kratzschutz sowie zur Stabilisierung weicher Materialien. Beispielsweise übertreffen DLC-Deckschichten auf Roh-Aluminium deutlich die Härte konventioneller Eloxalschichten.

Darüber hinaus eignet sich das Verfahren zur Plasma-Aktivierung von Metall- oder Kunststoff-Oberflächen, beispielsweise zur besseren Benetzbarkeit für nachfolgende Lackschichten.

Ausblick

Prinzipiell lassen sich mit dem SHC-Verfahren die meisten im Labormaßstab entwickelten Funktionsschichten auf große Bandflächen aufskalieren. Beispiele hierfür sind selbstreinigende, optisch wirksame oder dekorative Schichten.

Stand der Technik

Am Fraunhofer IST werden in einer etwa 4 Kubikmeter fassenden Vakuumkammer statische und dynamische Beschichtungen durchgeführt. Das SHC-Verfahren wurde bisher u. a. an Edelstahl, Stahl, Kupfer und Aluminium erfolgreich demonstriert und ist auch für lackierte oder eloxierte Ober-

Plasma processes enable surface functionality (e.g. dense, optically transparent corrosion protection) to be achieved on metal strips. This is either impossible or inadequate with conventional processes.

However before such processes can be integrated into industrial metal strip manufacture, the high demands for productivity and uniformity on large areas must be satisfied. The Strip Hollow Cathode process (SHC) developed at the IST is a convincing way to meet these requirements.

Strip Hollow Cathode process

At the strip hollow cathode, the looped metal strip forms a hollow geometry (figure 1). With a suitable electrical circuitry an intensive hollow cathode glow discharge is maintained between the parallel sections of the strip. This is used for the plasma activated chemical vapor deposition (PACVD) of polymers based on silicon and carbon. The process guarantees high coating speeds with minimal stray coating. The working pressure is 0.2 mbar in the pre-vacuum and therefore places only low demands on the vacuum conditions.

Current technology

Static and dynamic coatings were carried out in a 4 cubic meter vacuum chamber at the Fraunhofer IST. So far the SHC process has been successfully demonstrated on stainless steel, steel, copper and aluminum amongst other substrates, and is also suitable for varnished or anodized surfaces. The following layer systems have been manufactured and investigated:

– **Corrosion protection layers** based on silicon-containing plasma polymers

($\text{SiO}_x\text{C}_y\text{H}_z$). These layers are practically carbon-free, have excellent adhesion properties and give effective corrosion protection even for layer thicknesses under 100 nm (figure 2).

– **Diamond-like carbon** (DLC) as corrosion and scratch protection, as well as for stabilizing soft materials. For example, DLC capping layers on slab aluminum clearly exceed the hardness of conventional anodized layers.

The process is particularly suited to the plasma activation of metal or plastic surfaces, for example to improve wettability for subsequent varnish layers.

Outlook

The SHC process allows functional layers developed in the lab to be scaled up to large strip areas. Examples of these are self-cleaning, optically effective or decorative layers.

Ansprechpartner / Contacts

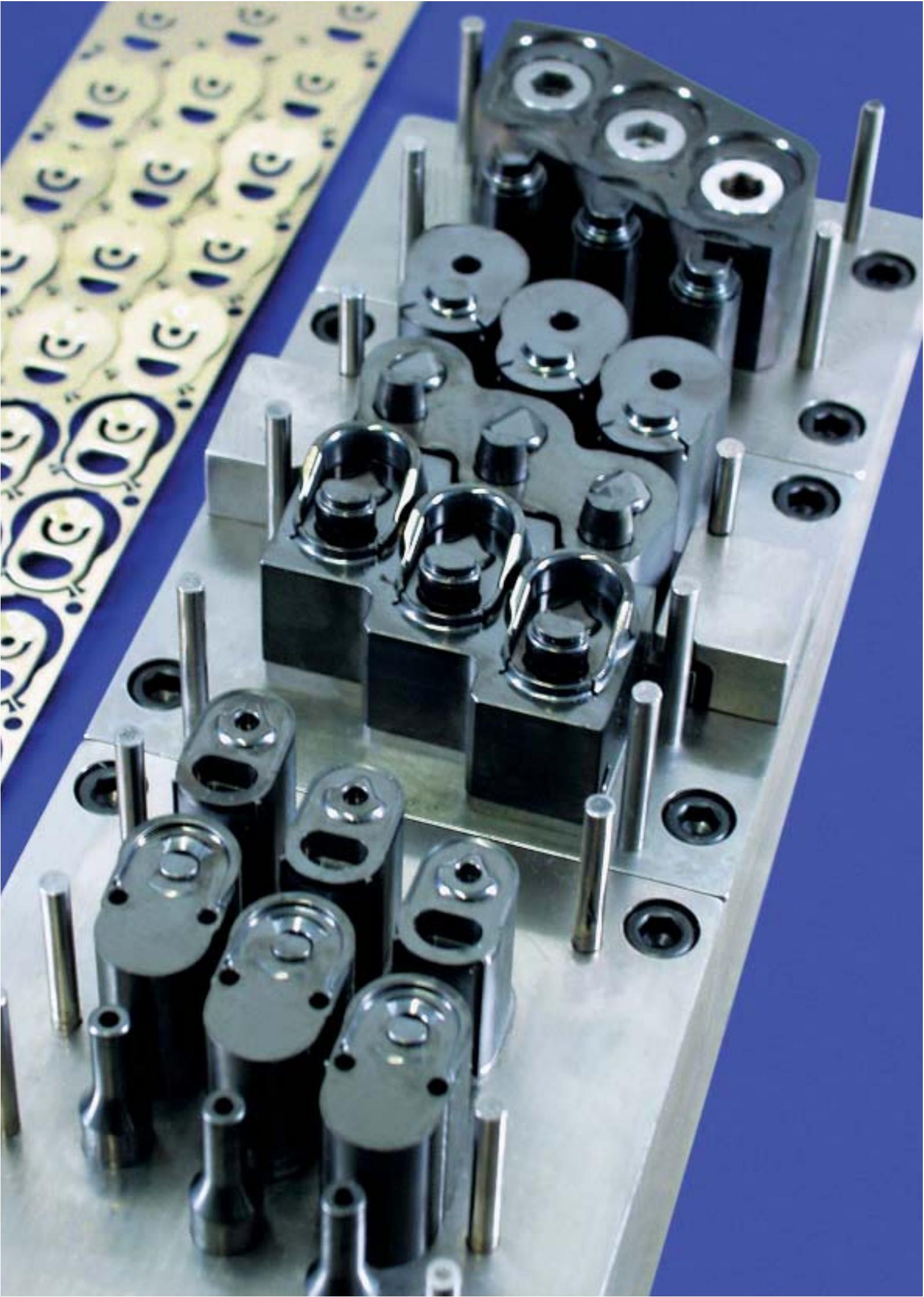
Dr. Kai Ortner
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-637
E-Mail ortner@ist.fraunhofer.de

Dr. Thomas Jung
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-616
E-Mail jung@ist.fraunhofer.de

Dynamic Coating of Metal Strips with a Hollow Cathode Corona Discharge



Bild 2: Mit dem SHC-Verfahren hergestellte dünne Plasmapolymerschicht (linke Seite) als wirksamer Korrosionsschutz auf Stahlblech.
Fig. 2: The thin plasma polymer layer deposited by the SHC process (left) provides effective protection from corrosion.



Im Geschäftsfeld »Werkzeuge« konzentriert sich das IST z. B. auf diese Themen:

- Verbesserung von Qualität und Leistungsfähigkeit bei Umform- und Schneidprozessen durch Antihafbeschichtungen
- Trockenschmierstoffschichten auf Werkzeugen für schmiermittelarmer oder trockene Bearbeitungsprozesse
- Superharte Beschichtungen (Diamant, Borkarbid und kubisches Bor-nitrid) für Werkzeuge zur Zerspaltung harter Werkstoffe
- Diamantbeschichtete Mikroschleifstifte zur Präzisionsbearbeitung
- Entwicklung von »intelligenten Werkzeugen« mit integrierten sensorischen Funktionen

Wichtige Kunden dieses Geschäftsfeldes sind neben Beschichtungsservice-Unternehmen Werkzeughersteller sowie -anwender z. B. aus dem Bereich Formenbau oder der Automobilindustrie.

The IST is concentrating on the following topics within the business area »Tools«:

- Improving quality and performance of forming and cutting processes using anti-adhesive coatings
- Dry lubricant layers for tools for low lubricant or dry machining processes
- Super hard coatings (diamond, boron carbide and cubic boron nitride) for tools to cut hard materials
- Diamond coated micro abrasive pencils for precision machining
- Development of »smart tools« with integrated sensor functionalities

Important customers of this business area are not only job coating companies but also tool manufacturers and tool end-users e.g. from the die and mould making and the automotive industry.

Bild: Laschenwerkzeuge zur Getränkedosenherstellung, beschichtet mit einem Schichtsystem aus Hartstoff- und amorpher Kohlenstoffschicht: Vermeidung von Kaltaufschweißungen; Standzeiterhöhung der Werkzeuge.

Fig.: Forming tools for the manufacture of beverage cans coated with a layer system with hard coating and amorphous carbon coating: prevention of incrustations, increase of tool lifes.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Lothar Schäfer
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-520
E-Mail schaefer@ist.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Jan Gäbler
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-625
E-Mail gaebler@ist.fraunhofer.de

cBN-beschichtete Werkzeuge

Kubisches Bornitrid (cBN) ist das nach Diamant zweithärteste aller bekannten Materialien. Im Gegensatz zum cBN reagiert Diamant bei höheren Temperaturen mit Eisen und ist daher z. B. für die spanende Bearbeitung von Stahlwerkstoffen nicht geeignet. Aus diesen Eigenschaften resultiert das besondere Interesse der Industrie an cBN. Polykristallines cBN (PCBN) wird seit ca. 40 Jahren mittels Hochdruck-Hochtemperatur-Synthese als kompaktes Material hergestellt. PCBN ist heute ein etablierter Schneidstoff. Beschichtungen aus cBN besitzen aber ein weitaus größeres Potenzial als PCBN. Seit Mitte der Achtzigerjahre gab es weltweit zahlreiche Versuche, auch Schichten aus kubischem Bornitrid abzuscheiden. Dies gelingt heute im Labormaßstab mit PVD- als auch mit plasmaaktivierten CVD-Verfahren. Prozessbedingt stehen cBN-Schichten im Allgemeinen unter sehr hohen Druckspannungen (≥ 10 GPa) und neigen daher bereits bei Dicken von $< 0,5 \mu\text{m}$ zum Abplatzen. Für Werkzeuganwendungen sind aber Schichten von $\geq 2 \mu\text{m}$ erforderlich. Es gibt weltweit nur wenige Gruppen, darunter das Fraunhofer IST, die in der Lage sind, cBN-Schichten in diesem Dickenbereich, auf dem Modellsubstrat Silizium, abzuscheiden. Die »dicken« cBN-Schichten werden am Fraunhofer IST mittels reaktivem Sputtern mit einem Borcarbidtarget (B_4C) hergestellt. Unsere Arbeiten konzentrieren sich in jüngerer Zeit auf die Übertragung des Beschichtungsprozesses auf technisch relevante Werkzeugsubstrate wie Hartmetalle. Dazu musste der für Si-Substrate entwickelte Prozess modifiziert werden. Bild 1 zeigt den Aufbau eines Schichtsystems auf einem Werkzeugsubstrat. Die B_4C -Zwischenschicht ist hier wesentlich dicker als die auf Silizium. Es folgt ein gradierter B-C-N-Übergang und als oberste Lage reines cBN. Das gesamte Schichtsystem

ist ca. $2 \mu\text{m}$ dick und weist eine Härte von ≥ 5000 HV auf. Bild 2 zeigt eine solche Schicht auf einer K10-Hartmetall-Schneidplatte. Mit diesen beschichteten Werkzeugen wurden am Fraunhofer IPK in Berlin Zerspantests (Hochgeschwindigkeitsdrehen von GGG 50, trocken) durchgeführt. Erste Ergebnisse sind in Bild 3 dargestellt. Referenzmaterialien waren dabei PCBN und eine Oxidkeramik, zwei etablierte Hochleistungsschneidstoffe. Bis ca. 75 s liegt die Verschleißrate zwischen denen der beiden Referenzmaterialien und steigt dann, bedingt durch auftretendes Versagen des Schichtsystems, deutlich an. Vielversprechende Ergebnisse wurden z. B. auch für Inconel 718 ermittelt. Die Resultate der Zerspantests belegen das Potenzial dieser Beschichtung.

Ausblick

Zukünftige Arbeiten werden sich auf die weitere Verbesserung der Schichthaftung sowie auf die Prozess-Übertragung in größere, industrierelevante Anlagen konzentrieren.

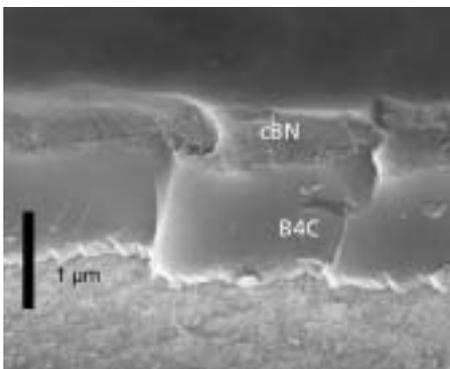


Bild 1: Bruchkante eines B-C-N-cBN-Schichtsystems auf einem Werkzeugsubstrat.
 Fig. 1: Cross-section image of a B-C-N-cBN coating system on a tool substrate.

Next to diamond, cubic boron nitride (cBN) is the second hardest of all known materials. Unlike cBN, diamond reacts at high temperatures with iron and is therefore not suitable for e.g. cutting of steel. Because of this there is great interest from industry in cBN. Polycrystalline cBN (PCBN) has been synthesized at high pressure and high temperature as compact material for the past 40 years. Today PCBN is an established cutting material. cBN coatings however have a still greater potential than PCBN. Since the mid 80s there have been numerous attempts worldwide to deposit layers of cubic boron nitride. This has been achieved on a lab-scale with PVD and also plasma-activated CVD processes. cBN layers are in general subjected to very high compression stress (≥ 10 GPa) and tend to flake even for thickness $< 0.5 \mu\text{m}$. However, for tool applications, layers must be at least $\geq 2 \mu\text{m}$ thick. Worldwide only a few groups, amongst them Fraunhofer IST, are in the position to deposit cBN layers this thickness range on the model substrate silicon. At Fraunhofer IST the »thick« cBN coatings were prepared using reactive sputtering techniques with boron carbide (B_4C) targets. Our latest work concentrates on transferring the coating processes to technically relevant tool substrates such as cemented carbides. In order to do this, the process developed for Si substrates must be modified. Figure 1 shows the arrangement of a layer system on a tool substrate. Here the B_4C intermediate layer is considerably thicker than that on silicon. There is a graduated transition from B-C-N to pure cBN in the topmost position. The entire layer system is about $2 \mu\text{m}$ thick and exhibits a hardness of ≥ 5000 HV. Figure 2 shows such a layer on a K10 cemented carbide cutting insert. High rotation speed cutting tests (GGG 50, dry) were carried out at Fraunhofer IPK in

Berlin with these coated tools. Initial results are given in figure 3. PCBN and an oxide ceramic, two established heavy-duty cutting materials, were used as references. Up to 75 s, the wear rate lies between those of the two reference materials, but then clearly rises due to the failure of the layer system. Promising results are also reported e.g. for Inconel 718. The results provide evidence for the potential of this coating.

Outlook

Future work will concentrate on further improving layer adhesion as well as transferring the process to larger, industrial coating machines.

Ansprechpartner / Contacts

Dipl.-Phys. Martin Keunecke
 Telefon +49 (0) 5 31/21 55-652
 E-Mail keu@ist.fraunhofer.de

Dr. Klaus Bewilogua
 Telefon +49 (0) 5 31/21 55-642
 E-Mail bew@ist.fraunhofer.de

cBN Coated Tools



Bild 2: cBN-Schicht auf einer Hartmetall-Wendeschneidplatte.
 Fig. 2: cBN coating on a cemented carbide cutting insert.

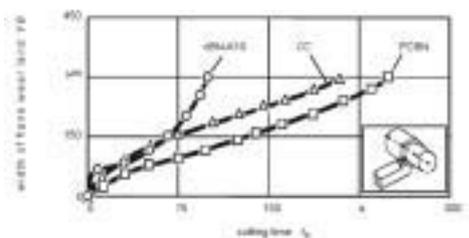


Bild 3: Verschleißmarkenbreite einer cBN-Schicht auf K10-Hartmetall, von PCBN und Oxid-Keramik in Abhängigkeit von der Bearbeitungsdauer.
 Fig. 3: Flank wear width of a cBN coating on K10 cemented carbide, PCBN and oxide ceramics with respect to cutting time.

It has long been a cherished dream of industry that monitoring of the actual condition of the cutting edge would be possible during the cutting of various metals. For tools with cutting inserts this has become a reality, with a new development from the Fraunhofer IST and industrial partners within the framework of a BMBF funded joint project.

Intelligent turning tool

The tool has as its central element a turning cutting insert fitted with a special thin layer sensor underneath the wear-resistant coating. The construction principle and prototype are shown in figures 1 and 2. Sensor control and signal transfer are performed telemetrically. The necessary electronics are housed in a flexible, pivoted module close to the turning tool. The tool sensor has just one protected spring contact. The measurements are grounded.

Figure 3 shows one possible arrangement of micro-sensors on the sub-surface. Here parallel conductive tracks are generated at precise, defined spacing from the cutting edge by laser structuring. Knowing the separation of the individual tracks means that abrasion caused by progressive wear can be measured precisely on-line through the contacts made by the tracks, and this information can then be used for process monitoring and control.

Technology for producing sub-surface sensors

Manufacturing micro-sensors on the sub-surface of turning cutting inserts presents a particular technological challenge. For this hard coating processes were developed to enable two

wear-resistant Al_2O_3 layers each about $3\ \mu\text{m}$ thick to be manufactured with an embedded sensor layer (TiN with a thickness of about $200\ \text{nm}$) between them. The layer system was produced with modern magnetron sputter processes and can be deposited on ceramic and cemented carbide tips. The desired wear resistant coating can then be deposited on the electrically insulated substructure. A low-cost laser beam process is used to carry out the structuring.

Cutting tests

Cutting processes with the intelligent turning tool were carried out using inserts with no wear resistant coating other than the Al_2O_3 layers. Figure 4 shows typical signal behavior, observed while cutting of steel with this system. Durability tests of the layer system were carried out with CK45 (250 rpm, cutting depth 1.3 mm, feed 0.2 mm). The tool life of about 8,000 m at a wear-mark width of 0.25 mm shows the high wear resistance of the coating with integrated sensors.

Availability and outlook

After the conclusion of the successful joint project, it is planned to make tools with integrated sensors available to a wide range of interested parties.

Ansprechpartner / Contacts

Dipl.-Ing. Holger Lüthje
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-644
E-Mail luethje@ist.fraunhofer.de

Hard Coated Cutting Tools with Electronic Control of the Cutting Edge



Bild 3: Wendeschneidplatte mit umlaufenden Mikrostrukturen.
Fig. 3: Turning cutting insert with orbital micro-structures.

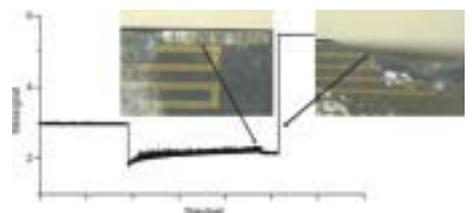


Bild 4: Signalverlauf bei der Zerspannung von Stahl: i) Erstkontakt nach $150\ \mu\text{m}$, ii) Bruch der Platte.
Fig. 4: Signal behavior on the cutting of steel: i) first contact after $150\ \mu\text{m}$, ii) failure of the tip.

Kohlenstoffschichten zum schmiermittelfreien Aluminiumschneiden



Bild 1: Rotationschneidmaschine mit Stempel (oben) und Matrize (unten). [Quelle: utg, TU München]

Fig. 1: Rotary cutting machine with punch (above) and die (below). [Source: utg, TU München]

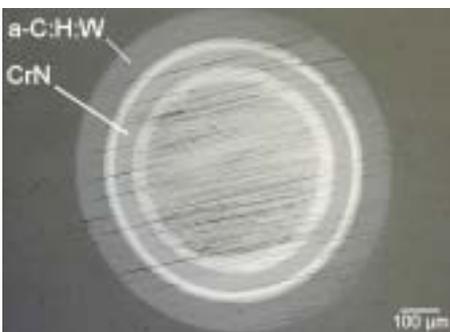


Bild 2: Kalottenschliff durch ein Mehrschichtsystem CrN + a-C:H:W. Helle Schichten: Haftmittler und Verbindungsschichten.

Fig. 2: Circular section through a multi-layer CrN + a-C:H:W system. Light layers are adhesion and binding layers.

In der Fertigung können Beschichtungen ein besonderes Potenzial dort entfalten, wo ohne ein Schichtsystem eine Bearbeitung gar nicht möglich ist. Dieser Fall liegt beim trockenen Schneiden (Stanzen) von Aluminium vor. Aufgrund der starken Neigung dieses Werkstoffes zu Kaltverschweißungen kommt es sehr schnell zu starken Ablagerungen, wenn man Aluminium ohne Schmiermittelzugabe zu schneiden versucht. Die Ablagerungen verschlechtern die Schnittqualität und führen durch Adhäsivverschleiß zu starker Werkzeugabnutzung. Eine Bearbeitung mit nennenswerter Wirtschaftlichkeit ist so nicht möglich. Werkzeugbeschichtungen können dieses Problem lösen und so die Zugabe von Schmierstoffen in der Fertigung vermeiden.

Versuche

In einem von der AiF geförderten Projekt wurden in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg) der TU München Schneidwerkzeuge mit unterschiedlichen Kohlenstoffschichten beschichtet. Es wurden sowohl verschiedene amorphe, wasserstoffhaltige Kohlenstoffschichten als auch Diamantschichten ausgewählt, die alle über sehr gute Antihafteigenschaften verfügen und zusätzlich Verschleißschutz Eigenschaften aufweisen. Die am Fraunhofer IST sowie bei Balzers und HÖP beschichteten Werkzeuge wurden anschließend am utg auf einer Baust-Rotationsschneidmaschine im Schneideinsatz getestet (Bild 1). Als Aluminiumwerkstoffe wurden die weiche Knetlegierung AA-6016 (AlMg0,4Si1,2 von Alcan) sowie die hochfeste Legierung AA-7075 (AlZn5,5MgCu von AMAG) verwendet. Die Blechdicken betragen 1,65 mm (AA-6016) bzw. 1,50 mm (AA-7075).

Ergebnisse

Es wurden ohne Zugabe von Schmiermitteln 100.000 Schnitte in der Legierung AA-6016 und 75.000 Schnitte in AA-7075 mit jeweils einem Werkzeugpaar von jeder Beschichtung durchgeführt. Mit allen Beschichtungen konnten die Anhaftungen reduziert werden (Bild 3 u. 4). Die Werkzeuge zeigten das Potenzial auf, um auch praxisrelevante Schnittzahlen von mehr als 1 Million erreichen zu können, bei denen unbeschichtete Werkzeuge im Trockenschnitt längst durch Adhäsivverschleiß zerstört wären.

Die am Fraunhofer IST entwickelten Mehrschichtsysteme CrN + DLC-Deckschicht (Bild 2) zeigten, dass selbst bei einem partiellen Verschleiß der DLC-Deckschichten an der hochbelasteten Schneidkante die zähe CrN-Stüttschicht erhalten blieb (Bild 5). Die Antihafteigenschaft wurde durch den Verschleiß der Deckschicht nicht verringert. Die gewünschte Funktion der Werkzeugbeschichtung blieb also trotz des Verschleißes erhalten und sicherte so die problemlose Trockenbearbeitung auch bei hohen Schnittzahlen.

Es wurde weiterhin festgestellt, dass die Schnittspalte Anhaftungen und Verschleiß stark beeinflussen.

Ausblick

Um die Praxiserprobung abzuschließen, werden Schneiderprobungen der Beschichtungen mit Schnittzahlen über 1 Million bei industriellen Endanwendern durchgeführt.

There is potential for new production uses for coatings in the situation where a processing step is just not possible without a coating system, for example the dry punching of aluminum. Due to the strong tendency of this material to re-weld, heavy deposits occur rapidly when attempting to dry punch aluminum without a lubricant. These deposits degrade cutting quality, lead to adhesive wear and thus shorten tool lifetimes. Therefore, economical machining is not possible. Coating the tools can solve this problem and thus avoid the addition of lubricant during manufacturing processes.

Experiments

In a project funded by the AiF and in cooperation with utg (*Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen der TU München* – The Institute for Metal Forming and Casting at the TU Munich), cutting tools were coated with various carbon layers. Various hydrogenated amorphous carbon layers as well as diamond layers were selected, each with excellent anti-adhesion properties and exhibiting additionally wear resistance characteristics. Tools coated at the Fraunhofer IST as well as at Balzers and HÖP were then tested at utg on a Baust rotation blanking machine (figure 1). The aluminum materials selected for the punching tests were the soft wrought alloy AA-6016 (AlMg0.4Si1.2, 1.65 mm gauge, from Alcan) and the high-strength alloy AW-7075 (AlZn5.5MgCu, 1.50 mm gauge, from AMAG).

Results

Pairs of tools with each coating were used to make either 100,000 dry punches in the AA-6016 alloy or 75,000 in AA-7075. All the coatings reduced the deposits (figures 3 and 4). These tools show potential for being able to achieve punching counts greater than 1 million, way past the point at which uncoated tools without lubricant would have been destroyed by adhesive wear.

The multi-layer CrN + DLC surface layer system (figure 2) developed at the Fraunhofer IST shows that even with partial wear of the DLC surface layer on the high-stress cutting edge, the tough CrN-support layer remains (figure 5). The anti-adhesion effect is not lessened by wear of the surface layer. The desired function of the tool coating is retained despite wear, thus ensuring problem-free dry processing even for high cutting numbers. It was further established that the cutting gap strongly influences deposits and wear.

Outlook

To conclude the trials, cutting tests with counts over 1 million will be carried out on the coatings in industrial end applications.

Ansprechpartner / Contacts

Dr.-Ing. Jan Gäbler
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-625
E-Mail gaebler@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Martin Weber
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-507
E-Mail weber@ist.fraunhofer.de

Carbon-based Coating Systems for Dry Punching of Aluminium Sheet



Bild 3: Starke Ablagerungen auf einem unbeschichteten Schneidstempel aus Werkzeugstahl.
Fig. 3: Heavy deposits on an uncoated punch made of tool steel.



Bild 4: Geringe Ablagerungen auf einem beschichteten Schneidstempel, Schichtsystem: CrN + C-DLC (a-C:H gesputtert).
Fig. 4: Lighter deposits on a punch coated with the system CrN + C-DLC (a-C:H sputtered).



Bild 5: Schichtverschleiß nach Entfernung der Ablagerungen: braune Deckschicht SiCON® (a-C:H:Si:O) verschlissen, Stützsicht CrN erhalten.
Fig. 5: Coating wear after removal of deposits: brown surface layer SiCON® (a-C:H:Si:O) worn off, backing layer CrN preserved.

Galvanisch beschichtetes Polyurethan im Werkzeug- und Modellbau



Bild 1: Laboranlage zum Kugelstrahlen.
Fig. 1: Bench-scale unit for grit blasting.

Polyurethan-Kunststoffe (PUR) gewinnen in der technischen Welt auf Grund einer Vielzahl von Vorteilen immer mehr an Bedeutung und werden in Zukunft einige aus Metall gefertigte Komponenten verdrängen. Im Maschinenbau lässt sich eine Reihe von Bauteilen, die heute noch aus Metall hergestellt werden, aus PUR fertigen. Die Vorteile liegen wegen der – verglichen mit Metall – geringeren Masse von Polyurethan in höheren Geschwindigkeiten bewegter Teile und damit verbesserter Produktivität. Bedingt durch die hohe Festigkeit von PUR wird es heute schon in einigen Fällen als Werkzeug zum Formen eingesetzt, insbesondere da, wo nur kleinere Stückzahlen gefordert sind, z. B. beim Prototypenbau oder für Sonderanfertigungen. Die Herstellung von PUR-Werkzeugen ist um ein Vielfaches günstiger als die von metallgefertigten Werkzeugen.

Im technischen Modellbau ist PUR der Werkstoff der Wahl, da er sich leicht formen lässt.

Hochglänzende Aussichten

Allerdings ließ sich bisher Polyurethan nicht galvanisch beschichten. Ein neues, mechanisches Verfahren der Vorbehandlung beseitigt diesen Nachteil nun. Dabei werden Metallpartikel mittels einer modifizierten Gasdruckstrahlanlage (Bild 1) auf die Kunststoffoberfläche geschossen. Die Partikel dringen in die Oberfläche ein und bilden die Keime für die nachfolgende konventionelle Metallisierung: Palladiumaktivierung, chemische Metallisierung und galvanische Verstärkung.

Damit eröffnet sich eine breite Palette neuer Anwendungen z. B. für Verschleißschutzschichten aus Hartchrom für Werkzeuge und Maschinenbauteile

oder dekorative Schichten für Modellbauteile. So wurden z. B. Umformwerkzeuge wie Biegebacken oder Tiefziehkomponenten mit Nickel beschichtet (siehe Bild 2) und zeigten ein gegenüber unbeschichteten PUR-Werkzeugen erheblich verbessertes Abriebverhalten.

Modellbauteile z. B. für Komponenten neuer Fahrzeugtypen beeindrucken den Betrachter sehr stark durch eine perfekte Oberfläche, die häufig lackiert wurde. Durch das neuartige Verfahren lassen sich jetzt hochglanzverchromte PUR-Modelle herstellen, die neben dem edlen Aussehen auch eine ansprechende Haptik aufweisen, z. B. Türgriffe oder Scheinwerfermodelle von Automobilen (siehe Bild 3, 4).

Ausblick

Nachdem die Machbarkeit einer galvanischen Beschichtung auf PUR an kleineren Bauteilen und Werkzeugen gezeigt wurde, ist im IST in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner die Entwicklung von Verfahren zur Vorbehandlung und Beschichtung großer Serienteile aus Polyurethan (bis zu 2 m Länge) geplant.

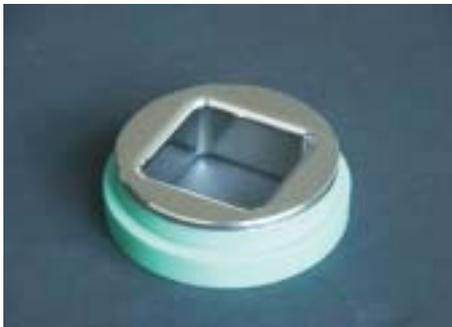


Bild 2: Tiefziehwerkzeug aus PUR, galvanisch mit Nickel beschichtet.
Fig. 2: Nickel plated deep drawing tool made of PUR.

Polyurethanes (PUR) gain increasing technical importance because of their many advantages, and in the future they will replace some metal components. A range of machine components currently made from metal could be produced from PUR. Since polyurethane has lower mass than metals, it offers the advantage that moving parts can operate at higher speeds and thus provide improved productivity.

The high strength of PUR means it is already in use today for forming tools, in particular where only small batches are required, e.g. for prototypes or special orders. The manufacture of PUR tools is many times more economic than that of metal tools.

PUR is the material of choice for technical model making, since it can so easily be formed.

High-gloss finishes

To date it has not been possible to put galvanic coatings onto polyurethane. A new mechanical process for pre-treatment removes this obstacle. This involves shooting metal particles at the polymer surface by means of modified high-pressure blasting (figure 1). These particles penetrate the surface and form nuclei for subsequent conventional metallization: palladium activation, chemical metallization and galvanic strengthening.

This opens up a wide palette of new applications e.g. hard chrome wear-protection layers for tools, and machine components or decorative layers for model parts. This enables forming tools such as bending jaws or deep-drawing components to be coated with nickel (see figure 2), and these then exhibit considerably lower abra-

sion behavior than uncoated PUR tools.

Model parts (e.g. for components of new types of vehicles) strongly impress the observer with their »perfect« surface which often has been coated. This new process enables the production of high-gloss chromed PUR models, that offer not only a refined appearance but also an attractive surface feel, e.g. door handles or headlights for automobiles (see figures 3, 4).

Outlook

Having demonstrated that the galvanic coating of PUR is feasible for small components and tools, the IST plans to develop processes in cooperation with an industrial partner for pre-treating and coating large PUR series-produced parts (up to 2 m long).

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Andreas Dietz
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-646
E-Mail dietz@ist.fraunhofer.de

Gebhard Klumpp
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-654
E-Mail klumpp@ist.fraunhofer.de

Galvanic Coated Polyurethane for Tools and Model Making



Bild 3: PUR-Modell eines Automobil-Scheinwerfers, satinverchromt.

Fig. 3: PUR model of a satin-chromium plated automotive headlight.



Bild 4: PUR-Modell eines Türgriffs, glanzverchromt.

Fig. 4: PUR-model of a door-handle, bright-chromium plated.



Energie, Glas und Fassade

Energy, Glass and Facade

Im Geschäftsfeld »Energie, Glas und Fassade« konzentrieren sich die Arbeiten des Instituts unter anderem auf die Entwicklung von

- Schichtsystemen und zugehörigen Prozessen für Photovoltaikanwendungen,
- kostengünstigen transparenten leitfähigen Schichtsystemen (TCOs) für die Photovoltaik und Photothermie,
- verbesserten funktionellen Schichten und Beschichtungsprozessen auf Architekturglas,
- Schichtsystemen für Brennstoffzellen,
- verbessertem kostengünstigem Hochtemperatur-Korrosionsschutz für Turbinenschaufeln.

Zu den Kunden gehören Unternehmen der Glas-, Photovoltaik- und Elektroindustrie, der Energie- und Bauwirtschaft, Heizungs- und Sanitärhersteller und Anlagenhersteller sowie Lohnschichter.

In the business area »Energy, Glass and Facade« some of the developments the Institute concentrated on were

- coating systems and associated processes for photovoltaic applications,
- low cost transparent conducting oxide coating systems (TCOs) for photovoltaics and photothermal applications,
- improved functional layers and coating processes for architectural glass,
- coating systems for fuel cells,
- improved low cost high temperature corrosion protection for turbine blades.

Our customers include the glass, photovoltaic and electronic industries, energy and construction, heating and sanitary fitting manufacturers and plant manufacturers as well as contract coaters.

Bild: Die vertikale In-line-Sputteranlage des Fraunhofer IST zur großflächigen Beschichtung von Glas. Im Vordergrund ist der Ein- und Ausgabebereich im Reinraum zu erkennen.

Fig.: Vertical in-line sputter system at Fraunhofer IST for large area coating of glass. The load-lock unit in the clean room is shown in the foreground.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Bernd Szyska
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-641
E-Mail szyska@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Volker Sittinger
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-512
E-Mail sittinger@ist.fraunhofer.de

Hochtransparente, temperaturstabile Low-E-Architekturglasbeschichtungen

Energieeffiziente Beschichtung von Architekturglas

Seit den Achtzigerjahren werden transparente und niedrigemittierende »Low-E«-Schichten auf Architekturglas zur Verminderung des Wärmeverlustes und/oder als Sonnenschutz eingesetzt. Derartige Schichten bestehen zumeist aus einer transparenten Silberschicht, die durch angrenzende, isolierende Schichten entspiegelt wird.

Die erste Low-E-Generation basierte auf DC-Sputtertechnologie oder Großflächen-CVD (Chemische Gasphasenabscheidung). Mit einer Emissivität von 10 ... 16 % konnte die thermische Durchlässigkeit von Isolierglas U von 3 auf 1,3 ... 1,6 W/(m²K) gesenkt werden.

Mitte der Neunzigerjahre entstand aufgrund der härteren Bestimmungen der Wärmeschutzverordnung eine zweite Generation von Low-E-Beschichtungen. Hier wurde mittels verbesserter Sputter-Verfahren die Kristallinität der Silberschicht und somit deren thermische Emissivität auf ca. 4 % verbessert. Hiermit konnte der U-Wert von Isolierglas auf 1,1 W/(m²K) gesenkt werden.

Eine weitere Senkung des thermischen Durchgangskoeffizienten U auf 0,5 W/(m²K) wäre mit Low-E-beschichtetem so genanntem Vakuum-Glas möglich. Hierbei handelt es sich um Isolierglaselemente mit evakuiertem Innenraum, deren Glasscheiben an den Rändern mit bei 500 °C niedrigschmelzendem Glas versiegelt sind.

Mit Low-E-Schichtsystemen der zweiten Generation konnte diese Technologie aufgrund der mangelnden thermischen Stabilität bisher nicht realisiert werden.

Dritte Generation energieeffizienter Schichtsysteme

Im Rahmen des EU-Verbundprojekts »3rd GenLAC« wird am Fraunhofer IST gemeinsam mit Industrie-Partnern wie Semco-Glastechnik, Scheuten Glasgroep, Heraeus und Applied Films sowie der Universität Uppsala und dem FORTH, Kreta, die dritte Generation von Low-E-Architekturglasbeschichtungen entwickelt. Deutliche Verbesserungen hinsichtlich Transparenz und Temperaturstabilität werden mit folgenden Ansätzen erreicht:

- Zur Verbesserung der Entspiegelung werden sowohl hoch- als auch niedrigbrechende dielektrische Schichten eingesetzt.
- Keramische Sputtertargets ermöglichen eine vereinfachte Prozesstechnologie sowie ultraharte, temperaturbeständige Mehrkomponenten-Materialien.
- Transparente, Silberschutz- und Barrierschichten führen ohne Absorptionsverlust zu hochtemperaturstabilen Schichtsystemen.

Die neuen Schichtsysteme werden neben verbesserter Transparenz eine sowohl für Vakuumglas als auch für Einscheiben-Sicherheitsglas erforderliche Temperaturstabilität aufweisen.

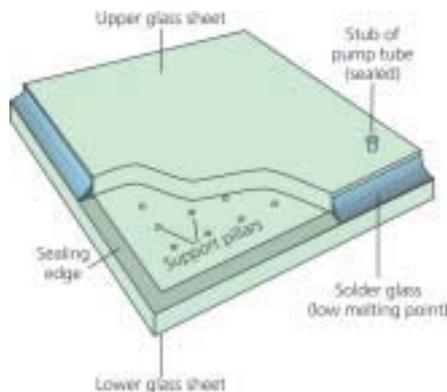


Bild 1: Vakuum-Isolierglaselement bestehend aus zwei Glasscheiben und einer inneren Low-E-Beschichtung. Der evakuierte Innenbereich wird mit niedrig schmelzendem Glas an den Rändern versiegelt, für Stabilität sorgen Abstandhalter zwischen den Glasscheiben.

Fig. 1: Vacuum glazing element consisting of two glass sheets and one internal low-E coating. The vacuum between the sheets is maintained by sealing the edges using low-melting glass. The stability of the construction is ensured by supporting pillars between the glass sheets.

Energy efficient coating of architectural glass

Since the 1980s transparent and low-emissive »low-E« coatings on architectural glass have been used to reduce heat losses and/or as solar protection. For the most part such coatings consist of a transparent silver layer with an anti-reflective insulating coating.

The first low-E generation was based on DC sputter technology or large-area CVD. With 10 to 16 % emissivity, the thermal transmissivity U of insulating glass could be reduced from 3 to 1.3 or 1.6 $W/(m^2K)$.

In the mid-nineties a second generation of low-E coatings came into being on the strength of stricter thermal insulation regulations. Improved sputter processes increased the crystallinity of the silver layer, thereby improving thermal emissivity to about 4 %. The U -value of insulating glass was further reduced to 1.1 $W/(m^2K)$.

Further lowering of thermal transmissivity to $U = 0.5 W/(m^2K)$ would be possible with low-E coatings on so-called vacuum glass. These insulating glass elements have an evacuated interior space, and the sheet edges are sealed with 500 °C low-melting glass.

This technology could not be realized with second generation low-E layer systems due to the lack of thermal stability.

Third generation energy efficient layer systems

In a joint EU project »3rd GenLAC« the Fraunhofer IST develops this third generation of low-E architectural glass coatings together with industrial partners such as Semco-Glastechnik, Scheuten Glasgroep, Heraeus and Applied Films plus Uppsala University and FORTH, Kreta. Distinct improvements regarding transparency and thermal stability were achieved:

- To improve anti-reflective properties, both high and low refracting dielectric layers are used.
- Ceramic sputter targets enable simplified process technology, as well as ultra-hard thermally-stable multi-component materials.
- Transparent silver protection and barrier layers without absorption losses result in layer systems stable at high temperatures.

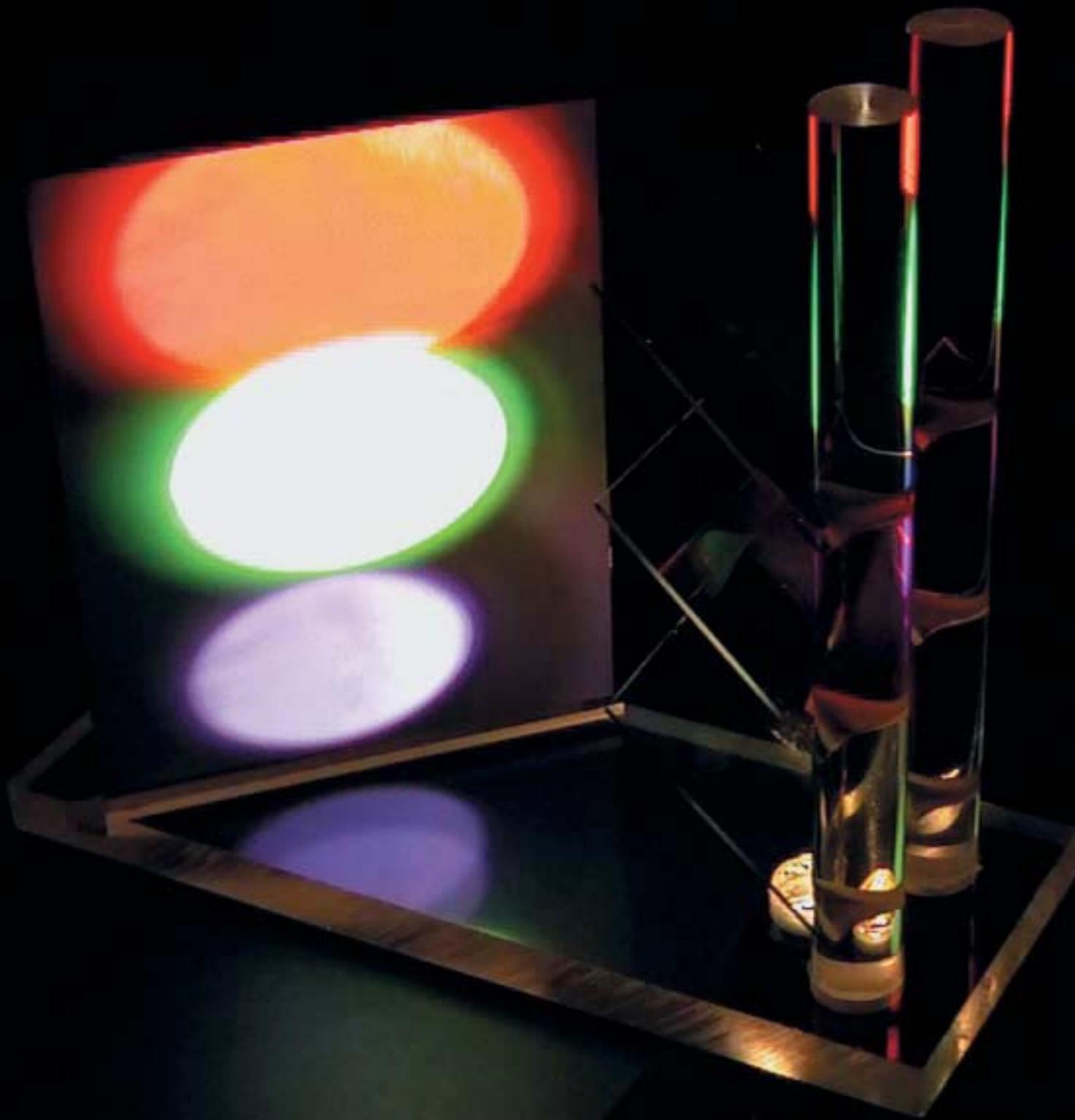
These new layer systems will exhibit not only improved transparency but also the required thermal stability for both vacuum and single-pane safety glass.

Ansprechpartner / Contacts

Dipl.-Phys. Andreas Pflug
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-629
E-Mail pflug@ist.fraunhofer.de

Dr. Bernd Szyszka
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-641
E-Mail szyszka@ist.fraunhofer.de

Heat Resistive Low-E Architectural Glass Coatings with High Transmittance



Optik, Information und Kommunikation

Optics, Information and Communications

Die Themen im Geschäftsfeld »Optik, Information und Kommunikation« umfassen unter anderem

- die Entwicklung von Schichtsystemen für Displays,
- die Entwicklung und das Design von Mehrlagenschichten für optische Filter,
- die Metallisierung von Kunststoffen für 3D-MID,
- die Entwicklung neuer Materialien, Strukturierungs- und Metallisierungstechnologien zur Substitution von ITO-Schichtsystemen in Flachbildschirmen.

Zu den Kunden dieses Geschäftsfeldes zählen Unternehmen der optischen Industrie, der Telekommunikation, der Automobilindustrie, Hersteller von Displays und Datenspeichern sowie Anlagenhersteller und Lohnbeschichter.

Topics falling within »Optics, Information and Communications« include

- developing coating systems for displays,
- developing and designing multilayer coatings for optical filters,
- metallizing plastics for 3D-MID,
- developing new materials, structurizing and metallizing technologies to substitute ITO layer systems for flat panel display application.

Customers of this business area include the optical and automotive industries, telecommunications, manufacturers of displays and data-storage as well as plant manufacturers and contract coaters.

Bild: Dichroitische Dünnschichtfilter zur Spektralzerlegung, z. B. in professionellen Kameras.

Fig.: Dichroic thin-film filters for spectral decomposition, e.g. in professional camera systems.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Michael Vergöhl
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-640
E-Mail vergohl@ist.fraunhofer.de

Dr. Michael Thomas
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-525
E-Mail thomas@ist.fraunhofer.de

Temperaturstabile und transparente optische Funktionsschichten

Temperaturstabilität

In vielen Applikationen ist der Einsatz oder die Weiterverarbeitung optisch transparenter Dünnschichtsysteme unter hohen Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius notwendig. Setzt man diese Dünnschichten einer derartigen thermischen Belastung aus, führt dies in den meisten Fällen zu einer raschen Verschlechterung der Transparenz sowie zu einer inakzeptablen Veränderung vieler weiterer Materialparameter.

Neben dem Auftreten thermischer Spannungen führen Phasenübergänge und ein verstärktes Kornwachstum zu Lichtstreuung an Körnern, Rauigkeiten und Mikrorissen sowie zur Degradation der optischen Spektralcharakteristik der Schichtsysteme. Dieses Verhalten stellt für viele Anwendungen ein derzeit noch ungelöstes Problem dar und macht die Entwicklung besonders temperaturstabiler und transparenter optisch hochbrechender Dünnschichtwerkstoffe erforderlich.

Vielseitige Anwendungen

Wichtige Anwendungsbeispiele sind unter anderem in der Applikation von Licht-Wärme-Separatoren oder beim Einsatz optischer Schichten im Einflussbereich intensiver Lichtquellen wie z. B. Lasern zu sehen. Typische Einsatzgebiete liegen u. a. bei Filmprojektoren, medizinischen Instrumenten, in der Materialbearbeitung oder der Laserchirurgie. Auch der Einsatz von Hochtemperaturverfahren bei der Produktfertigung beschichteter Bauteile stellt ein wesentliches zukünftiges Anwendungsfeld dar und zugleich höchste Anforderungen an die thermische Stabilität der Funktionsschichten. Hierzu gehören z. B. temperbare Verschiebungen (Low-E- oder Antireflex-

Beschichtungen) sowie die Fabrikation dielektrischer Halbleiterbauelemente.

Erhöhte thermische Stabilität

In einem öffentlich geförderten Projekt in Kooperation mit der Firma Philips konnten am IST auf der Basis des reaktiven MF-Magnetron-Sputterns temperaturstabile Mischoxidfilme verschiedener Materialzusammensetzungen entwickelt werden. Diese zeigten auch nach wiederholten mehrstündigen Tempervorgängen an Luft bei Temperaturen von mehr als 900 °C eine hohe optische Transparenz im sichtbaren Spektralbereich sowie eine hohe thermische Konstanz ihrer wesentlichen Materialparameter wie Brechungsindex oder Schichtdicke. Die optische Lichtstreuung liegt zudem auf einem besonders niedrigen Niveau.

Mit den wesentlichen in dieser Arbeit entwickelten Anforderungen sowie den darauf basierenden Lösungswege konnte erfolgreich demonstriert werden, dass durch ein Materialdesign auf der Nanometerskala und durch das Einbringen von Fremdmaterialien in eine bestehende Wirtsmatrix hemmend in die thermisch bedingte Diffusionskinetik eingegriffen werden kann. Eine stufenlose Einstellung vieler Materialparameter wird somit ermöglicht.

Dies geschieht zum einen in Form einer gleichförmigen Durchmischung jeweils zweier Oxide. Zum anderen wird dieses Ziel durch die lamellare Nanostrukturierung des Schichtmaterials in Form von so genannten Nanolaminaten und Diffusionsbarrieren realisiert.

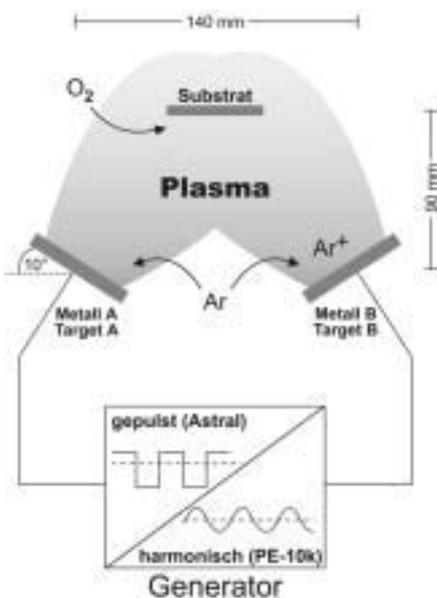


Bild 1: Abscheidung optisch hochbrechender Mischoxid-Dünnschichten mit einem MF-Doppel-Magnetron. [Quelle: B. Hunsche, Dissertation, TU Braunschweig, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart (2003)]

Fig. 1: Deposition of optically highly refractive mixed oxide thin films with a MF double magnetron. [Source: B. Hunsche, Dissertation, TU Braunschweig, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart (2003)]

Temperature-stable, transparent optical functional layers

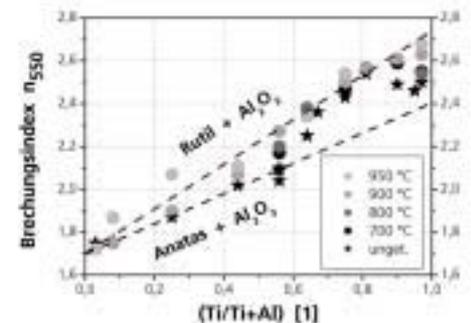


Bild 2: Brechungsindex in Abhängigkeit des Mischungsverhältnisses $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ für verschiedene Temperaturen. [Quelle: B. Hunsche, Dissertation, TU Braunschweig, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart (2003)]

Fig. 2: Refractive index with respect to the mixture behavior of $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ at various temperatures. [Source: B. Hunsche, Dissertation, TU Braunschweig, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart (2003)]

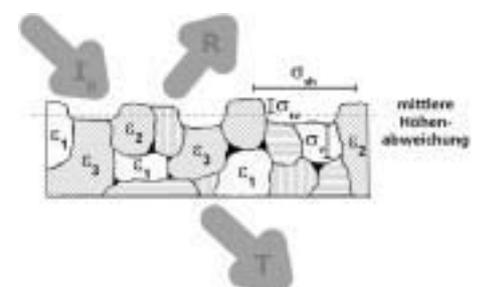


Bild 3: Optische Streuung an Film-inhomogenitäten. [Quelle: B. Hunsche, Dissertation, TU Braunschweig, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart (2003)]

Fig. 3: Optical scattering at film inhomogeneities. [Source: B. Hunsche, Dissertation, TU Braunschweig, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart (2003)]

Temperature stability

In many applications optically transparent thin layer systems are used or further processed at high temperatures of several hundred degrees Celsius. When a thin layer is under this level of thermal load, it usually leads to a rapid decrease in transparency as well as to unacceptable change in many other material parameters.

In addition to the appearance of thermal load, phase changes and strong grain growth result in light scattering due to grains, roughness and micro-cracks as well as in degradation of the optical spectral characteristic of the layer system.

This behavior poses an as yet unsolved problem for many applications and necessitates the development of particularly thermally stable and transparent optically highly refractive thin-film materials.

Versatile applications

Important examples include the application of light-heat separators and the use of optical coatings around intensive light sources such as lasers. Typical fields of use include film projectors, medical instruments, material processing or laser surgery. A future application that will be of considerable importance is the use of high temperature applications to process coated components. This places the highest demands on the thermal stability of the functional layers. To these belong e.g. annealable glazing (low-E or anti-reflective coatings) as well as the fabrication of dielectric semi-conductor components.

Increasing thermal stability

As part of a publicly funded project, temperature-stable mixed oxide films of various compositions based on reactive magnetron sputtering have been developed at IST in cooperation with the firm Philips. These exhibit high optical transparency in the visible part of the spectrum plus high thermal stability of their fundamental material parameters such as refractive index or layer thickness, even after repeated multi-hour annealing processes in air at temperatures of more than 900 °C. Moreover, the level of optical light-scattering was particularly low.

Through the solutions developed during this work it can be successfully demonstrated that, through nanometer-scale material design and through introducing foreign materials into an existing host matrix, the thermal diffusion kinetics can be inhibited. A continuously variable setting of many material parameters is thus made possible.

This happens on one hand in the form of a uniform mixture of two oxides at a time. On the other, this aim is realized by lamellar nano-structuring of the coating material in the form of so-called nano-laminates and diffusion barriers.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Berno Hunsche
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-762
E-Mail hunsche@ist.fraunhofer.de

Dr. Michael Vergöhl
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-640
E-Mail vergoehl@ist.fraunhofer.de

Transformierbare Schichtsysteme für (opto-)elektronische Bauelemente

Die Miniaturisierung von Komponenten und kompletten Baugruppen ist eine Hauptaufgabe bei der weiteren Entwicklung von mechatronischen Systemen. Typischerweise wird der Forderung nach Miniaturisierung durch Verringerung der Strukturbreiten (Leiterbahnbreiten, Pitchbreiten) oder auch durch den Einsatz von flexiblen Leiterplatten begegnet. Ein erheblich größeres Potenzial zur Miniaturisierung liegt darin, neben der üblichen elektrischen und mechanischen Funktion noch weitere physikalische Eigenschaften in die o. g. Elemente zu integrieren. Hauptbeispiel hierfür ist die MID-Technologie (Molded Interconnect Devices), die eine immer wichtigere Rolle in der Industrie spielt. Ziel zukünftiger Entwicklungen ist es, geeignete Schichtsysteme herzustellen, um eine parallele Signalführung von elektrischen und optischen Strukturen (z. B. Lichtleiter oder Sichtfenster) auf kleinstem Raum zu gewährleisten.

Projektidee

Auf der Basis von Magnetron-Sputter- und Aufdampfverfahren werden Schichtsysteme entwickelt, die aufgetragen auf dreidimensionale Kunststoffträger durch lokale Laserbehandlung thermisch oxidiert werden und dadurch ihre elektrische Leitfähigkeit und optische Transparenz verändern. Ein Ansatzpunkt dafür sind TCO-Materialien (ITO und ZnO:Al), welche durch die Transformation von einer unterstöchiometrischen opaken, elektrisch nicht leitfähigen Phase in eine hoch transparente, elektrisch leitfähige Phase übergehen (Bild 1). Der zweite Ansatzpunkt sind elektrisch gut leitfähige Mischmetallschichten auf Basis von Titan und Niob, die durch thermisch induzierte Oxidation in hoch transparente, isolierende Metalloxidschichten übergehen (Bild 2).

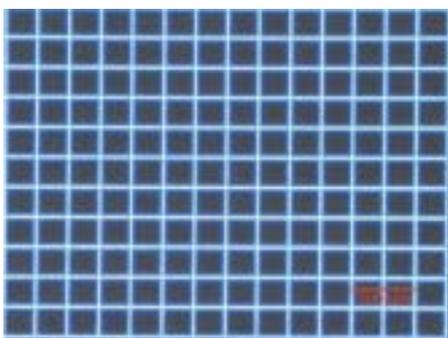


Bild 1: Mittels Laser transformierte »Black-ITO«-Schicht.

Fig. 1: »Black-ITO« layer transformed by laser.

Ziel ist es, bei kleinsten Strukturbreiten ($< 20 \mu\text{m}$) einen möglichst hohen Hub der sich ändernden Eigenschaften wie Leitfähigkeit und Transmission zu erzielen. Erste Ergebnisse an transformierten TCOs zeigen Transmissions-sprünge im sichtbaren Bereich von $> 70 \%$ sowie eine Erhöhung der Leitfähigkeit um den Faktor 10^9 .

Daneben gilt es, durch gezielte Modifikation der Schichten (Optimierung der Stöchiometrie mittels Sauerstoffvariation oder Dotierung mit Cu, Ag oder Sn) eine gute Lötbarkeit sowie eine galvanische Nachverstärkung derart erzeugter Miniaturstrukturen zu gewährleisten. Zudem muss die Einbringung von hoher Härte und geringem Verschleiß unter der Randbedingung optimiert werden, dass als Substratmaterial nur Polymere mit einer maximalen Temperaturbelastung von $< 200 \text{ }^\circ\text{C}$ eingesetzt werden können. Durch die Möglichkeit, Schichten lokal zu beeinflussen, können jedoch die oben aufgeführten Funktionen je nach erforderlicher Anforderung variabel eingestellt werden.

Anwendungsgebiete

Die möglichen Anwendungsgebiete dieser Schichtsysteme sind vielfältig und umfassen

- Lichtschrankensysteme (mit EMV-geschützten Fenstern),
- Bussysteme für elektrische und optische Übertragungen,
- bauteilintegrierte Beleuchtungssysteme,
- Optokoppler und
- integrierte Mikroschalter.

Internet

Weitere Informationen zum Projekt unter www.transformat.com

Transformable layer systems for (opto-)electronic components

The miniaturization of components and complete devices is a major task when further developing mechatronic systems. Typically the demands of miniaturization are met through reducing the structural width (conductor width, pitch-width) or by using flexible printed circuit boards. Considerable potential for miniaturization lies in integrating not only the usual electrical and mechanical functions but also other physical properties into the above-mentioned elements. The main example of this is MID technology (Molded Interconnect Devices), which plays an ever more important role in industry. The goal is to develop a suitable layer system that can guarantee, even in the smallest of spaces, a parallel signal track in electrical and optical structures (e.g. light guides or vision panels).

Project concept

Layer systems based on PVD processes like magnetron sputtering and evaporation have been developed which, when applied to three dimensional plastic supports, can be thermally oxidized by local laser treatment thus altering their electrical conductivity and optical transparency. One possible starting point for this is to convert TCO materials (ITO and ZnO:Al) from an understoichiometric opaque, non-electrically conductive phase to a high transparency, electrically conductive phase (figure 1). Another option is to use thermally induced oxidation to transform highly conductive alloy layers based on titanium and niobium into high transparency, isolating metal oxide layers (figure 2). The aim is to achieve the largest possible change in variable properties such as conductivity and transmission for the smallest structure widths (< 20 μm). Initial results with transformable TCOs show transmission in the visible range jumping by > 70 % with conductivity

increasing by a factor of 10^9 . In addition it is possible to guarantee good solderability plus a galvanic subsequent strengthening of miniature structures created in this manner by the targeted modification of layers (optimization of the stoichiometry by means of oxygen variation or doping with Cu, Ag or Sn).

Also the system must be optimized for high hardness and low wear while under the constraint that only polymers with a maximum temperature load of < 200 °C can be used as substrate material. However the possibility of locally influencing layers means that the above-mentioned functions can be varied to meet the necessary requirements.

Areas of application

The many fields where these layer systems could be used include

- light barrier systems (with EMC protected windows),
- bus systems for electrical and optical transmission,
- component-integrated illumination systems,
- optocouplers and
- integrated micro-switches.

Internet

Visit www.transformat.com for further information about the project.

Ansprechpartner / Contacts

Dipl.-Ing. Frank Neumann
 Telefon +49 (0) 5 31/21 55-658
 E-Mail neumann@ist.fraunhofer.de

Dr. Michael Thomas
 Telefon +49 (0) 5 31/21 55-525
 E-Mail thomas@ist.fraunhofer.de

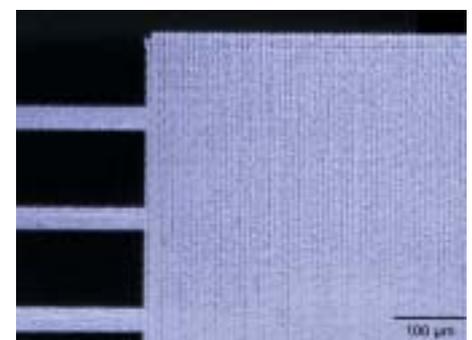
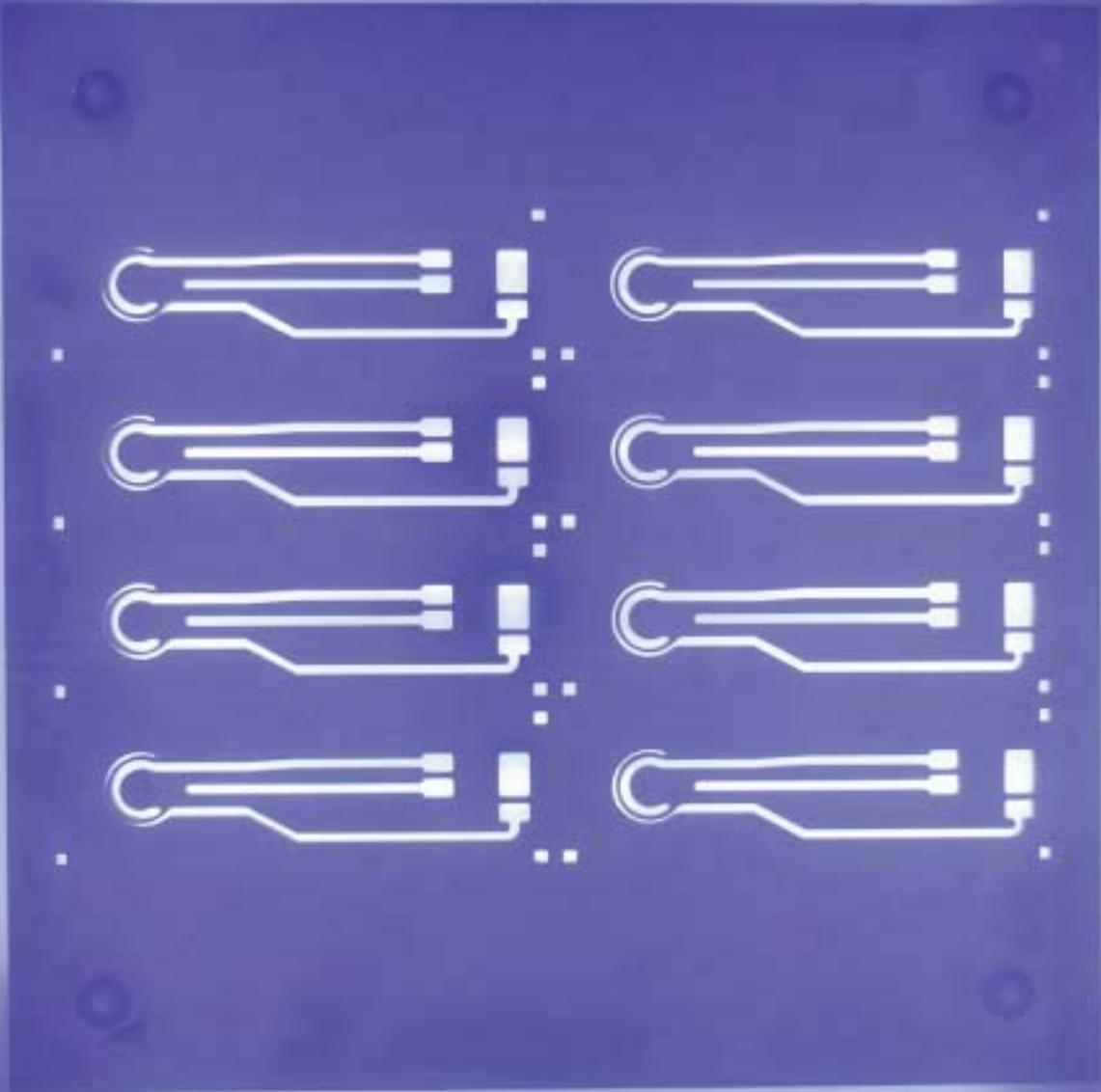


Bild 2: Lasertransformierte Titanschicht mit optischen und elektrischen Strukturen.
 Fig. 2: Laser transformed titanium layer with optical and electrical structures.



Im Zentrum der Aktivitäten des Geschäftsfeldes »Mensch und Umwelt« steht die Entwicklung von Oberflächen für Anwendungen in Medizintechnik, Biotechnologie, pharmazeutischer Entwicklung und Umwelttechnik. Beispiele sind

- Strukturierte Funktionalisierung von Oberflächen für Biochips oder Biosensoren mittels Atmosphärendruckverfahren
- Diamantbeschichtete Elektroden zur elektrochemischen Wasserdesinfektion und zur Behandlung von Abwasser
- Metallisierung von Kunststoffoberflächen für Biosensoren
- Innenbeschichtung von Mikrofluidikkomponenten
- Reibungsmindernde biokompatible Schichten (z. B. diamantähnliche Kohlenstoffschichten) für Anwendungen in der Medizintechnik, z. B. in der Prothetik

Kunden dieses Geschäftsfeldes sind unter anderem Unternehmen aus der pharmazeutisch-chemischen Industrie, der Biotechnologie, Medizintechnik, Lebensmittelindustrie, der chemischen Industrie und Umwelttechnik.

The focus of the business area »Life Science and Ecology« is the development of surfaces for applications in medical technology, biotechnology, pharmaceutical development and environmental technology. Examples are

- Texturized functionalizing of surfaces for biochips or biosensors at atmospheric pressure
- Diamond coated electrodes for electrochemical disinfecting of water and treatment of waste water
- Metal coating of plastic surfaces for biosensors
- Coating of interior surfaces in components for microfluidics
- Friction-reducing biocompatible layers (i.e. diamond-like carbon layers) for medical applications, i.e. implants

Our customers include the pharmaceutical-chemical industries, biotechnology, medical technology, food industry, chemical industry and environmental technology.

Bild: Strukturierte Metallisierung von Kunststoffoberflächen für Biosensoren.
Fig.: Patterned metallization of plastic surfaces for biosensors.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Simone Kondruweit
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-535
E-Mail kon@ist.fraunhofer.de

Prof. Dr. Claus-Peter Klages
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-510
E-Mail klages@ist.fraunhofer.de

Plasma Printing

Ein neuartiges Verfahren zur lokalen Modifizierung von Oberflächen bzw. strukturierten Schichtabscheidung und Funktionalisierung stellt das so genannte *Plasma Printing* dar. Eine Vielfalt von isolierenden und leitfähigen Substraten lässt sich mittels Plasma Printing an zuvor genau definierten Stellen behandeln. Durch ein entsprechend strukturiertes Dielektrikum werden Hohlräume gebildet, in denen sich eine nicht-thermische, bei Atmosphärendruck betriebene Entladung entwickelt. Die typischen Abmessungen der Hohlräume liegen zwischen einigen μm und einigen $100\ \mu\text{m}$ (Bild 1). Die Entladung kann mit Mittelfrequenz (10 bis 100 KHz) als Barrierenentladung oder mit Hochfrequenz (13,56 MHz) als RF-Mikroentladung betrieben werden (Bild 2). Die Vorteile des RF-Betriebs sind die direkte Behandlung von leitfähigen Substraten und eine höhere Energiedichte. Beim Plasma Printing wird das Substrat in direkten Kontakt mit der Entladung gebracht und befindet sich zwischen strukturiertem Dielektrikum und Erdelektrode, bzw. es wird im RF-Betrieb selbst als Elektrode benutzt. Substrate wie Polymere, Glas, Silizium, Metalle etc. lassen sich auf diese Art modifizieren. Beispielsweise können Polymere mit funktionellen Gruppen (Amino-, Epoxy-, Carboxy- etc.) versehen werden. Die Anwendungsmöglichkeiten dieses Verfahrens liegen in erster Linie in den Bereichen Biomedizin, Bioanalytik, Mikrofluidik und Mikroelektronik.



Bild 1: Versuchsaufbau für Plasma Printing.
Fig. 1: Experimental set-up for Plasma Printing.

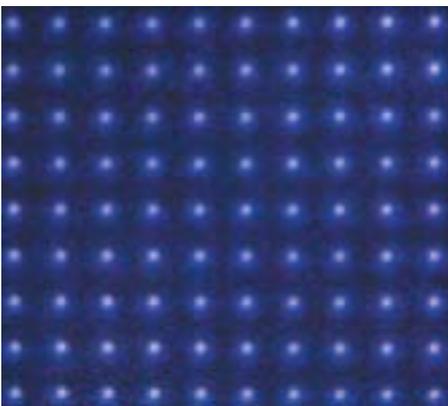


Bild 2: Atmosphärendruckplasma mit RF-Anregung.
Fig. 2: Atmospheric pressure plasma with RF excitation.

herstellen. Durch Umsetzen dieser Oberflächen mit Glutardialdehyd werden Aldehyd-Funktionen eingeführt, die Protein A binden können. Bild 3 zeigt ein Array aus fluoreszenzmarkierten Protein-A-Spots mit einem Durchmesser von ca. $250\ \mu\text{m}$. Protein-A-Oberflächen erlauben das gerichtete Anbinden von Immunglobulinen. Beispielsweise konnte Rabbit Anti-Mouse IgG (H+L) an Protein-A-Oberflächen immobilisiert werden. Der Erfolg wurde mittels Fluoreszenzmessungen beurteilt (Bild 4). Die Umsetzung aminofunktionalisierter Oberflächen mit einem geeigneten Biotinderivat führt zu lokal biotinylierten Substraten, die wiederum zur Ankopplung von Biomolekülen, beispielsweise Proteinen, genutzt werden können.

Strukturierte Metallisierung

Eine Aminierung der Oberfläche, z. B. durch Fomiergas-Behandlung von Polymeren oder Schichtabscheidung aus einem aminhaltigen Prekursor kann als Haftvermittlung für dünne Metallschichten eingesetzt werden. Die lokale, durch Plasma Printing erzeugte Aminierung erlaubt eine strukturierte stromlose Metallisierung. Bild 5 zeigt ein auf diese Weise hergestelltes Array von Nickel-Spots (Durchmesser ca. $300\ \mu\text{m}$) auf Polypropylen.

Ausblick

Plasma Printing ist ein neues, bezüglich der Behandlungsart und der möglichen Substrate sehr flexibles Plasma-Verfahren, welches vielfältige Einsatzmöglichkeiten verspricht.

Ankopplung von Biomolekülen

Amino- und epoxyfunktionalisierte Oberflächen können für die Immobilisierung von Biomolekülen eingesetzt werden. Lokal aminofunktionalisierte Oberflächen lassen sich aus geeigneten Prekursoren, beispielsweise Aminopropyl-trimethoxysilan (APTMS),

Plasma Printing is a new kind of process for selectively modifying surfaces, or for depositing and functionalizing textured layers. A variety of insulating and conducting substrates can be treated at predefined exact locations with Plasma Printing. A suitably textured dielectric is used to create voids in which a non-thermal, atmospheric pressure discharge develops. Typically the voids have dimensions between some μm and some $100 \mu\text{m}$ (figure 1). The discharge can be operated at either middle frequency (10 to 100 KHz) as a barrier discharge, or high frequency (13.56 MHz) as a RF-microdischarge (figure 2). The advantages of RF-operation are the direct processing of conductive substrates and a higher energy density. In Plasma Printing the substrate is brought into direct contact with the discharge and is between the textured dielectric and the earth electrode. Alternatively in RF-operation the substrate itself can be used as the electrode. Substrates such as polymers, glass, silicon, metals can be modified in this way. For example, functional groups such as amino, epoxy, carboxy, can be generated. The foremost areas with potential for using this process lie in biomedicine, bioanalysis, microfluidics and microelectronics.

Coupling of biomolecules

Amino and epoxy-functionalized surfaces can be used to immobilize biomolecules. Selectively amino-functionalized surfaces can be made from suitable precursors, e.g. aminopropyltrimethoxysilane (APTMS). Conversion with glutardialdehyd, allowing aldehyde functionality to be introduced to these surfaces, makes it possible for Protein A to bond to them. Figure 3 shows an array of fluorescence-marked Protein A spots

(diameter of about $250 \mu\text{m}$). Protein A surfaces allow the oriented bonding of immunoglobulines. For example Rabbit Anti-Mouse IgG (H+L) can be immobilized on Protein A surfaces. The result was evaluated using fluorescence measurements (figure 4). The conversion of amino-functionalized surfaces with a suitable biotin derivative leads to selectively biotinylized substrates, which again can be used for the coupling of biomolecules, for example proteins.

Textured plating

Amination of the surface, e.g. by protective gas treatment of polymers or layer deposition from an amine-containing precursor can be used as a way to increase adhesion for thin metal layers. Selective amination using Plasma Printing allows a textured electroless plating. Figure 5 shows an array of nickel spots (diameter about $300 \mu\text{m}$) on polypropylene made in this way.

Outlook

Plasma Printing is a new and, with respect to processing method and possible substrates, very flexible plasma process which promises a wide range of possible applications.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Cristina Penache
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-639
E-Mail penache@ist.fraunhofer.de

Prof. Dr. Claus-Peter Klages
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-510
E-Mail klages@ist.fraunhofer.de

Plasma Printing

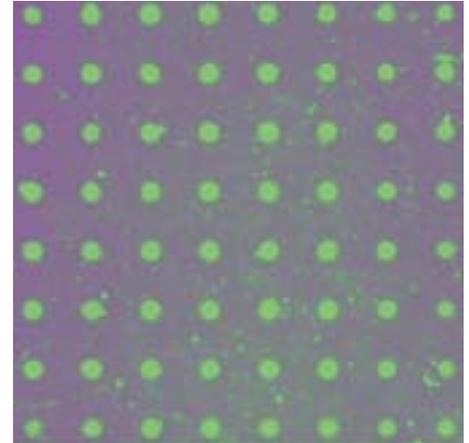


Bild 3: Strukturierte Funktionalisierung: Protein A-Array.
Fig. 3: Patterned functionalization: Protein A Array.

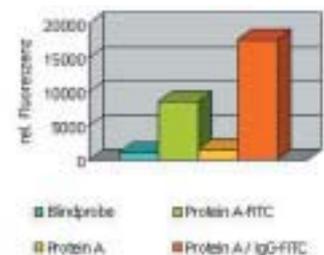


Bild 4: Ankopplung von Immunglobulinen an Protein A-Oberflächen.
Fig. 4: Coupling of immunoglobulines to protein A surfaces.

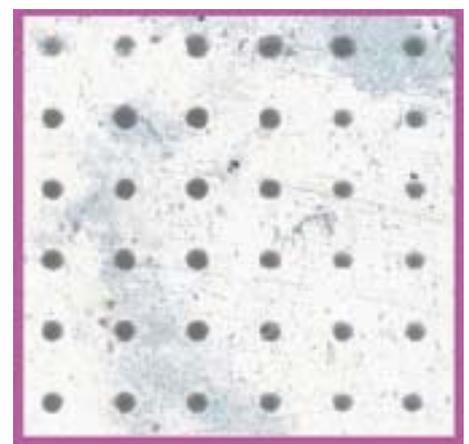


Bild 5: Flächenselektive stromlose Metallisierung.
Fig. 5: Area-selective electroless plating.

Abwasserbehandlung mit Diamant

Der Einsatz von CVD-Diamantbeschichtungen auf Elektroden stößt insbesondere im Bereich der Wasserbehandlung auf ein ständig wachsendes internationales Interesse. Der Grund dafür ist einerseits in den extrem vorteilhaften Eigenschaften der leitfähigen Diamantbeschichtungen zu sehen. Am wichtigsten sind die sehr hohe Beständigkeit und die höchste Überspannung für die Elektrolyse von Wasser, die bei der Oxidation von Schadstoffbelastungen zu Stromausbeuten bis zu über 90 % führt. Entscheidend für das wachsende Interesse ist andererseits, dass die am Fraunhofer IST entwickelte Heißdraht-CVD-Technologie zur großflächigen Abscheidung leitfähiger Diamantschichten durch die ausgegründete CONDIAS GmbH, Itzehoe, erfolgreich zu einer Produktionstechnologie für Diamantelektroden weiterentwickelt wurde. Dadurch sind großflächige Diamantelektroden unter der Bezeichnung DiaChem[®] mit Abmessungen bis zu 100 cm x 50 cm am Markt verfügbar.

Anwendungsbeispiele

Die Reinigung von Abwasser mit Diamantelektroden wird von uns als *electrochemical advanced oxidation process* (EAOP) bezeichnet. Das EAOP-Verfahren wurde bereits in einer Reihe von Anwendungen im Labormaßstab und auch direkt vor Ort erfolgreich angewandt. Einige der dabei aufgetretenen Aspekte sollen hier beispielhaft dargestellt werden.

Bei der Herstellung von Spanplatten fallen Abwässer mit einer hohen organischen Belastung (*chemical oxygen demand*, COD) an. Zusätzlich enthalten die Abwässer größere Mengen an verschiedenen Ionen. Die Untersuchungen zum Abbau der hohen Belastungen in Anwesenheit von Ionen,

die zur Bildung von Verkalkungen auf den Elektroden neigen, wurden an einem Testvolumen mit einer Diamantelektrodenfläche von 160 cm² durchgeführt. Wie Bild 1 zeigt, erfolgt der COD-Abbau bis zu einem Wert von unter 5 % des Ausgangswertes entsprechend den Modellrechnungen, die einer Stromausbeute von 100 % entsprechen. Zur Vermeidung der Inaktivierung der Elektroden durch Kalkablagerungen wurde der EAOP hier im Umpolmodus betrieben.

Die Notwendigkeit der Anpassung der EAOP-Parameter an die Bedingungen im behandelten Abwasser lässt sich am zweiten Anwendungsbeispiel, dem Recycling eines Reinigungswassers, demonstrieren (Bild 2). Zum einen ist für den EAOP eine gewisse Leitfähigkeit erforderlich, die hier durch die Zugabe von (NH₄)₂SO₄ erreicht wurde. Andererseits wurde mit abnehmender COD-Belastung auch die Stromdichte reduziert. Durch die Anpassung der Stromdichte wird die Produktion von überzähligen, für die Oxidation nicht nutzbaren Oxidantien (kurzlebige OH-Radikale) an den Diamantelektroden vermieden und eine hohe Stromausbeute über den gesamten Konzentrationsbereich sichergestellt.

Ausblick

Die zukünftigen Arbeiten, die zusammen mit der CONDIAS GmbH und weiteren Partnern durchgeführt werden, haben zum Ziel, anwendungsspezifische EAOP-Systeme und -Konzepte für die Abwasserbehandlung zu realisieren.

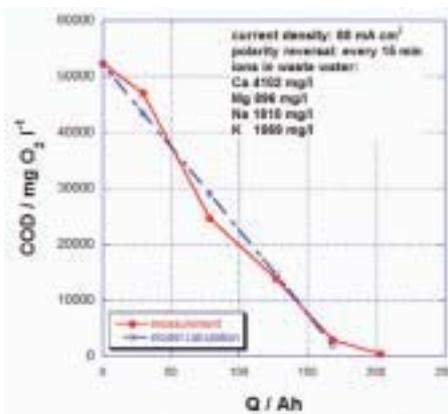


Bild 1: Abbau hoher organischer Belastungen in einem Abwasser aus der Spanplattenproduktion mittels EAOP.

Fig. 1: Reduction of high organic load in a wastewater of chipboard production with EAOP.

Wastewater Treatment with Diamond

The use of CVD diamond coatings on electrochemical electrodes is a matter of growing international interest especially in the field of wastewater treatment. On the one hand this is due to the extreme advantageous properties of conductive diamond coatings. Most important are the resistance and the highest over-potential for the electrolysis of water, enabling the oxidation of pollutants with current efficiencies of up to more than 90 %. Of prime importance for the growing interest on the other hand is that the hot-filament CVD technology for large-area conductive diamond coatings, developed at Fraunhofer IST has been successfully transferred to a production technology for diamond electrodes by CONDIAS GmbH, Itzehoe, a spin-off company of Fraunhofer IST. Thus diamond electrodes with dimension of 100 cm x 50 cm are available on the market under the trade mark DiaChem®.

Examples of Application

We designate the cleaning of wastewater with diamond electrodes as *electrochemical advanced oxidation process* (EAOP). The EAOP has already been tested successfully in a number of applications on laboratory scale as well as on-site in industry. Some of the resulting aspects will be demonstrated by the following examples.

During the production of chipboards wastewaters with high organic loads (*chemical oxygen demand*, COD) occur. Additionally, the wastewater contains large amounts of ions. The EAOP treatment in presence of ions which tend to form calcereous deposits on the electrodes, have been performed in a test system with 160 cm² of diamond electrodes. According to figure 1 the COD value is reduced to

about 5 % of the initial value according to the model calculations, which are based on a current efficiency of 100 %. The calcereous deposits which would lead to the inactivation of the electrodes have been avoided by using a polarity reversal mode of operation.

The necessity to adjust the EAOP operation parameters to the conditions of the wastewater to be treated is also demonstrated by the second example of application, the recycling of rinsing water (figure 2). On the one hand the electrical conductivity necessary for the EAOP has been achieved by the addition of (NH₄)₂SO₄. On the other hand, the current density has been reduced for decreasing COD values. Because of the adjustment of the current density the production of odd, short-lived oxidants (OH radicals) which can not be utilized for oxidation is avoided, resulting in a high current efficiency over the whole range of COD values.

Outlook

Future research and development, which will be performed in cooperation with CONDIAS GmbH and other partners aim at the realization of customized EAOP systems and concepts for wastewater treatment.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Lothar Schäfer
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-520
E-Mail schaefer@ist.fraunhofer.de

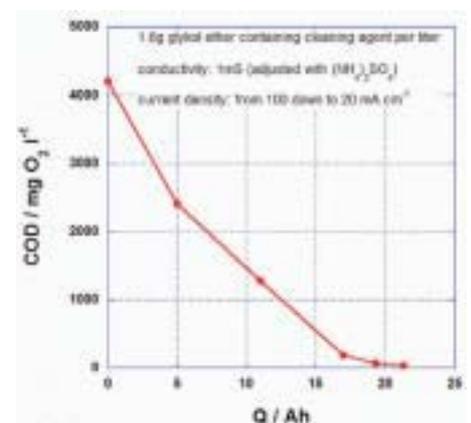
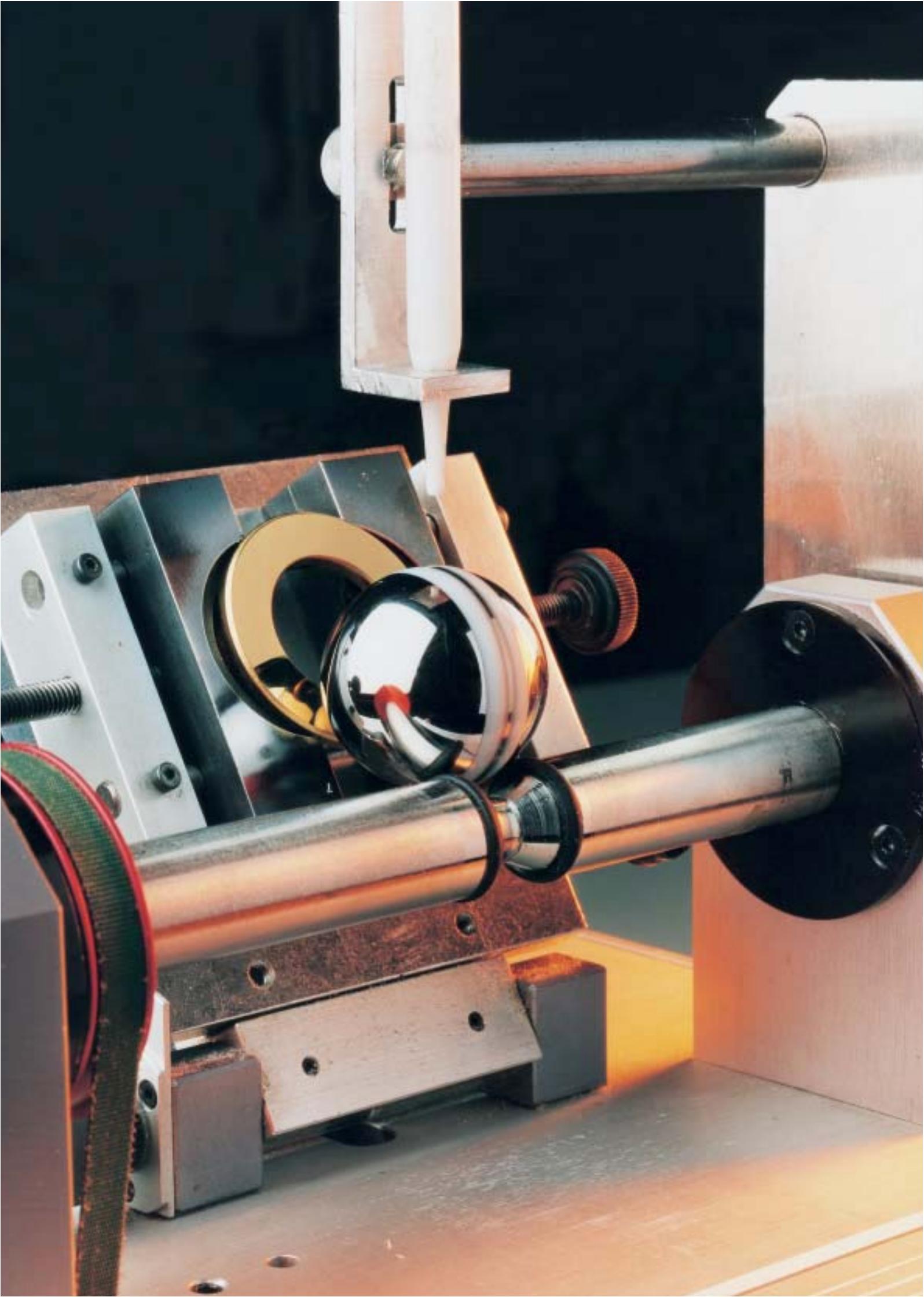


Bild 2: Recycling von Reinigungswasser durch Abbau der Reinigungszusätze mittels EAOP.
Fig. 2: Recycling of rinsing water by reduction of cleaning agents with EAOP.



Leistungen und Kompetenzen des Fraunhofer IST

Services and Competencies of the Fraunhofer IST

Zur Bearbeitung der in den vorangegangenen Kapiteln exemplarisch vorgestellten Geschäftsfelder nutzt das IST ein breites Spektrum an Kompetenzen, die sich zum einen auf spezielle Schichtsysteme beziehen und zum anderen auf Beschichtungsverfahren:

- **Niederdruckverfahren**
 - Hohlkatodenverfahren
 - PA-CVD- und Heißdraht-CVD-Verfahren
 - Magnetron-Sputtern
- **Elektrische und optische Schichten**
 - Optische Schichten
 - Transparente leitfähige Schichten
 - Diamant-Elektroden
- **Superharte Schichten**
 - Diamant
 - Kubisches Bornitrid
- **Kunststoffmetallisierung**
- **Atmosphärendruckverfahren**
 - Galvanische Mehrkomponentensysteme
 - Elektrochemie
 - Atmosphärendruck-Plasmaverfahren
- **Mikro- und Nanotechnologie**
 - Grenzflächenfunktionalisierung
 - Mikro- und Sensortechnologie
 - Nanokompositschichten
- **Reibungsminderung und Verschleißschutz**
 - Diamantähnliche Kohlenstoffschichten (DLC)
 - Hartstoffschichten
 - Plasmadiffusion
 - Trockenschmierstoffschichten
- **Korrosionsschutz**
- **Analytik und Prüftechnik**

Darüber hinaus bietet das Institut geschäftsfeldübergreifend ein breites Spektrum an Leistungen an: Oberflächenvorbehandlung, Schichtentwicklung, Prozesstechnik (einschließlich Prozessdiagnostik, -modellierung und -regelung), Schichtcharakterisierung und -prüfung, Aus- und Weiterbildung, Anwendungsbezogene Auslegung und Modellierung, Anlagen- und Komponentenentwicklung und Technologietransfer.

Der Bereich Schichtcharakterisierung, bei dem es um Analytik von Schichten und Oberflächen, aber auch um Mess- und Prüftechnik geht, ist ein wichtiger Erfolgsfaktor des Instituts.

Ausgewählte Beiträge zu unseren Technologien und zur Schichtcharakterisierung finden Sie auf den folgenden Seiten.

In pursuing the business areas that were showcased in the previous chapters the IST utilizes a wide spectrum of competencies in the fields of special coating systems on one hand, and coating processes on the other hand:

- **Low pressure processes**
 - Hollow cathode processes
 - PA-CVD- and hot-filament CVD processes
 - Magnetron sputtering
- **Electrical and optical coatings**
 - Optical coatings
 - Transparent conductive coatings
 - Diamond electrodes
- **Super hard coatings**
 - Diamond
 - Cubic boron nitride
- **Coatings on plastics**

- **Atmospheric pressure processes**
 - Electroplated multi-component systems
 - Electrochemistry
 - Atmospheric pressure plasma-processes
- **Micro and nano technology**
 - Functionalizing of interfacial layers
 - Micro and sensor technology
 - Nano composit coatings
- **Wear protection and friction reduction**
 - Diamond-like carbon coatings (DLC)
 - Hard coatings
 - Plasma diffusion
 - Dry lubricant coatings
- **Corrosion protection**
- **Analysis and Testing**

In addition the institute offers a broad spectrum of cross-sectional services: Surface pre-treatment, thin film development, process technology (including process diagnostics, modeling and control), surface analysis and thin film characterization, training, application oriented film design and modeling, system design and technology transfer.

The department Characterization of Layers with its capabilities in coating and surface analysis as well as in measuring and testing is an important factor in the success of the institute.

The following selected articles are about our technologies and layer characterization.

Bild: Am Fraunhofer IST entwickeltes Kalottenschliffverfahren zur Bestimmung der Verschleißbeständigkeit.
Fig.: Ball cratering wear tester developed at Fraunhofer IST.

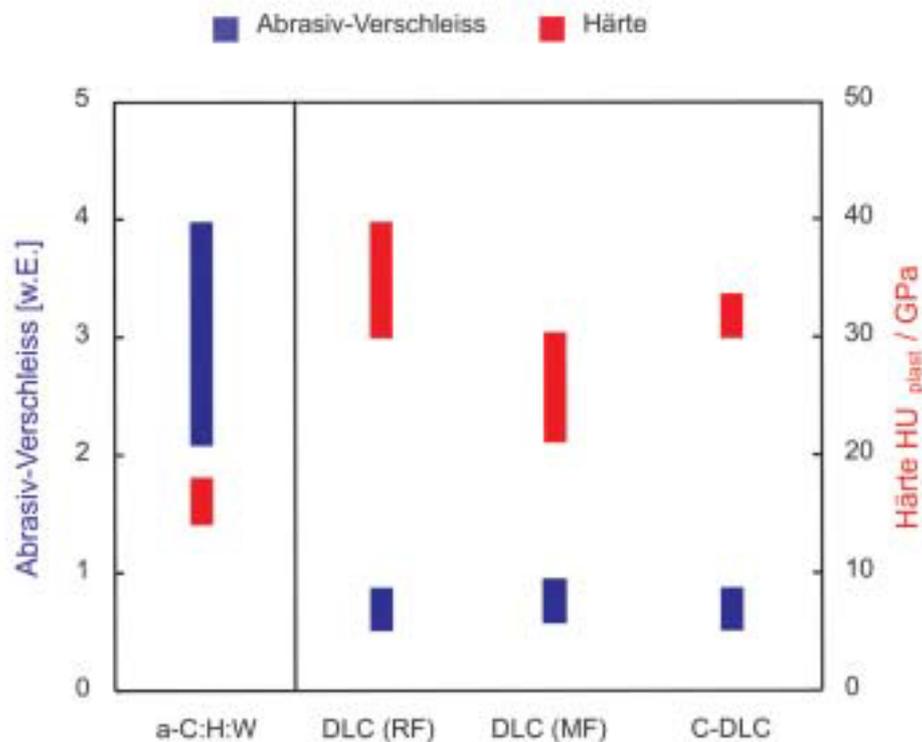
Verfahren zur Abscheidung von DLC/a-C:H-Schichten

Amorphe wasserstoffhaltige Kohlenstoffschichten mit diamantähnlichen Eigenschaften (Abk. a-C:H oder DLC – *diamond-like carbon*) haben ein breites Anwendungsspektrum, das in den nächsten Jahren noch stark anwachsen wird. Qualitativ hochwertige a-C:H-Schichten (hohe Härte, geringer Verschleiß) werden heute vorwiegend mittels plasmaaktivierter CVD(PACVD)-Verfahren hergestellt. Dabei ist die plasmaerzeugende Elektrode – betrieben mit hochfrequenten (HF) (13,56 MHz) oder mittelfrequenten (MF) (einige 10 bis 100 kHz) Spannungen – gleichzeitig das zu beschichtende Substrat. Als Kohlenstoffquelle werden im Allgemeinen Acetylen (C₂H₂) oder Methan (CH₄) eingesetzt. Es ist schwierig, HF-Verfahren zur DLC-Abscheidung hochzu skalieren. Dagegen sind MF-Verfahren auch in großen Beschichtungsanlagen (> 1 m³) bei Lohnbeschichtern im Einsatz.

Metallhaltige Kohlenstoffschichten (a-C:H:Me oder Me-DLC) werden heute in der Industrie mit reaktiven Sputterprozessen (DC-Magnetron, metallische Targets) abgeschieden. Für alle bisher verwendeten Metalle waren die Verschleißraten stets deutlich höher (Faktor 2-5) und die Härten deutlich niedriger (15-20 GPa gegenüber 25-35 GPa) als für das mittels HF- und MF-Verfahren abgeschiedene a-C:H/DLC. Für eine Reihe von Beanspruchungen, z. B. im Motor, erwiesen sich daher die a-C:H-Me-Schichten als nicht ausreichend. Systematische Untersuchungen am Fraunhofer IST in Braunschweig zeigten, dass mit dem DC-Magnetron-Sputterverfahren hochwertige metallfreie a-C:H-Schichten abgeschieden werden können, wenn man statt metallischer oder karbidischer Targets reine Graphit-Targets einsetzt. Für dieses a-C:H-Material wurde der Name C-DLC eingeführt. Bild 1 zeigt einen Vergleich der Härte- und Verschleißwerte von a-C:H:Me (Me:Wolfram), zwei a-C:H-Varianten (HF- und MF-Prozesse) und C-DLC. Die trotz sehr ähnlicher Beschichtungsprozesse erheblichen Unterschiede zwischen a-C:H:W und C-DLC lassen sich mit einer katalytischen Wirkung der Metalle, die zu einer Erhöhung des Anteils von sp²-gebundenen Kohlenstoffs führen, erklären. Bild 2 zeigt ein Modell der Umgebung eines Metallcarbideinschlusses. Zudem sind deutliche Unterschiede in der Morphologie (Bild 3) von a-C:H:W (a) und C-DLC (b) zu erkennen.

Bild 1: Abrasivverschleiß und Härte von a-C:H:W und drei unterschiedlich hergestellten a-C:H-Schichten.

Fig. 1: Abrasive wear and hardness of a-C:H:W and of 3 differently prepared a-C:H coatings.



Ausblick

Der modifizierte Prozess ist sehr flexibel, kann relativ einfach auf unterschiedliche PVD-Anlagen übertragen werden und läßt sich leicht hochskalieren.

The wide application spectrum for amorphous hydrogenous carbon coatings with diamond-like properties (a-C:H or DLC – diamond-like carbon) will grow still further in the coming years. Today qualitative high-grade a-C:H coatings (high hardness, low wear) are predominantly made by plasma-activated CVD(PACVD) processes. The electrode – operated with either high-frequency (HF) (13.56 MHz) or mid-frequency (MF) (10 to 100 kHz) voltages – not only generates the plasma but is also the substrate being coated. The carbon source is generally either acetylene (C_2H_2) or methane (CH_4). While it is difficult to scale up HF processes for depositing DLCs, MF processes are used by commercial coaters for large coating ($> 1 m^3$).

At present metal containing carbon coatings (a-C:H:Me or Me-DLC) are deposited in industry using reactive sputter processes (DC-Magnetron, metallic targets). For all metals used up to now noticeably higher wear rates (by a factor of 2-5) and lower hardness (15-20 GPa as opposed to 25-35 GPa) than for a-C:H/DLC deposited by means of HF and MF processes were found. Thus a-C:H:Me coatings have proved inadequate for demanding applications, e.g. motors. Systematic investigations at Fraunhofer IST in Braunschweig show that if the targets are pure graphite targets instead of metallic or carbide, then the DC-Magnetron sputter process can indeed deposit high quality metal-free a-C:H coatings. The term C-DLC has been introduced for this a-C:H material. Figure 1 compares the hardness and wear values of a-C:H:Me (Me: tungsten, W), two a-C:H variants (HF and MF processes) and C-DLC. Despite very similar coating processes the considerable differences between a-C:H:W and

C-DLC can be explained by the metal having a catalytic effect, leading to an increase in the contact of sp^2 bonded carbons. Figure 2 shows a model of the surroundings of a metal carbide particle. Figure 3 shows the clear differences in the morphology of (a) a-C:H:W and (b) C-DLC.

Outlook

The modified process has great flexibility, can be relatively simply transferred to different PVD plants, and is easy to scale up.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Klaus Bewilogua
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-642
E-Mail bew@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Ralf Wittorf
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-608
E-Mail wit@ist.fraunhofer.de

Process for Depositing DLC/a-C:H Coatings

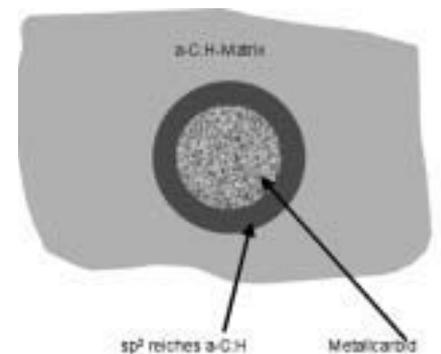


Bild 2: Modell eines Carbide-Einschlusses in a-C:H:Me.

Fig. 2: Model of a metal carbide particle in a-C:H:Me.

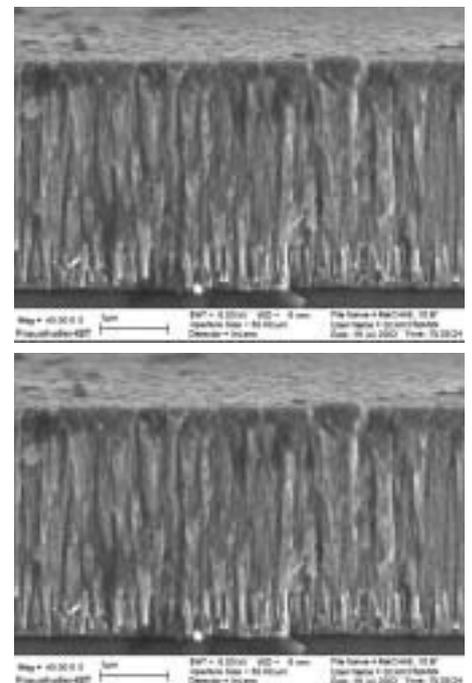


Bild 3: Morphologie von a-C:H:W (a) und C-DLC (b).

Fig. 3: Morphology of a-C:H:W (a) and C-DLC (b).

Entwicklung eines DLC-Hochrateprozesses



Bild 1: MHC-Reaktor, Außenansicht.
Fig. 1: MHC reactor, exterior view.

Der Kostendruck in der Beschichtungsbranche macht den Einsatz neuer Technologien erforderlich. Kosteneinsparungen durch höhere Prozesseffizienz erlauben dem Anwender eine Verbesserung seiner Wettbewerbsposition.

Am Fraunhofer IST wurde zur Abscheidung von DLC-Schichten eine neuartige CVD-Plasmaquelle entwickelt, die nach dem Prinzip der Hohlkatoden-Glimmentladung arbeitet. Aufgrund der hohen Plasmadichte (10^{14} cm^{-3}) lassen sich Beschichtungs-raten erzielen, die mit keinem anderen Verfahren zur Zeit erreichbar sind. Das innovative Netzhohlkatoden-Verfahren (**Mesh Hollow Cathode**) bietet damit eine interessante Alternative zu den konventionellen DLC-Abscheideprozessen.

MHC-Plasmaquelle

Die Netz-Hohlkatoden-Plasmaquelle besteht aus einem Metallnetz und einer gleichgroßen, parallel angeordneten, wassergekühlten Gegenelektrode. Zwischen beiden Elektroden wird ein Gasgemisch (Argon/Acetylen) eingespeist und mittels DC-Pulsspannung in Form einer intensiven Hohlkatoden-Glimmentladung gezündet (Bild 2). Das Plasma breitet sich durch das Netz hindurch in Richtung des Substrates aus, welches zur Unterstützung der Schichteigenschaften mit einer Biasspannung beaufschlagt werden kann. Über einen Linearantrieb lässt sich das Substrat entsprechend der gewünschten Abfolge von Prozessschritten an verschiedene Positionen (Ionenätzen, Heizen, Beschichten) im MHC-Reaktor bewegen.

Zu den zahlreichen positiven Eigenschaften der MHC-Plasmaquelle zählen insbesondere:

- Einfacher, flexibler Aufbau und leichte Skalierbarkeit
- Große Variabilität bezüglich Elektrodenabstand, Netzmaschenweite und Ort der Reaktivgaseinspeisung
- Stabile Entladung und hohe Ionenstromdichte über großen Druck-, Leistungs- und Frequenzbereich
- Bequeme und sehr effektive Quellenreinigung mittels Sauerstoffplasma

Herstellung und Charakterisierung von DLC-Hochrateschichten

Es wurden partikel- und defektarme DLC-Schichten auf Silizium-Wafern (ca. $40 \times 40 \text{ mm}^2$) bis 600 nm Schichtdicke sowie auf Stahlbauteilen (ca. $10 \times 10 \text{ mm}^2$; Bild 3) bis 1000 nm Schichtdicke mit einer Beschichtungsrate von $140 \mu\text{m/h}$ abgeschieden. Hinsichtlich der Schichteigenschaften existiert ein Optimum für 3 kW eingekoppelte Leistung, wobei die Substrattemperatur max. $130 \text{ }^\circ\text{C}$ erreicht. Die bisher hergestellten Schichten erreichen die Qualität von Metall-DLC:

- Härte: 13 GPa
- E-Modul: 110 GPa
- Schichtdickenuniformität: 5-10 %
- H-Gehalt: 13 at%

Ausblick

Zukünftige Arbeiten werden die Verbesserung der tribologischen Eigenschaften sowie der Haftfestigkeit der DLC-Schichten betreffen. Hierbei steht eine Optimierung des Beschichtungsprozesses sowie des Interface-Engineerings im Vordergrund. Die bisherigen Ergebnisse erscheinen sehr vielversprechend, so dass die MHC-Plasmaquelle nicht nur bei Kurztaktprozessen, sondern auch für Coil Coating eingesetzt werden kann.

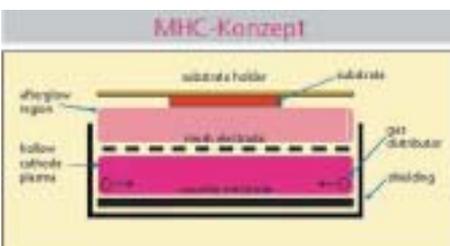


Bild 2: MHC-Plasmaquelle im Betriebszustand. (Netzfläche: $150 \times 200 \text{ mm}^2$; Netztransparenz: 57 %)

Fig. 2: MHC plasma source in operating condition. (Mesh area: $150 \times 200 \text{ mm}^2$; mesh transparency: 57 %)

Cost constraints in the coating industry make the introduction of new technologies imperative. Savings brought about through higher process efficiency would allow increases in competitiveness.

At the Fraunhofer IST a novel CVD plasma source for depositing DLC coatings has been developed, based on the principle of hollow cathode glow discharge. Due to the high plasma density (10^{14} cm^{-3}) coating rates much higher than those for any other current processes are achievable. The innovative **Mesh Hollow Cathode (MHC)** process thus offers an interesting alternative to conventional DLC deposition processes.

MHC plasma sources

The Mesh Hollow Cathode plasma source consists of a metal mesh with a parallel, water-cooled counter electrode of the same size. A gas mixture (argon/acetylene) is fed between the electrodes and ignited by means of a DC pulse voltage in the form of an intensive hollow cathode glow discharge (figure 2). Plasma spreads through the mesh towards the substrate, to which a bias voltage may be applied in order to obtain the desired coating characteristics. A linear drive is used to position the substrate preparatory to the desired sequence of process steps (ion etching, heating, coating) in the MHC reactor.

The MHC plasma source has many positive characteristics:

- Simple, flexible construction with good scalability
- Great variability with respect to electrode spacing, mesh size and location of the reactive gas supply
- Stable discharge and high ion

current density over large ranges of pressure, power and frequency

- Easy and very effective source cleanup by means of oxygen plasma

Manufacture and characterization of DLC high speed coatings

Particle and defect free DLC coatings up to 600 nm thick have been deposited on silicon wafers (ca. 40 x 40 mm²), and up to 1000 nm thick on steel components (ca. 10 x 10 mm²; figure 3) at coating speeds of 140 µm/h. With respect to layer properties a transferred power of 3 kW is optimal, while keeping the temperature of the substrate holder below 130 °C. The coatings made so far match the quality of metal DLC:

- Hardness: 13 GPa
- E-modulus: 110 GPa
- Coating thickness uniformity: 5-10 %
- H-content: 13 at%

Outlook

Future work will improve the tribological characteristics and adhesion strength of DLC coatings by optimizing both the coating process and the interface engineering. Results so far are promising and indicate that the MHC plasma source can be used not only short-cycle processes, but also for coil coating.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Thomas Jung
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-616
E-Mail jung@ist.fraunhofer.de

Development of a DLC High Speed Process

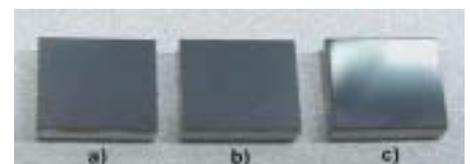


Bild 3: DLC-beschichtete Stahlbauteile (750 nm).

- a) Bauteil: unpoliert
b) Bauteil: unpoliert, chromiert
c) Bauteil: poliert

Fig. 3: DLC coated steel components (750 nm).
a) component: unpolished
b) component: unpolished, chromed
c) component: polished

DUPLEX-Behandlung am Dortmunder OberflächenCentrum

Innerhalb der am Dortmunder OberflächenCentrum (DOC) der ThyssenKrupp Stahl AG installierten Fraunhofer-Projektgruppe stellt das IST seit Anfang 2003 modernste, innovative Anlagentechnik aus dem Bereich der Dünnschichttechnik bereit.

Fraunhofer-Projektgruppe am DOC

Das Dortmunder OberflächenCentrum wurde 2000 als Kompetenzzentrum für den Bereich Oberflächenveredelungstechnologien des Stahlherstellers ThyssenKrupp Stahl in Betrieb genommen. Neuartig war dabei die enge Kooperation eines Unternehmens der Stahlindustrie mit den beiden Fraunhofer-Instituten IWS und IST, die einen verbesserten Zugang der Forschungsinstitute zu den Problemstellungen und Aufgaben der Industrie ermöglicht.

DUPLEX-Behandlung

Die am DOC in Betrieb genommene DUPLEX-Anlage kombiniert die Verfahrensschritte Plasmadiffusionsbehandlung und Hartstoffbeschichtung auf der Basis des PACVD-Verfahrens innerhalb einer Vakuumanlage. Diese Behandlung ist als kontinuierliche Prozesskette durchführbar.

Die Vorteile der kombinierten Behandlung liegen in einer gesteigerten Lasttragfähigkeit des Verbundsystems und der Haftung der Beschichtungen: Durch die im ersten Schritt erfolgende Randschichthärtung kann im Werkstoff ein der Belastung angepasster Härteverlauf eingestellt und damit der auch als »Eierschaleneffekt« bekannte Vorgang des Einbrechens harter Schichten in den weichen Untergrund unterdrückt werden.

Die durch die Plasmadiffusionsbehandlung aktivierte Oberfläche ermöglicht zusätzlich verbesserte Haftfestigkeiten für die im weiteren Schritt aufgebrauchten Schichtsysteme.

An Plasmadiffusionsprozessen stehen das Plasmanitrieren und -nitrocarburieren zur Verfügung. Das durch PACVD-Technologie abscheidbare Spektrum an Hartstoffschichten erstreckt sich zurzeit von den klassischen titanhaltigen Schichtsystemen wie TiN, TiCN, TiC bis zu den borhaltigen Varianten TiBN, TiB₂. Die Schichtsysteme lassen sich auch als Multilagene- oder Gradientensystemen optimal an die Anwendung anpassen.

Auf der im industriellen Maßstab ausgelegten Anlage sind Werkstücke mit Abmessungen von 1,0 m Durchmesser und 1,5 m Länge mit einem Stückgewicht von bis zu 2 Tonnen behandelbar.

In einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit dem Anlagenlieferanten, der Firma Rübiger in Wels/Österreich, werden zurzeit industrielle Prozesse für die Abscheidung wasserstoffhaltiger DLC-Schichten (a-C:H) auf dieser Anlage entwickelt. Sie stehen dann für Anwendungen im DUPLEX-Verfahren zur Verfügung.



Bild 1: Dortmunder OberflächenCentrum (DOC).
Fig. 1: Dortmunder OberflächenCentrum (DOC).

Since early 2003 there has been a Fraunhofer IST project group within the Dortmunder OberflächenCenter (DOC) at ThyssenKrupp Stahl AG. This group has modern, innovative plant in the field of thin film technology.

Fraunhofer project group at the DOC

The Dortmunder OberflächenCenter was founded in 2000 as a Center of Excellence for surface finishing technologies at the steel manufacturer ThyssenKrupp Stahl. This novel close cooperation between the steel industry and the two Fraunhofer institutes IWS and IST gives the research institutes improved access to the problems and tasks of industry.

DUPLEX processing

The DUPLEX plant at the DOC combines two steps within one vacuum plant: plasma diffusion processing and the coating of hard layers based on the PACVD process. Processing is performed continuously.

Combined processing offers the advantages of increased load capacity of the compound system, and increased coating adhesion. The surface hardening achieved in the first step can be used to obtain a gradient of hardness that can be adapted to the load carried by the material, thus suppressing the »eggshell effect« (when hard layers break through into softer ones underneath).

In addition, activating the surface by plasma diffusion processing ensures improved adhesion strength for subsequently deposited coating systems.

The plasma diffusion processes available are plasma nitriding and nitro-carbonization. The spectrum of hard layers that can be deposited by PACVD technology presently ranges from classic titanium-containing layer systems such as TN, TiCN and TiC, to the boron-containing variants TiBN and TiB₂. The layer systems can be fitted ideal to each application as either multi-layers or gradient systems.

Industrial-scale plants can process materials up to 1.0 m in diameter, 1.5 m in length and weighing up to 2 metric tons.

A joint research project with plant supplier Rübigen in Wels (Austria) is presently developing industrial processes for depositing hydrogenous DLC layers (a-C:H) using this plant. These will later be available for applications in the DUPLEX processes.

Ansprechpartner / Contacts

Dipl.-Ing. Hanno Paschke
Telefon +49 (0) 2 31/844-5453
E-Mail paschke@ist.fraunhofer.de

DUPLEX Processing at the Dortmunder OberflächenCenter



Bild 2: DUPLEX-Anlage am DOC.
Fig. 2: DUPLEX plant at the DOC.

Plasmaverfahren ohne Vakuum

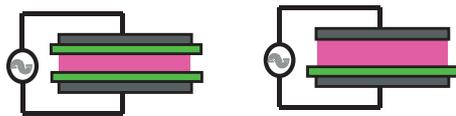


Bild 1: Prinzip der dielektrischen Barrierenentladung mit ein oder zwei Dielektrika (grün).
 Fig. 1: Principle of dielectric barrier discharge with either one or two dielectrics (green).

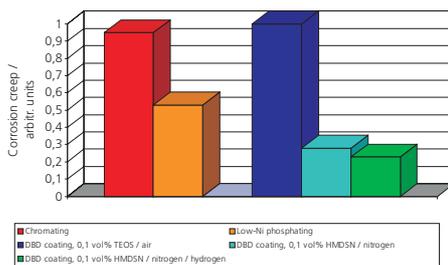


Bild 2: Unterwanderung im Salzsprühnebeltest für nasschemisch und durch DBD abgeschiedene Korrosionsschutzschichten auf elektrolytisch verzinkten Stahlblechen (Pulverlackierung).
 Fig. 2: Infiltration in the salt spray-test for wet chemical and DBD deposited corrosion protection coatings on electrolytically galvanized steel sheets (powder coating).

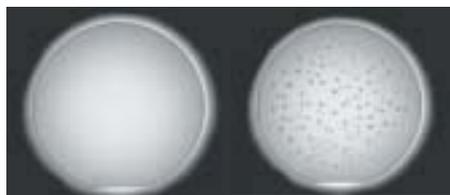


Bild 3: IR-Transmissionsaufnahmen von zwei gebondeten Waferpaaren nach 10 Stunden Tempern bei 200 °C. Das unbehandelte rechte Paar hat deutliche Bonddefekte im Gegensatz zum DBD-behandelten linken Paar.
 Fig. 3: IR-transmission image of two bonded wafer pairs after 10 hours annealing at 200 °C. The untreated pair on the right has several defects due to the DBD-treated pair left.

Steigende Ansprüche an die Beschaffenheit von Oberflächen bei gleichzeitiger Reduktion der Produktionskosten stellen immer neue Herausforderungen für die Verfahrensentwicklung dar. Die Kosten für die Modifizierung oder Beschichtung von Oberflächen mit Niederdruck-Plasmaverfahren sind häufig durch die aufwändigen und teuren Vakuumanlagen zu hoch. Aus diesem Grund beschäftigt sich das IST seit einigen Jahren mit der Entwicklung von Plasmaprozessen bei Atmosphärendruck.

Barrierentladungen

Viele Schichtabscheidungen und Oberflächenmodifizierungen, die mit Niederdruck-Plasmaverfahren erreicht werden, lassen sich auch mit Atmosphärendruck-Plasmaverfahren erzielen. Besonders für die großflächige Oberflächenbehandlung von flachen Substraten bietet sich die Dielektrische Barrierenentladung (*Dielectric Barrier Discharge, DBD*) bei Atmosphärendruck an. Diese bildet sich zwischen zwei Elektroden beim Anlegen einer Wechselspannung aus, wenn der Stromfluss durch mindestens eine dielektrische Barriere (Isolator) behindert wird (Bild 1). Durch die behinderte Entladung wird die mittlere Gastemperatur im Entladungsspalt nur um wenige Kelvin erhöht. Die Entladung bleibt also »kalt« und schädigt auch temperaturempfindliche Substrate nicht.

Anwendungen

Die DBD (auch »Corona-Entladung« genannt) wird bereits seit langem für die Aktivierung von Polymeroberflächen eingesetzt. Durch neuartige Prozesse können aber auch spezielle funktionelle Gruppen an der Oberfläche erzeugt werden, die sich z. B. gut für

die Haftungsverbesserung von Lacken und Klebmassen eignen. So können z. B. auch spezielle ultradünne Schichten auf galvanisierten Stahlblechen abgeschieden werden, die in ihrer Haftvermittlungswirkung für nachfolgende korrosionsschützende Lackierungen die Ergebnisse von nasschemischen Verfahren wie Chromatierung und Phosphatierung übertreffen (Bild 2). Mit der DBD aufgetragene Schichten können ebenfalls zur gezielten Einstellung der Oberflächenenergie (Hydrophilisierung, Hydrophobisierung) oder zur Haftungsverbesserung genutzt werden.

Mit einer Barrierenentladung in Luft können Oberflächen von organischen Belegungen befreit werden, was insbesondere für die Feinreinigung von hohem Interesse ist (Bild 5). Eine der neuesten Entwicklungen ist der Einsatz der DBD für die Vorbehandlung von Wafern für das Silizium-Direktbonden in der Mikrosystemtechnik. Mit Hilfe dieses Verfahrens kann die Bondtemperatur von bis zu 1000 °C auf 200 °C gesenkt werden. Dies ermöglicht den Einsatz neuer Materialien, welche aufgrund ungünstiger Ausdehnungs- oder zu hoher Diffusionskoeffizienten bisher nicht geeignet waren (Bild 4).

Ausblick

Für die bei Atmosphärendruck betriebenen Barrierenentladungen werden ständig neue Anwendungen erschlossen. Derzeitige Arbeiten fokussieren sich auf die Entwicklung einer neuartigen Elektrode, die bei Abscheidungsprozessen selbst nicht beschichtet wird. Zukünftig wird verstärkt an der Behandlung von dreidimensionalen Substraten gearbeitet. Darüber hinaus werden gezielt Beschichtungen für den Einsatz als Isolator oder für optische Anwendungen untersucht.

Increasingly stringent demands on surface quality combined with simultaneous reduction in production costs place new demands on process development. The costs of modifying or coating surfaces with low pressure plasma processes are frequently too high because of the need for expensive vacuum plant. For this reason the IST has been occupied for several years with the development of atmospheric pressure plasma processes.

Barrier discharges

Many layer deposition and surface modifications requiring low-pressure plasma processes can also be achieved at atmospheric pressure. Dielectric Barrier Discharge (DBD) at atmospheric pressure is particularly suitable for large-area surface treatment of flat substrates. The discharge is formed between two electrodes on the application of an a.c. voltage when the current flow is impeded by at least one dielectric barrier (insulator), as shown in figure 1. This impeded discharge causes the mean gas temperature in the gap between the electrodes to rise only a few degrees Kelvin. The discharge thus remains »cold« and does not cause damage to temperature-sensitive substrates.

Applications

DBD (also known as »Corona Discharge«) has long been used for activating polymer surfaces. However new kinds of processes can also create special functional groups on these surfaces, e.g. to improve the adhesion of coatings and adhesives. It is also possible to deposit special ultra-thin layers on galvanized steel. These layers improve the adhesion of subsequent corrosion protective coatings even better than

those laid down in wet chemical processes such as chromizing and phosphatizing (figure 2). The DBD layers can also be used for the targeted adjustment of surface energy (hydrophilic, hydrophobic sensitization) or to improve adhesion.

A barrier discharge in air can free surfaces from organic coatings, which is of particular interest for final cleaning (figure 5). One of the newest developments is the use of DBD for pre-treating wafers for direct wafer bonding in micro-system technology. These processes can help reduce bond temperature from around 1000 °C to 200 °C. This means that materials previously considered unsuitable because of unfavorable expansion coefficients or too high diffusion coefficients can now be used (figure 4).

Outlook

New applications for barrier discharges at atmospheric pressure are constantly opening up. Current work focuses on developing a new kind of electrode that will itself not be coated during deposition. Future work will concentrate on the treatment of three-dimensional substrates. On top of that specific coatings for use as insulators or in optical applications are being under investigation.

Ansprechpartner / Contacts

Dipl.-Phys. Marko Eichler
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-636
E-Mail eichler@ist.fraunhofer.de

Prof. Dr. Claus-Peter Klages
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-510
E-Mail klages@ist.fraunhofer.de

A Vacuumless Plasma Process



Bild 4: Vorbehandlung eines Silizium-Wafers vor dem Silizium-Direkt-Bonden mittels DBD-Behandlung.

Fig. 4: DBD-based pretreatment of a silicon wafer for direct wafer bonding.



Bild 5: Einfluss der Behandlungszeit auf die Restkontamination von verzinktem Stahlblech, fluoreszenzmikroskopische Aufnahmen (von oben: saubere Oberfläche; beölte Oberfläche; nach 0,12 s; nach 0,48 s DBD-Behandlung in Luft).

Fig. 5: Effect of the treatment time on the residual contamination of galvanized steel; fluorescence micrographs (from top to bottom: clean surface; oil contaminated surface, surface after 0.12 seconds DBD treatment in air; after 0.28 seconds DBD treatment in air).

Laserstrukturierung von Oberflächen

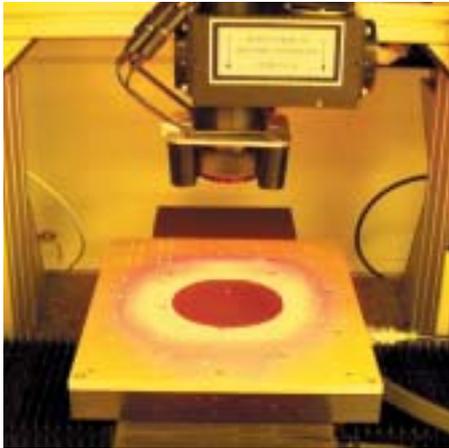


Bild 1: Laserstrukturierung von ebenen Substraten.

Fig. 1: Laser structuring of flat substrates.



Bild 2: Laserstrukturierung eines Radialagerringes mit Nd:YAG-Festkörperlaser unter Verwendung einer Rotationseinheit.

Fig. 2: Laser structuring of a radial bearing with a Nd:YAG laser by use a rotation axis.



Bild 3: Sensorstruktur in der Lauffläche eines Radiallagers.

Fig. 3: 3D sensor structure on a radial bearing.

Die Mikrosystemtechnik ist ein Bereich mit exzellenten Zukunftsperspektiven. Daher werden zukünftige Anwendungen neben Silizium, dem Standardwerkstoff der Halbleiterindustrie, auch technische Bauteile für die Mikrostrukturierung einschließen. Das IST befasst sich dazu mit der 3D-Laserstrukturierung.

Laserstrukturierungssystem

Das hierzu verwandte Lasersystem arbeitet mit einem frequenzverdreiften Nd:YAG-Festkörperlaser. Sein Fokus hat einen Durchmesser von 20 μm . Dieser kann in z-Richtung geregelt werden, wodurch die einheitliche Strukturierung auf unebenen Flächen gewährleistet ist. Außerdem kann bei der Strukturierung das Substrat in x- und y-Richtung oder rotierend bewegt werden. Jede Bewegung ist computergesteuert. Dadurch ist es möglich, ebene Substrate mit Flächen von bis zu 200 x 250 mm^2 zu strukturieren (Bild 1).

Auch dreidimensionale Strukturierungen können vorgenommen werden, z. B. auf Zylindern, Lagerschalen und kubischen Bauteilen mit Durchmessern von 2 mm bis 100 mm, wie in Bild 2 gezeigt wird.

Anwendungsfelder des Lasersystems

- Ablation von Konturen in beschichtete Oberflächen

Das Lasersystem kann vorteilhaft zur direkten zwei- und dreidimensionalen Strukturierung von Sensorschichten und Leiterbahnen sowie anderen Funktionsmustern verwandt werden (Bild 3). Dadurch entfallen aufwändige fotolithografische Strukturierungen und Ätzprozesse.

Zum Beispiel werden in galvanisch erzeugten Metallschichten auf Spritzgusskunststoffteilen ganze Schaltungsmuster hineingelasert. In Bild 4 sind Leiterbahnen in eine 10 μm dicke Goldschicht strukturiert worden. Bild 5 zeigt eine Mikroskopaufnahme dieser zur Umgebung isolierten Bahnen. Dieses System bietet sich auch für die industrielle Fertigung an, da es sehr gut reproduzierbare Strukturen in kurzen Taktzeiten herstellt.

- Ablation von Stahlkörper zur Erzeugung von Schmierfilmtaschen

Ein Anwendungsfeld der Laserablation ist die Strukturierung von Oberflächen im Maschinenbau. Bei Lagerungen im Motorbereich ist es beispielsweise sehr wichtig, dass durch einen homogenen Schmierfilm die Reibung reduziert wird. Um dies zu verbessern, wurden Schmierfilmtaschen in die Oberfläche hineingelasert (Bild 6).

- Strukturierung von Metallblechen

Das Lasersystem erlaubt auch die Blechbearbeitung. So können auf einfache Weise z. B. Stents und Mikrobauerteile hergestellt werden.

- Belichtung von Fotoresisten

Da der Laser über eine Wellenlänge von 355 nm verfügt, kann man mit ihm auch Fotoresiste belichten.

- Oberflächenfunktionalisierung

Mit dem Lasersystem ist es möglich, die Energie so gering zu wählen, dass man z. B. Black-ITO-Schichten thermisch aktiviert. Sie werden dadurch leitfähig und transparent.

Microsystem technology is a field with excellent prospects. Future applications include not only silicon, the standard material of the semi-conductor industry, but also technical components for micro-structuring. The IST is working on 3D laser structuring.

Laser structuring systems

The laser system used works with a frequency tripled Nd:YAG laser. The focus has a diameter of 20 μm , and can be controlled in the z direction to guarantee uniform structuring on uneven substrates. Additionally the substrate can be moved in the x and y directions or rotated during structuring. Each movement is computer controlled. Thus it is possible to structure flat substrates with areas up to 200 x 250 mm^2 (figure 1).

Figure 2 shows that three-dimensional structuring is also possible, e.g. on cylinders, bearing shells and cubic components with diameter ranging from 2 mm to 100 mm.

Application fields of the laser system

- Ablation of contours in coated surface

The laser system can advantageously be used for the direct two and three dimensional structuring of sensor layers and conductive paths as well as other function patterns (figure 3), making expensive photolithographic structuring and etching processes unnecessary. For example, complete circuit patterns can be produced by laser in the galvanic metal layers on die-cast plastic parts. Figure 4 shows conducting paths structured in a 10 μm thick gold layer. Figure 5 shows a microscope image of those insulated

paths. This system is also suited to industrial manufacture, since it produces structures with very good reproducibility in short cycle times.

- Ablation of steel parts to produce lubricant film pockets

Another application for laser ablation is the structuring of surfaces in machine building. For engine bearings, it is for example very important that friction is reduced by a homogeneous lubricant film. In order to improve this, laser structuring can be used to produce lubricant film pockets on the surface (figure 6).

- Structuring of metal sheeting

The laser system can be a simple means of producing e.g. stents and micro-components on sheet metal.

- Exposure of photo-resists

Since the laser has a wavelength of 355 nm, it can also be used to expose photo-resists.

- Surface functionalization

With the laser system it is possible to select such a low energy level that e.g. Black-ITO layers can be thermally activated, leaving them conductive and transparent.

Ansprechpartner / Contacts

Dipl.-Ing. Saskia Biehl
Telefon +49 (0)5 31/21 55-604
E-Mail biehl@ist.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Holger Lüthje
Telefon +49 (0)5 31/21 55-644
E-Mail luethje@ist.fraunhofer.de

Laser Structuring of Surfaces



Bild 4: Gelaserte Schaltungsstruktur in einem mit Au galvanisch beschichteten Spritzgussteil.
Fig. 4: Laser structured Au coating on a polymer injection molding part.

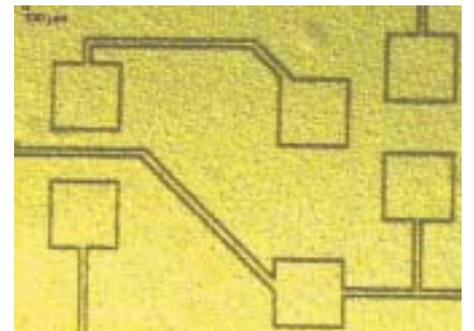


Bild 5: Lichtmikroskopaufnahme der gelaserten Leiterbahnstrukturen.
Fig. 5: Optical microscope picture of the circuit path.



Bild 6: Homogene Strukturen auf einem Kugelenkel, die als Schmierfilmreservoir dienen.
Fig. 6: The laser structured surface of an universal joint serves as lubricant reservoir.

Ortsaufgelöste Strukturuntersuchungen an Diamantschichten: Textur und Korngröße

Kristallstruktur von Diamant

Bei der Innenbeschichtung von Ziehsteinen mit Diamant nach dem Hot-Filament-Verfahren kann es zu Variationen der kristallographischen Eigenschaften der abgeschiedenen Schichten als Funktion des Ortes auf der Probe kommen. Dies kann z. B. durch inhomogene Gasphasenaktivierung oder Strömungseffekte (Kanteneffekte) bedingt sein.

Die Röntgenbeugung (*X-Ray Diffraction, XRD*) erlaubt es, Veränderungen etwa der Textur oder Korngröße der Schichten mit einer Ortsauflösung kleiner 1 mm zu untersuchen. Dazu werden Bragg-Brentano-Diffraktogramme aufgenommen, wobei hier ein Röntgenspiegel mit $0,9 \times 5\text{mm}^2$ Strichfokus verwendet wurde. Die Messposition auf der Probe wird vom Rand zur Probenmitte hin in Millimeterschritten variiert. Die Peakintensität und exakte Peakbreite wurde durch Anfitzen einer Pearson-VII-Funktion an die vier Diamantreflexe (111), (220), (311) und (331) bestimmt (siehe Beispiel Bild 1).

Korngröße

Aus der Peakbreite B läßt sich mittels der *Scherrer-Formel* die Kristallitgröße D abschätzen:

$$D = k\lambda / (B\cos(\theta)),$$

wobei $k=0,89$; λ = Wellenlänge, θ = Beugungswinkel.

In Bild 2 erkennt man, dass die (220)-orientierten Körner ein ausgeprägtes Maximum der Korngröße von 230 nm bei mittleren Probenpositionen aufweisen, während (331)- und (311)-orientierte Körner nur Größen von ca. 80 nm aufweisen. Die (111)-orientierten Kristallite nehmen vom Rand zur Mitte der Probe kontinuierlich in der Größe ab von 110 nm auf nur 20 nm.

Textur

Die Häufigkeit, mit der eine bestimmte kristallographische Orientierung in der Schicht vertreten ist, zeigt sich in der Höhe bzw. genauer in der Fläche der entsprechenden Peaks. Vergleicht man diese mit den Intensitäten der ICDD-Referenzpattern von randomorientierten Proben, so kann man einen Texturfaktor $T = I_{\text{exp}}/I_{\text{random}}$ für jeden Reflex (hkl) definieren. $T > 1$ bedeutet, die Netzebene kommt häufiger parallel zu Probenoberfläche vor als in einer randomorientierten Probe, $T < 1$ bedeutet, sie kommt um den Faktor T seltener vor als in einer Random-Referenzprobe (Bild 3). Es zeigt sich, dass die untersuchte Probe am Rand eine ausgeprägte (220)-Textur aufweist. Die (220)-Netzebene ist stark bevorzugt, während (111)- und (311)-Netzebenen stark unterdrückt sind. Die (331)-Netzebene kommt dagegen mit Random-Häufigkeit vor. Zur Probenmitte hin verschwindet die Schichttextur und geht in eine Randomorientierung der Probe über ($T \sim 1$ für alle Netzebenen).

Mit den vorgestellten Verfahren können ohne aufwändige Messung von Polfiguren und Berechnung der unanschaulichen Orientierungsverteilungsfunktion auf einfache Weise Aussagen über die Textur einer Probe getroffen werden.

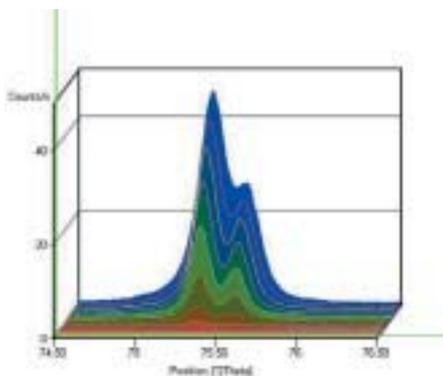


Bild 1: Veränderung von Höhe und Breite des Diamant-(220)-Reflexes als Funktion des Abstandes von der Probenkante.

Fig. 1: Change of intensity and width of diamond (220)-reflex as a function of distance from sample edge.

The crystal structure of diamond

When dies are being interior coated with diamond in the Hot Filament process, the crystallographic properties of the deposited layers can vary as a function of position within the sample. This can be due to e.g. inhomogeneous gas phase activation or flow effects (edge effects).

Changes in layer texture or grain size can be investigated using x-ray diffraction (XRD), with a spatial resolution of less than 1 mm. Bragg-Brentano diffractograms were taken using an x-ray mirror with $0.9 \times 5 \text{ mm}^2$ line focus. The test position was varied in millimeter steps from the edge to the middle of the sample. Peak intensity and exact width was determined by fitting a Pearson-VII function to the four diamond reflexes (111), (220), (311) and (331) (see example, figure 1).

Grain size

Crystallite size D can be estimated from peak width B using the Scherrer formula:

$$D = k\lambda / (B\cos(\theta)),$$

where $k=0.89$; λ = wavelength, θ = diffraction angle.

Figure 2 shows that the (220)-oriented grains exhibit a marked maximum grain size at 230 nm at the mean sample position, while the (331) and (311)-oriented grains exhibit a magnitude of only about 80 nm. The (111)-oriented crystallites decrease in size continuously from the edge to the middle of the sample from 110 nm to only 20 nm.

Texture

The frequency of a certain crystallographic orientation occurring in the layer is represented by peak height, or more exactly, by the area under the corresponding peak. If these are compared with the intensity of the ICDD reference pattern from random-oriented samples, then a texture factor $T = I_{\text{exp}}/I_{\text{random}}$ can be defined for each reflex (hkl). $T > 1$ means that the lattice plane is parallel to the sample surface more frequently than occurs in a random-oriented sample. $T < 1$ means that it occurs less often than in a random reference sample (figure 3). It appears that the sample under investigation exhibits a marked (220) texture at the edge. The (220) lattice plane is strongly preferred, while (111) and (311) lattice planes are strongly suppressed. The (331) lattice plane occurs with random frequency. In addition at the center of the sample the layer texture vanishes, turning into a random orientation ($T \sim 1$ for all lattice planes).

By using this proposed process, evidence of the texture of a sample can be obtained in a simple manner without the considerable effort needed to measure pole figures and calculate the abstract orientation-distribution function.

Ansprechpartner / Contacts

Dr. Kirsten Ingolf Schiffmann
Telefon +49 (0) 5 31/21 55-577
E-Mail schiffmann@ist.fraunhofer.de

Spatially resolved structure investigations of diamond layers: texture and grain size

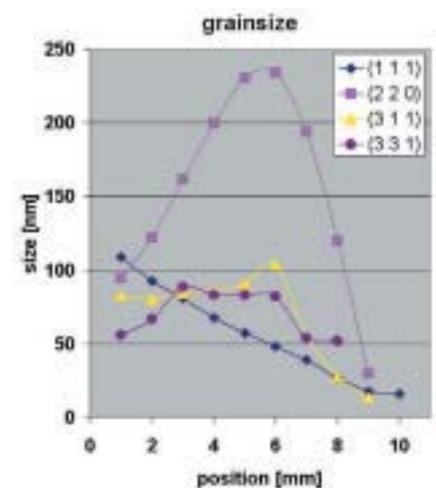


Bild 2: Korngröße unterschiedlich orientierter Diamantkörner als Funktion der Position auf der Probe.

Fig. 2: Grain size of different oriented diamond grains versus position on the sample.

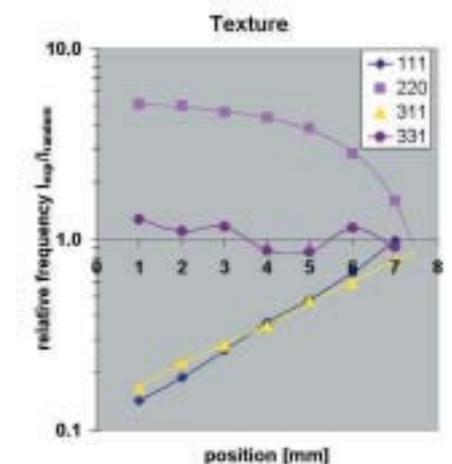


Bild 3: Relative Häufigkeit, mit der Körner bestimmter Orientierung (hkl) parallel zur Probenoberfläche vorkommen, im Vergleich zu einer randomorientierten Probe.

Fig. 3: Relative frequency of (hkl)-oriented grains parallel to sample surface compared to a random oriented sample.



Bild 1: Prof. Dr. Günter Bräuer (Mitte), Institutsleiter des Fraunhofer IST, und seine Stellvertreter Prof. Dr. Claus-Peter Klages (links) und Dipl.-Ing. Wolfgang Diehl (rechts).
Fig. 1: Prof. Dr. Günter Bräuer (middle), head of the Fraunhofer IST, and his deputies Prof. Dr. Claus-Peter Klages (left) and Dipl.-Ing. Wolfgang Diehl (right).



Bild 2: Mehr als 100 Teilnehmer informierten sich beim 2. CIO, der gemeinsam vom Fraunhofer IST und NMN e.V. veranstaltet wurde.

Fig. 2: More than 100 participants attended the 2nd CIO, jointly organized by the Fraunhofer IST and NMN e.V.



Bild 2: Bei der Abendveranstaltung im Gewandhaus ging es mittelalterlich zu.
Figure 2: At the evening session in the Gewandhaus, the atmosphere was rather medieval.

Neue Leitung des IOPW

Am 1. April übernahm Professor Bräuer, Institutsleiter des IST, die Leitung des Instituts für Oberflächentechnik und Plasmatechnische Werkstoffentwicklung IOPW der TU Braunschweig.

Erweiterung der Führungsriege

Am 15.4. nahm Dipl.-Ing. Wolfgang Diehl seine Tätigkeit als stellvertretender Institutsleiter am IST auf.

Berufung von Professor Klages

Seit dem 1.10. ist Professor Dr. Claus-Peter Klages, langjähriger stellvertretender Institutsleiter des IST, ordentlicher Professor im Fachbereich Maschinenbau an der TU Braunschweig.

2. Congress Industrielle Oberflächentechnik

Am 11. und 12. Februar 2003 veranstalteten das Fraunhofer IST und die Landesinitiative Neue Materialien Niedersachsen e.V. nun schon zum zweiten Mal den Congress Industrielle Oberflächentechnik. Thema der Veranstaltung, die in diesem Jahr im Marketing Management Institut in Braunschweig-Riddagshausen stattfand, waren innovative Oberflächen als Erfolgsfaktor in der Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt.

Mehr als hundert Teilnehmer informierten sich in 15 Vorträgen über aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der Oberflächentechnologie für die Verkehrstechnik. Entwicklungen im Markt PVD-Beschichtungen wurden ebenso vorgestellt wie die Anforderungen an Schicht- und Oberflächentechnik in

der Raumfahrt, mikrotechnische Sensoren im Automobil und die Optimierung tribologischer Systeme durch Einsatz moderner Plasmatechnik.

Die Abendveranstaltung fand im historischen Keller des Gewandhauses statt. Bei Braunschweiger Mumme, Bänkelgesängen und einem mittelalterlichen Essen hatten die Kongress Teilnehmer die Gelegenheit, sich bis in die späten Abendstunden auszutauschen.

Innovations-Preis für IST-Spin-off Condias

Am 27.11.2003 zeichnete Schleswig-Holsteins Wirtschaftsminister Dr. Bernd Rohwer in Lübeck die Condias GmbH mit dem Hauptpreis des Schmidt-Röhmhild-Technologiepreises aus. Das Unternehmen, eine Ausgründung des Fraunhofer IST, befasst sich mit der Herstellung und Vermarktung von Diamantelektroden z. B. zur Abwasserreinigung und Wasseraufbereitung.

Der Technologiepreis, der mit 10 000 Euro dotiert ist, wird seit 1988 an junge Unternehmen für hervorragende Leistungen bei der Entwicklung und Umsetzung zukunftsweisender Technologien, Verfahren und Produkte vergeben.

Asienkontakte

Im Jahr 2003 vertiefte das IST die guten Beziehungen zu verschiedenen Institutionen im asiatischen Raum weiter. Besonders hervorzuheben sind die vom Fraunhofer IST/FEP-Joint Office in Seoul, Korea, veranstalteten Workshops, das Korean-German Partnership Event und das Symposium »Research in Germany« im Juni.

New management for the IOPW

On April 1 Professor Bräuer, IST institute director, took over the management of the Institut für Oberflächentechnik und Plasmatechnische Werkstoffentwicklung (IOPW, Institute for Surface Technology and Plasmatechnology of Materials) at the Technical University Braunschweig.

Expansion of the leadership team

Dipl.-Ing. Wolfgang Diehl became deputy institute director of the IST on April 15.

Appointment of Professor Klages

Since October 1, longstanding IST deputy institute director Professor Dr. Claus-Peter Klages has been a full professor at the TU Braunschweig, Department of Mechanical Engineering.

2nd Congress Industrielle Oberflächentechnik (Industrial Surface Technology)

On February 11 and 12, 2003 the Fraunhofer IST and the State Initiative Neue Materialien Niedersachsen e.V. (»New Materials Lower Saxony, Inc.«) organized the Second Congress of Industrial Surface Technology. This year the event took place at the Marketing Management Institute in Braunschweig-Riddagshausen, and had the theme innovative surfaces as a success factor in the automotive, air and space industries.

More than one hundred participants attended 15 lectures on current developments in surface technology for the transportation industry. Developments in the market for PVD coatings were

detailed, such as the demands put on layer and surface technology in space travel, microtechnical sensors in automobiles, and the optimization of tribological systems through the use of modern plasma technology.

The evening session took place in the historic cellar of the Gewandhaus. To the accompaniment of traditional Braunschweiger Mumme beer, bards and a medieval meal the attendees had the opportunity to network late into the evening.

Innovation Award for the IST spin-off Condias

On November 27, 2003 in Lübeck, Schleswig-Holstein's economic minister Dr. Bernd Rohwer recognized Condias GmbH with the main prize of the Schmidt-Römhild Technology Award. The firm, a spin-off of the Fraunhofer IST is concerned with the production and marketing of diamond electrodes e.g. for waste water treatment and water purification.

The 10,000 Euro technology prize has been awarded since 1988 to young firms for outstanding performance in the development and use of forward-looking technologies, processes and products.

Asian Contacts

This year the IST further deepened its already good relations with various institutions in Asia.

Of particular note were the workshops organized by the Fraunhofer IST/FEP Joint Office in Seoul, Korea in June, the Korean-German Partnership Event and the symposium »Research in Germany«.



Bild 3: Angeregte Fachgespräche beim CIO.
Fig. 3: Animated discussion during the CIO.



Bild 4: Schmidt-Römhild-Technologiepreis für die Condias GmbH. [Quelle: ttz, SH]
Fig. 4: The Schmidt-Römhild Technology Award presented to Condias GmbH. [Source: ttz, SH]



Bild 5: Grund zur Freude hatten die Gründer der Condias GmbH, Dr. Matthias Fryda und Dr. Thorsten Mattheé (2 v. l.; r.) bei der Verleihung des Technologiepreises durch Norbert Beleke (2. v. r.) vom Verlagshaus Schmidt-Römhild. Links Prof. Dr. Reinhard Knöchel (Universität Kiel), der den TSH-Technologietransferpreis erhielt. [Quelle: ttz, SH]
Fig. 5: Condias GmbH founders Dr. Matthias Fryda and Dr. Thorsten Mattheé (2nd from left; right) have good cause for celebration when receiving the Technology Award from Norbert Beleke of the publisher Schmidt-Römhild (2nd from right). On the left Prof. Dr. Reinhard Knöchel (University of Kiel) who received the TSH Technology Transfer Award. [Quelle: ttz, SH]



Bild 1: Gemeinschaftsstand auf der ACHEMA in Frankfurt.

Fig. 1: Joint stand at ACHEMA in Frankfurt.



Bild 2: Ausstellung »Die Quelle« in Halle.

Fig. 2: The exhibition »The Source« in Halle.



Bild 3: »Tage der Forschung« im Landesmuseum Braunschweig.

Fig. 3: »Days of Research« at the Landesmuseum Braunschweig.

Messen und Ausstellungen

Society of Vacuum Coaters 46th Annual Technical Conference

San Francisco, Kalifornien, USA,
3.-8. Mai 2003.

Gemeinschaftsstand mit dem
Fraunhofer-Institut für Elektronen-
strahl- und Plasmatechnik FEP.

ACHEMA

Frankfurt, 19.-24. Mai 2003.

Gemeinschaftsstand im Rahmen der
Fraunhofer-Allianz für Proteinchips
mit den Fraunhofer-Instituten IAP,
UMSICHT, IZM, der Forschungseinheit
BioMip, dem Verbund Life Sciences,
der Fraunhofer-Technologie-Entwick-
lungsgruppe TEG und der Patentstelle.

Tage der Forschung

Braunschweig, 20.-22. Juni 2003.

Ausstellung der Forschungsregion
Braunschweig im Landesmuseum zum
»Jahr der Chemie«. Thema des
Fraunhofer IST: Diamant in Natur und
Technik.

»Die Quelle – Energie und Chemie; Ressourcen, Visionen und Zukunft« Halle/Saale, 28. August-7. September 2003.

Im Auftrag des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung wurde im
Rahmen des »Jahrs der Chemie« eine
dreiteilige Ausstellung mit den The-
men Mensch-Materie-Ressourcen kon-
zipiert. Ziel dieser »Trilogie Chemie«
war zu zeigen, wie Chemie beispiels-
weise hilft, Energie zu sparen und die
Umwelt zu schonen. Der dritte Teil der
Trilogie, »Die Quelle«, die sich mit
Ressourcen, Visionen und Verantwor-
tung beschäftigte, wurde u. a. im
Steintor-Varieté in Halle präsentiert.
Dort demonstrierte das IST, wie man
Abwasser mithilfe von Diamantelek-
troden reinigen kann.

Biotechnica

Hannover, 7.-9. Oktober 2003.

Gemeinschaftsstand im Rahmen der
Fraunhofer-Allianz für Proteinchips mit
dem Fraunhofer IPM, der Forschungs-
einheit BioMip, der Patentstelle und
dem Verbund Life Sciences.

Parts2Clean

Friedrichshafen, 28.-30. Oktober
2003.

Gemeinschaftsstand mit den Instituten
der Fraunhofer-Allianz für Reinigungs-
technik und der Fraunhofer-Technolo-
gie-Entwicklungsgruppe.

Productronica

München, 11.-14. November 2003.

Beteiligung am Gemeinschaftsstand der
Forschungsvereinigung 3D-MID e.V.

OTTI-Technik-Kolleg

6. Fachforum »Schichten auf Glas«

Bamberg, 25.-26. März 2003.

Stand im Rahmen der kongressbeglei-
tenden Technischen Ausstellung.

Trade Fairs and Exhibitions

Society of Vacuum Coaters 46th Annual Technical Conference

San Francisco, California, USA,
May 3-8, 2003.

Joint stand with the Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology FEP.

ACHEMA

Frankfurt, May 19-24, 2003.

Joint stand as part of the Fraunhofer Protein Chips Network, with the Fraunhofer Institutes IAP, UMSICHT, IZM, the research unit BioMip, the Life Sciences Alliance, the Fraunhofer Technology Development Group TEG and the patent office.

Days of Research

Braunschweig, June 20-22, 2003.

Landesmuseum exhibition of the Braunschweig research region for the »Year of Chemistry«. The Fraunhofer IST theme: Diamond in Nature and Technology.

»The Source – Energy and Chemistry; Resources, Visions and the Future«

Halle/Saale, August 28-September 7, 2003.

As part of the »Year of Chemistry«, an exhibition around the three themes Man-Materials-Resources was designed on behalf of the Federal Ministry of Education and Research. The aim was to present examples of how chemistry helps save energy and spare the environment. The third section entitled »The Source« was concerned with resources, visions and responsibility. It was also presented at the Steintor-Varieté in Halle. The IST demonstrated how diamond electrodes can be used in the treatment of waste water.

Biotechnica

Hannover, October 7-9, 2003.

Joint stand as part of the Fraunhofer Protein Chips Network together with the Fraunhofer IPM, the research unit BioMip, the patent office and the Life Sciences Alliance.

Parts2Clean

Friedrichshafen, October 28-30, 2003.

Joint stand with the institutes of the Fraunhofer Network for Cleaning Technology and the Fraunhofer Technology Development Group.

Productronica

Munich, November 11-14, 2003.

Participation in the joint stand of the research organization 3D-MID e.V.

OTTI-Technik-Kolleg

6th technical forum »Coatings on

Glass« Bamberg, March 25-26, 2003.

Stand at the technical exhibition accompanying the conference.



Bild 4: Die Fraunhofer-Allianz für Proteinchips präsentiert sich auf der Biotechnica in Hannover.
Fig. 4: The Fraunhofer Protein Chips Network presentation at Biotechnica in Hannover.



Bild 5: Gemeinschaftsstand auf der Parts2Clean in Friedrichshafen.

Fig. 5: Joint stand at Parts2Clean in Friedrichshafen.



Bild 6: Das IST auf der Productronica: Beteiligung am Gemeinschaftsstand der Forschungsvereinigung 3D-MID e.V.

Fig. 6: At Productronica, the IST had a joint stand with the research organization 3D-MID e.V.

Seminare und Workshops

Industriearbeitskreis »CVD-Diamantwerkzeuge«

8. Treffen am 5. März 2003 im Fraunhofer IST.

Themen: Herstellung und Anwendung von CVD-Diamantdünnschicht-Werkzeugen; Laserbearbeitung und Löt-möglichkeiten von CVD-Diamant.

9. Treffen am 7. Oktober 2003 gleichzeitig als Tribologie-Workshop »Hochleistungsschichten für Zerspanungswerkzeuge« im Fraunhofer IST.

1. Workshop »Strukturierte Metallisierung von Kunststoffen«

Erstmals fand am 24./25. Juni im Fraunhofer IST ein Workshop zur Kunststoff-Metallisierung statt. Über 40 Teilnehmer, zumeist aus der Industrie, informierten sich über neueste Trends und Entwicklungen beim Einsatz von Schichttechnologie auf Kunststoffen. Präsentiert wurden sowohl neue Verfahren der Dick-schicht- und Direktmetallisierung als auch Anwendungen aus den Bereichen Laserstrukturierung und Photo-lithografie. Im Vordergrund standen Produktbeispiele aus der Mikrosenso-rik und Elektronik (MID = *Mounted Integrated Devices*) sowie deren mög-liche Einsatzgebiete.

6. Workshop Tribologie »Hochlei-stungsschichten für Zerspanungs-werkzeuge«

Am 7. Oktober fand der 6. Tribologie-Workshop im Fraunhofer IST statt. Überblicksvorträge informierten die rund 80 Teilnehmer aus kleinen und mittelständischen Betrieben sowie der Großindustrie über Beschichtungen

für Zerspanungswerkzeuge und Hoch-leistungsbearbeitung innovativer Werkstoffe. Darüber hinaus wurden aktuelle Ergebnisse zur Zerspanung von Super-Legierungen, MMCs und Graphit mit modernen Beschichtun-gen wie B-C-N, TiAlCrN, Oxinitride und CVD-Diamant vorgestellt.

6th International Workshop Diamond Electrodes

Das Fraunhofer IST veranstaltete am 23. Oktober 2003 gemeinsam mit dem »Swiss Center for Electronics und Microtechnology CSEM« und der Condias GmbH den »6th International Workshop Diamond Electrodes« in Braunschweig. Bei dem in diesem Jahr eintägigen Workshop standen aktuelle Forschungsergebnisse an Diamant-elektroden in der Abwasserreinigung und Wasseraufbereitung im Mittel-punkt.

Oxford-Benutzertreffen »Energie-dispersive Röntgenspektroskopie«

Am 7. Juli 2003 trafen sich 15 Benut-zer von EDX-Analysegeräten des Unternehmens Oxford Instruments (Wiesbaden) zu einem Erfahrungsaus-tausch im IST. Neben einem Vortrag zu Geräte-neuentwicklungen im Bereich der Energiedispersiven Röntgenspek-troskopie präsentierten eine Reihe von Teilnehmern analytische Fragestellun-gen und Lösungen aus ihren Arbeits-feldern.



Bild 1: Laborrundgang während des 6. Tribologie-Workshops.

Fig. 1: Lab tour during the 6th Tribology Work-shop.

Seminars und Workshops

Industry Work Group »CVD Diamond Tools«

8th meeting on March 5, 2003 at the Fraunhofer IST.

Themes: Manufacture and application of CVD thin-diamond layer tools; Laser processing and soldering possibilities for CVD diamond.

9th meeting on October 7, 2003 at the same time as the Fraunhofer IST tribology workshop »High performance coatings for cutting tools«.

1st Workshop »Structured metal-ization of plastics«

On June 24/25 a workshop on metallizing plastics was held for the first time at the Fraunhofer IST. Over 40 participants, mostly from industry, learned about the newest trends and developments in using coating technology for plastics. As well as presenting new processes for thick-layers and direct metallization, applications in the areas of laser structuring and photolithography were introduced. At the forefront were sample products from the micro-sensor and electronics industries (Mounted Integrated Devices) as well as their possible areas of use.

6th Tribology Workshop »High performance coatings for cutting tools«

The 6th Tribology Workshop took place on October 7 at the Fraunhofer IST. Summary lectures informed the approximately 80 participants from not only small and mid-sized firms but also large-scale industry about coatings for cutting tools and the high performance processing of innovative materials. In

addition, current results from cutting super-alloys, MMCs and graphite with modern coatings such as B-C-N, TiAlCrN, oxinitride and CVD diamond were presented.

6th International Workshop Diamond Electrodes

The Fraunhofer IST was a joint organizer of the »6th International Workshop Diamond Electrodes« on October 23, 2003 in Braunschweig together with the Swiss Center for Electronics and Microtechnology CSEM and Condias GmbH. Central to the one-day workshop were current research results on diamond electrodes in waste water treatment and water purification.

Oxford Users Meeting »Energy-dispersive X-ray Spectroscopy«

On July 7, 2003 fifteen users of analytical instruments made by Oxford Instruments (Wiesbaden) met at the IST to exchange views. As well as hearing a lecture on new developments in the field of energy-dispersive x-ray spectroscopy, participants had the opportunity to present their work on using the scanning electron microscope for chemical elementary analysis of solids.

Mitarbeit in Gremien *Cooperation in Committees*

Bewilogua, K.: Mitglied des DGM-Arbeitskreises »Werkstoffkundliche Aspekte des Verschleißes und der Zerspannung«.

Bewilogua, K.: International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (ICMCTF), Mitglied des Executive Committee.

Bewilogua, K.: DGM-Tagung »Reibung und Verschleiß 2004«, Mitglied des Programmausschusses.

Bewilogua, K.: 8th International Conference on Plasma Surface Engineering 2002 (PSE 2002), Mitglied des Editorial Board.

Bräuer, G.: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V. (DGO), Mitglied des Vorstands (seit 9/2003).

Bräuer, G.: Arbeitskreis Plasmaoberflächentechnologie (AK Plasma), Mitglied des Koordinierungsausschusses.

Bräuer, G.: Institut für Oberflächenmodifizierung Leipzig e.V. (IOM), Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats.

Bräuer, G.: Zeitschrift »Vakuum in Forschung und Praxis«, Mitglied des Kuratoriums.

Bräuer, G.: 8th International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE), Conference Chairman und Mitglied des Editorial Board.

Bräuer, G.: International Conference on Coatings on Glass (ICCG), Mitglied des Organisationskomitees.

Bräuer, G.: Neue Materialien Niedersachsen e.V. (NMN), Mitglied des Vorstands.

Bräuer, G.: Gesprächskreis »Plasmatechnik« für das BMBF, Mitglied.

Bräuer, G.: 4th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2003), Jeju City, Korea, Conference Co-Chairman.

Brand, C.: Mitglied der Europäischen Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS).

Brand, J.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS), Leitung des Fachausschusses »Tribologische Schichten«.

Brand, J.: Mitglied der Gesellschaft für Tribologie (GfT).

Brand, J.: International Colloquium Tribology, »Tribology and Lubrication Engineering«, Mitglied im Programme Planning Committee.

Dimigen, H.: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V. (DGO), Mitglied des Vorstands (bis 9/2003).

Dimigen, H.: Mitglied der Deutschen Vakuum-Gesellschaft e.V. (DVG).

Dimigen, H.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS), Mitglied des Beirats.

Dimigen, H.: Neue Materialien Niedersachsen e.V. (NMN), Mitglied des Beirats.

Diehl, W.: Mitglied des Arbeitskreises Plasmaoberflächentechnologie (AK Plasma).

Diehl, W.: Mitglied der Europäischen Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS).

Gäbler, J.: Moderator des VDI-Richtlinien-Fachausschusses »CVD-Diamant-Werkzeuge«.

Gäbler, J.: Leitung des Industrie-Arbeitskreises CVD-Diamant-Werkzeuge.

Jung, T.: Mitglied des Arbeitskreises »Mechanische und Schutzschichtanwendungen« im Kompetenzzentrum Ultradünne funktionale Schichten Dresden-Chemnitz.

Klages, C.-P.: Mitglied im Fachausschuss »Oberflächen und Beschichtungen in der Bio- und Medizintechnik« (FABM) der Europäischen Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS).

Klages, C.-P.: Mitglied der projektbegleitenden Arbeitsgruppe »Sensorik« der Fachhochschule Westküste.

Klages, C.-P.: International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, Mitglied des Editorial Advisory Boards.

Lüthje, H.: Mitglied des DGM-Arbeitskreises »Magnetische Schichten für technische Anwendungen«.

Lüthje, H.: Mitglied des DGM-Fachausschusses »Dünne Schichten«.

Schäfer, L.: Industriearbeitskreis CVD-Diamant-Werkzeuge, Mitglied des Koordinierungsausschusses.

Schäfer, L.: Mitglied des Vereins Neue Materialien Niedersachsen e.V. (NMN).

Schäfer, L.: Mitglied des Nanotechnologie-Kompetenzzentrums Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung CC UPOB e.V.

Schäfer, L.: Mitglied der European Society for the Precision Engineering and Nanotechnology (euspen).

Schäfer, L.: Applied Diamond Conference / Frontier Carbon Technology Joint Conference (ADC/FCT 2003), Co-Chairperson des Programm Committee.

Schäfer, L.: New Diamond and Frontier Carbon Technology, International Journal of New Diamond, Frontier Carbon and Related Materials, Associate Editor.

Schiffmann, K.: Arbeitskreis »Rasterkraftmikroskopie in der Werkstoffwissenschaft« im Fachausschuss »Metallographie« der DGM, Mitglied im Lenkungsausschuss.

Thomas, M.: Mitglied der Forschungsvereinigung 3D-MID e.V.

Vergöhl, M.: Mitglied im Arbeitskreis »Dünne Schichten für die Optik«, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Weber, M.: Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS), Leitung des Fachausschusses »Beschichtung von Formen und Werkzeugen für die Kunststoffverarbeitung.



Internationale Gäste *International Guests*

Rafael Guerrero Gimeno,
Departamento de Química Inorgánica,
Universidad de Zaragoza, Spain,
1.8.2002-15.4.2003

Mercedes Cerecuela Barreto,
Departamento de Ingeniería Química,
Universidad de Murcia, Spain,
15.9.2003-15.3.2004

Silvia Marcó Galindo, Departamento
de Ingeniería Electrónica y Comunica-
ciones, Universidad de Zaragoza,
Spain, 15.9.2003-15.4.2004

Nicolás Gavela Martínez, Escuela
Universitaria de Ingeniería Técnica
Superior Industrial de Valencia,
Valencia, Spain, 1.5.2003-14.7.2003

Jacinta Condrón, Anthony Corr, Elaine
Mc Geough, Garry Ward, Institute of
Technology, Department of Mechanical
Engineering, Tallaght, Ireland,
1.10.2002-31.7.2003

Conor Galvin, Gearoid MacGearailt,
Barry Redmond, Institute of Techno-
logy, Department of Mechanical
Engineering, Tallaght, Ireland,
1.10.2003-31.7.2004

Albert Pinyol I Agelet, Departamento
de Física Aplicada i Òptica, Universidad
de Barcelona, Spain,
1.7.2003-30.8.2003

Publikationen *Publications*

Balke, M.; Lüthje, H.; Budde, T.; Gatzten, H.-H.; Bräuer, G.: Non-reactive and reactive ion etching processes for patterning magnet MEMS components. In: Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik: MICRO.tec 2003: Applications, trends, visions: Proceedings; 2nd VDE World Microtechnologies Congress; October 13-15, 2003, International Congress Centre, Munich, Germany. Berlin: VDE-Verl., 2003, p. 51 – 52.

Bandorf, R.; Lüthje, H.; Wortmann, A.; Staedler, T.; Wittorf, R.: Influence of substrate material and topography on the tribological behaviour of submicron coatings. In: Surface and Coatings Technology 174-175 (2003), p. 461 – 464.

Bandorf, R.; Lüthje, H.; Henke, C.; Sick, J.-H.: Micropatterned thin films for optimisation of the microtribological behaviour in MEMS and microactuators. In: Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik: MICRO.tec 2003: Applications, trends, visions: Proceedings; 2nd VDE World Microtechnologies Congress; October 13-15, 2003, International Congress Centre, Munich, Germany. Berlin: VDE-Verl., 2003, p. 451 – 452.

Bandorf, R.; Lüthje, H.; Schiffmann, K.; Beck, M.; Gatzten, H.-H.; Schmidt, M.; Büttgenbach, S.; Bräuer, G.: Submikrometerschichten für mikrotribologische Anwendungen. In: Hesselbach, Jürgen (Hrsg.) u. a.; Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik <Braunschweig>: Kolloquium Mikroproduktion: Februar, 2003; in Kooperation: Sonderforschungsbereich 516, Sonderforschungsbereich 440, Sonderforschungsbereich 499. Essen: Vulkan-Verl., 2003, S. 75 – 83.

Beck, M.; Bandorf, R.; Lüthje, H.; Sick, J.-H.; Gatzten, H.-H.: Influence of the initial surface roughness on the wear behaviour of micro probes under rotating and oscillating flat micro contact. In: Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik: MICRO.tec 2003: Applications, trends, visions: Proceedings; 2nd VDE World Microtechnologies Congress; October 13-15, 2003, International Congress Centre, Munich, Germany. Berlin: VDE-Verl., 2003, p. 477 – 478.

Bewilogua, K.; Wittorf, R.; Thomsen, H.; Weber, M.: DLC based coatings prepared by reactive d.c. magnetron sputtering. In: Thin Solid Films 447-448 (2003), p. 142 – 147.

Biehl, S.; Lüthje, H.; Bandorf, R.: Nano-structured carbon sensor for simultaneous measurement of load and temperature at mechanically strained surfaces. In: University of Minho: Eurosensors XVII: The 17th European Conference on Solid-State Transducers, September 21-24, 2003, Guimaraes, Portugal, Book of abstracts. Guimaraes: Univ. of Minho, 2003, p. 564 – 565.

Borris, J.: Galvanische Schichten am Automobil. In: JOT + Oberfläche: Journal für Oberflächentechnik 43 (2003), 7, S. 60 – 62.

Brand, C.: Dünne Schichten für moderne Verbrennungsmotoren. In: JOT + Oberfläche: Journal für Oberflächentechnik 43 (2003), 9, 56 – 59.

Brand, C.: Hochleistungsschichten für die Ur- und Umformtechnik: Bericht zum 5. Tribologie-Workshop am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST. In: Galvanotechnik 94 (2003), 7, S. 1730 – 1732.

Brand, J.: Mechanische und tribologische Eigenschaften von DLC-Schich-

ten. In: DGO u. a.: Oberflächen und Schichten – Funktionsträger für Technik, Medizin, Ästhetik: Berichtsband über das 25. Ulmer Gespräch am 8. und 9. Mai 2003 in Neu-Ulm (Donau), Edwin-Scharff-Haus, Silcherstraße 40. Saugau/Württ.: Leuze, 2003, S. 11 – 16.

Brand, J.: Optimierung tribologischer Systeme durch den Einsatz moderner Plasmatechnik. In: Krappel, Alfred (Hrsg.): Rennsport und Serie - Gemeinsamkeiten und gegenseitige Beeinflussung. Renningen-Malsheim: expert-Verl., 2003, S. 143 – 148 (Haus der Technik Fachbuch 29).

Brand, J.; Brand, C.; Wittorf, R.; Weck, M.; Schlattmeier, H.; Bugiel, C.: Steigerung der Leistungsfähigkeit von wälzbeanspruchten Oberflächen durch den Einsatz von DLC-Schichten. In: Gesellschaft für Tribologie <Moers> u. a.: Reibung, Schmierung und Verschleiß: Forschung und praktische Anwendung. Band I: Plenarvortrag, GfT-Förderpreise, Tribo-talk, Werkstoffe und Werkstofftechnologien, Tribologische Systeme. Moers, 2003, 22/1 – 22/13.

Brand, J.; Brand, C.; Gäbler, J.: Die Vielfalt der Kohlenstoffschichten – ein Überblick. In: Tribologie und Schmierungstechnik 50 (2003), 3, S. 18 – 22.

Bräuer, G.: Large area deposition. In: Kaiser, Norbert (Ed.) u. a.: Optical Interference Coatings. Berlin [u. a.]: Springer, 2003, S. 155 – 180.

Bräuer, G.: Moderne Beschichtungen veredeln Massenprodukte. In: Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.) u. a.: Kunststück Innovation: Praxisbeispiele aus der Fraunhofer-Gesellschaft. Berlin [u. a.]: Springer, 2003, S. 125 – 129.

Budde, T.; Föhse, M.; Majjer, B.; Lüthje, H.; Bräuer, G.; Gatzten, H.-H.:

- Fertigung magnetischer Schichten. In: Hesselbach, Jürgen (Hrsg.) u. a.; Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik <Braunschweig>: Kolloquium Mikroproduktion: Februar, 2003; in Kooperation: Sonderforschungsbereich 516, Sonderforschungsbereich 440, Sonderforschungsbereich 499. Essen: Vulkan-Verl., 2003, S. 85 – 94.
- Dietz, A.: Low-Cost-Prozesse für High-End-Anwendungen – zukünftige Chancen für Dispersionsschichten. In: DGO u. a.: Oberflächen und Schichten – Funktionsträger für Technik, Medizin, Ästhetik: Berichtsband über das 25. Ulmer Gespräch am 8. und 9. Mai 2003 in Neu-Ulm (Donau), Edwin-Scharff-Haus, Silberstraße 40. Saulgau/Württ.: Leuze, 2003, S. 132 – 137.
- Eichler, M.; Klages, C.-P.; Geßner, C.: Atmosphärendruck-Plasmaverfahren im Korrosionsschutz. In: Korrosionsschutz von metallischen Oberflächen: Grundlagen, Forschungsergebnisse, Anwendungen: [Fachforum], 2./3. Juni 2003, Regensburg. Regensburg: OTTI e.V., 2003, S. 295 – 323.
- Eichler, M.: Der Funke springt über: Atmosphärendruck-Plasmaverfahren erschließt Anwendungen über die Reinigung und Aktivierung von Oberflächen hinaus. In: Maschinenmarkt: MM (2003), 7, S. 30 – 33.
- Fellenberg, R.; Bräuer, G.: Plasma Surface Technologies in Germany. In: Society of Vacuum Coaters (SVC): 46th Annual Technical Conference Proceedings: Society of Vacuum Coaters, May 3-8, 2003, San Francisco, California, USA. Albuquerque: SVC, 2003, p. 462 – 468.
- Fryda, M.; Matthée, T.; Mulcahy, S.; Hampel, A.; Schäfer, L.; Tröster, I.: Fabrication and Application of DiaChem[®] Electrodes. In: Diamond and Related Materials 12 (2003), 10-11, p. 1950 – 1956.
- Gäbler, J.; König, J.: Hohe Werkzeugleistung durch die richtige Beschichtung: Neueste Entwicklungen im Bereich Zerspanungswerkzeuge. In: Diamond Business (2003), 4, S. 38 – 39.
- Gäbler, J.; Schäfer, L.; Menze, B.; Hoffmeister, H.-W.: Micro abrasive pencils with CVD diamond coating. In: Diamond and Related Materials 12 (2003), p. 707 – 710.
- Gee, M. G.; Gant, A.; Hutchings, I.; Bethke, R.; Schiffmann, K.; Van Acker, K.; Poulat, S.; Gachon, Y.: Progress towards Standardisation of Ball Cratering. In: Wear 255 (2003), 1-6, p. 1 – 13.
- Gemmler, A.; Schwarz, S.; Binder, B.; Fetzer, H.-J.; Schiffmann, K.; Petrik, M.; Reiners, G.; Griepentrog, M.: Info-Center Internet – Informationssystem für die Oberflächentechnik. In: Metalloberfläche: mo 57 (2003), 1/2, S. 36 – 42.
- Hong, R. J.; Jiang, X.; Szyszka, B.; Sittlinger, V.; Pflug, A.: Studies on ZnO:Al Thin Films Deposited by In-line Reactive Mid-frequency Magnetron Sputtering. In: Applied Surface Science 207 (2003), 1-4, p. 341 – 350.
- Hong, R. J.; Jiang, X.; Heide, G.; Szyszka, B.; Sittlinger, V.; Werner, W.: Growth behaviours and properties of the ZnO:Al films prepared by reactive mid-frequency magnetron sputtering. In: Journal of Crystal Growth 249 (2003), 3-4, p. 461 – 469.
- Hong, R. J.; Jiang, X.; Szyszka, B.; Sittlinger, V.; Xu, S. H.; Werner, W.; Heide, G.: Comparison of the ZnO:Al films deposited in static and dynamic modes by reactive mid-frequency magnetron sputtering. In: Journal of Crystal Growth 253 (2003), 1-4, p. 117 – 128.
- Jacobs, O.; Jaskulka, R.; Tegethoff, C.; Schlicke, G.; Brand, J.: Optimierung von Gleitpaarungen auf Kunststoffbasis für unterschiedliche Einsatzbedingungen. In: Gesellschaft für Tribologie <Moers> u. a.: Reibung, Schmierung und Verschleiß: Forschung und praktische Anwendung. Band I: Plenarvortrag, GfT-Förderpreise, Tribo-talk, Werkstoffe und Werkstofftechnologien, Tribologische Systeme. Moers, 2003, S. 16/1 – 16/16.
- Kim, Y.-K.; Eichler, M.; Klages, C.-P.: Effects of discharge pulsing on the cleaning surfaces using a dielectric barrier discharge at atmospheric pressure. In: Surface and Coatings Technology 171 (2003), 1-3, p. 321 – 327.
- Klaffke, D.; Brand, J.; Brand, C.; Wirtorf, R.; Hartelt, M.: Reibungs- und Verschleißverhalten von a-C:H-Schichten unter mediengeschmierten Bedingungen. In: Gesellschaft für Tribologie <Moers> u. a.: Reibung, Schmierung und Verschleiß: Forschung und praktische Anwendung. Band I: Plenarvortrag, GfT-Förderpreise, Tribo-talk, Werkstoffe und Werkstofftechnologien, Tribologische Systeme. Moers, 2003, S. 21/1 – 21/10.
- Klaffke, D.; Brand, J.; Brand, C.; Wirtorf, R.; Hartelt, M.: Tribologische Charakterisierung metalldotierter DLC-Schichten. In: Gesellschaft für Tribologie <Moers> u. a.: Reibung, Schmierung und Verschleiß: Forschung und praktische Anwendung. Band I: Plenarvortrag, GfT-Förderpreise, Tribo-talk, Werkstoffe und Werkstofftechnologien, Tribologische Systeme. Moers, 2003, S. 20/1 – 20/10.
- Klages, C.-P.; Eichler, M.; Thyen, R.: Atmospheric pressure PA-CVD of

silicon- and carbon-based coatings using dielectric barrier discharges. In: *New Diamond and Frontier Carbon Technology* 13 (2003), 4, p. 175 – 189.

Klages, C.-P.; Betker, T.; Geßner, C.; Penache, C.: Polymer surface modification for biomedical purposes by ambient pressure dielectric barrier discharges. In: *Arbeitsgemeinschaft Plasmaphysik (APP): Biomedical aspects of plasma physics: APP Spring Meeting 2003; Physikzentrum Bad Honnef, Germany, 23.-26.2.03. Bochum, 2003*, p. 71 – 74.

Lüthje, H.; Schmitz, R.: Smart tools for future cutting processes. In: *MST news: International Newsletter on Microsystems and MEMS* (2003), 2, p. 8 – 10.

Mahrholz, J.; Höfer, M.; Jung, T.: Ultrathin amorphous carbon films for magnetic recording prepared by the mesh hollow cathode plasma source. In: *Surface and Coatings Technology* 174-175 (2003), p. 1131 – 1134.

Müller, J.; Schöpe, G.; Kluth, O.; Rech, B.; Sittinger, V.; Szyszka, B.; Geyer, R.; Lechner, P.; Schade, H.; Ruske, M.; Dittmar, G.; Bochem, H.-P.: State-of-the-art mid-frequency sputtered ZnO films for thin film silicon solar cells and modules. In: *Thin Solid films* 442 (2003), 1-2, p. 158 – 162.

Ohr, R.; Schug, C.; Wahl, M.; Wiens, A.; Hilgers, H.; Mahrholz, J.; Willich, P.; Jung, T.: Analytical characterization of thin carbon films. In: *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 375 (2003), 1, p. 47 – 52.

Ortner, K.; Birkholz, M.; Jung, T.: Neue Entwicklungen beim Hohlkatoden-Gasflusssputtern. In: *Vakuum in Forschung und Praxis* 15 (2003), 5, S. 236 – 239.

Penache, C.; Geßner, C.; Betker, T.; Bartels, V.; Klages, C.-P.: Atmospheric pressure plasma printing for patterned surface functionalization and coating. In: *Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik: MICRO.tec 2003: Applications, trends, visions: Proceedings ; 2nd VDE World Microtechnologies Congress; October 13-15, 2003, International Congress Centre, Munich, Germany. Berlin: VDE-Verl., 2003*, p. 305 – 309.

Penache, C.; Bartels, V.; Geßner, C.; Klages, C.-P.: Patterned surface treatment at atmospheric pressure – plasma printing. In: *Meichsner, J. (Ed.) u. a.: XXVI International Conference on Phenomena in Ionized Gases: Proceedings. Volume 3: July 15-20, 2003, Greifswald, Germany. Greifswald, 2003*, p. 237 – 238.

Pflug, A.; Szyszka, B.; Sittinger, V.; Niemann, J.: Process simulation for advanced large area optical coatings. In: *Society of Vacuum Coaters (SVC): 46th Annual Technical Conference Proceedings: Society of Vacuum Coaters, May 3-8, 2003, San Francisco, California, USA. Albuquerque: SVC, 2003*, p. 241 – 247.

Pflug, A.; Szyszka, B.; Niemann, J.: Simulation des reaktiven Magnetron-Sputterprozesses in Inline-Anlagen. In: *JOT + Oberfläche: Journal für Oberflächentechnik* (2003), Sonderteil Dünne Schichten 1, S. X – XIII.

Pflug, A.; Szyszka, B.; Niemann, J.: Simulation of reactive sputtering kinetics in real in-line processing chambers. In: *Thin Solid Films* 442 (2003), 1-2, p. 21 – 26.

Rickers, C.; Vergöhl, M.: Spectrally selective reflecting thin-film filters for laser display technology. In: *Thin Solid Films* 442 (2003), 1-2, p. 145 – 152.

Schiffmann, K.; Hieke, A.: Analysis of microwear experiments on thin DLC coatings: Friction, wear and plastic deformation. In: *Wear* 254 (2003), 5-6, p. 565 – 572.

Szyska, B.; Sittinger, V.; Jiang, X.; Hong, R. J.; Werner, W.; Pflug, A.; Ruske, M.; Lopp, A.: Transparent and conductive ZnO:Al films deposited by large area reactive magnetron sputtering. In: *Thin Solid Films* 442 (2003), 1-2, p. 179 – 183.

Thomas, M.: Strukturierte Metallisierung von Kunststoffen: Bericht zum 1. Workshop am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST. In: *PLUS 5* (2003), 8, S. 1258 – 1259.

Thomas, M.: Strukturierte Metallisierung von Kunststoffen mittels »Aktiver Maske«. In: *Blasek, G. (Hrsg.): Dresdner Transferstelle für Vakuumtechnik u. a.: NDVaK: 11. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium: Beschichtung und Modifizierung von Kunststoffoberflächen; 16. und 17. Oktober 2003, Institut für Polymerforschung Dresden e.V. 2003*, S. 129 – 136.

Tröster, I.; Schäfer, L.; Fryda, M.; Matthée, Th.: Electrochemical advanced oxidation process using DiaChem[®] electrodes. In: *Vogelpohl, Alfons (Ed.): Third International Conference on Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment - Special Topic: AOP's for Recycling and Reuse: 18 - 22 May 2003, Goslar, Germany; Our water, our tomorrow. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger-Verl., 2003*, p. 141 – 146 (CUTEC serial publication 57).

Weber, M.: Schichten für ein langes Werkzeugleben. In: *Werkstatttechnik* 93 (2003), 4, S. 349.

Vorträge, Poster
Lectures, Poster

Barth, S.; Gillner, A.; Klages, C.-P.: Development of a novel protein nanochip (PNC) platform technology for the laser-based detection and processing of single interactions between molecules to identify pharmaceutical lead applications (Poster). Workshop »Biology and Physics at Interfaces: From Single Molecules to Cells«, Forschungszentrum Jülich, Mai 2003.

Bewilogua, K.; Bräuer, G.; Brand, J.; Schäfer, L.; Diehl, W.: Wear and friction reducing coatings on components and tools. 4th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2003), Jeju City/Korea, September/Oktober 2003.

Bewilogua, K.; Wittorf, R.; Thomsen, H.; Weber, M.: Deposition of high performance DLC based coatings by reactive DC magnetron sputtering. 9th Sheffield ABS Days, Sheffield/UK, Juli 2003.

Bewilogua, K.; Wittorf, R.; Thomsen, H.; Weber, M.: Structure and properties of DLC based coatings prepared by reactive d.c. magnetron sputtering. International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego/USA, April/Mai 2003.

Bewilogua, K.: Structure, properties and applications of nanostructured carbon based coatings. 1st International Symposium on Nanostructured Materials: Structural Applications, Seoul/Korea, Oktober 2003.

Brand, C.: Oberflächenstrukturoptimierung für mediengeschmierte Tribosysteme – Ergebnisse der Marktstudie. Workshop OSOMETRIS, Braunschweig, Juli 2003.

Brand, J.: High-Tech-Elastomerprodukte durch Plasmatechnik. 282. Veranstaltung der Bezirksgruppe Niedersachsen der DKG, Hannover, April 2003.

Brand, J.: Kohlenstoffschichten – Neue Möglichkeiten zur Optimierung tribologischer Systeme. 43. Tribologie-Kolloquium des Arbeitskreises Sachsen-Anhalt der GfT, Fraunhofer IFF, Magdeburg, Juni 2003.

Brand, J.: Mechanische und tribologische Eigenschaften von DLC-Schichten. 25. Ulmer Gespräch der DGO und VDI, Neu-Ulm, Mai 2003.

Brand, J.: Neue Möglichkeiten für den Leichtbau durch moderne Plasmatechnik. Fachtagung »Leichtbau in der Antriebstechnik«, Harmonic Drive AG, Limburg/Lahn, November 2003.

Brand, J.: Optimierung tribologischer Systeme durch Einsatz moderner Plasmatechnik. Tagung »Rennsport und Serie – Gemeinsamkeiten und gegenseitige Beeinflussung«, Haus der Technik, München, Juni 2003.

Bräuer, G.: Aktuelle Entwicklungen der plasmagestützten Schicht- und Oberflächentechnik – Ausgewählte Beispiele. Informationsveranstaltung der IHK Düsseldorf, Velbert, November 2003.

Bräuer, G.: Dünne Schichten mit großer Wirkung – alltägliche und nicht alltägliche Beispiele. Festkolloquium Universität Gießen, Oktober 2003.

Bräuer, G.: Industrielle Plasma-Oberflächentechnik in Deutschland – Status und Trends. 5. Industriefachtagung »Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik«, Chemnitz, September 2003.

Bräuer, G.: Magnetron-Sputtering. OTTI-Fachforum »Herstellung dünner Schichten«, Würzburg, Juni 2003.

Bräuer, G.: New Materials for Photocatalytic Optical Coatings on Large Areas. Korean-German Partnership Event, Seoul/Korea, Juni 2003.

Bräuer, G.: New materials for photocatalytic optical coatings on large areas. 4th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE), Jeju City/Korea, September 2003.

Bräuer, G.: Oberflächenmodifikation und Reinigung mit Plasmen. OTTI-Fachforum »Reinigung und Vorbehandlung vor der Beschichtung«, Würzburg, Februar 2003.

Bräuer, G.: Plasma Surface Technologies in Germany. 4th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE), Jeju City/Korea, Oktober 2003.

Bräuer, G.: Plasmagestützte Schicht- und Oberflächentechnik – heutiger Stand und zukünftige Trends. Fachtagung der DGO, Berlin, Januar 2003.

Bräuer, G.: PVD-Basisprozesse und ihre reaktiven Varianten. OTTI-Fachforum »Schichten auf Glas«, Bamberg, März 2003.

Bräuer, G.: Recent Progress and Future Directions of Pulsed Plasma Surface Technologies. Workshop on Pulsed Plasma Surface Technologies, Tokyo/Japan, Juni 2003.

Bräuer, G.: Recent Progress and Future Directions of Pulsed Plasma Surface Technologies. 1st Korea-Germany Workshop on Pulsed Plasma Surface Technology, Jeju City/Korea, Oktober 2003.

- Bräuer, G.: Schicht- und Oberflächen-technik in Deutschland – Status und Trends. Auftaktveranstaltung zur TSH-Initiative Oberflächentechnik, Geesthacht, April 2003.
- Bräuer, G.: Schichtherstellung durch Katodenzerstäubung (Sputtering). OTTI-Fachforum »Herstellung dünner Schichten«, Würzburg, Juni 2003.
- Bräuer, G.: Thin Film and Process Development for Advanced Transparent Conductive Oxides Symposium »Research in Germany«, Seoul/Korea, Juni 2003.
- Diehl, W.; Sittinger, V.; Szyszka, B.: Thin film solar cell technology in Germany. 4th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2003), Jeju City/Korea, September/Okttober 2003.
- Dietz, A.; Arndt, S.; Herrmann, D.; Schäfer, L.; Tröster, I.: Diamantelektroden für elektrochemische Anwendungen. AICHEM, Frankfurt/Main, Mai 2003.
- Dietz, A.; Klumpp, G.: Galvanische Beschichtung von Kunststoffen. SIKA Industry-Technologieforum, Eisenach, September 2003.
- Eichler, M.: Korrosionsschutz mit Atmosphärendruck-Plasmaverfahren. Fachhochschule Hannover, Februar 2003.
- Eichler, M.: Oberflächenmodifizierung von Polymeren mittels Atmosphärendruck-Plasmaverfahren. Fachhochschule Hannover, Februar 2003.
- Eichler, M.; Klages, C.-P.; Geßner, C.: Korrosionsschutz mit Atmosphärendruckplasma. OTTI-Kolleg, Regensburg, Juni 2003.
- Fryda, M.; Matthée, Th.; Mulcahy, S.; Schäfer, L.; Höfer, M.; Tröster, I.: Electrochemical Advanced Oxidation Process for Water Treatment (Invited Talk). 7th Applied Diamond Conference / 3rd Frontier Carbon Technology Joint Conference (ADC/FCT 2003), Tsukuba/Japan, August 2003.
- Gäbler, J.: Überblick über Beschichtungen für Zerspanungswerkzeuge. Workshop »Hochleistungsschichten für Zerspanungswerkzeuge«, Braunschweig, Oktober 2003.
- Geßner, C.; Penache, C.; Betker, T.; Bartels, V.; Klages, C.-P.: Surface patterning for biomedical applications by atmospheric pressure plasmas (Poster). Workshop »Biology and Physics at Interfaces: From Single Molecules to Cells«, Forschungszentrum Jülich, Mai 2003.
- Hieke, A.; Bewilogua, K.: Influence of deposition parameters on the wetting behavior of magnetron sputtered chromium nitride films. International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego/USA, April/Mai 2003.
- Höfer, M.; Schäfer, L.: Investigation of Large Area HFCVD Diamond Deposition Processes by Multi-Filament Temperature Measurements (Poster). 7th Applied Diamond Conference / 3rd Frontier Carbon Technology Joint Conference (ADC/FCT 2003), Tsukuba/Japan, August 2003.
- Hunsche, B.; Penache, C.; Vergöhl, M.; Klages, C.-P.: Influence of discharge plasma on surface energy properties of MF-sputtered TiO₂ thin films (Poster). 2nd Workshop on Photocatalysis of the European-Japanese Initiative on Photocatalytic Applications and Commercialization (EJIPAC), Saarbrücken, September 2003.
- Keunecke, M.: c-BN Coatings on Tools – Development and Characterization. 10. Expertentreffen c-BN, Mittweida, September 2003.
- Keunecke, M.; Bewilogua, K.: Cubic Boron Nitride and Boron based Tool Coatings – Mechanical and Tribological Properties (Invited Talk). Applied Diamond Conference / Frontier Carbon Technology Joint Conference ADC/FCT, Tsukuba/Japan, August 2003.
- Klages, C.-P.: Steuerung von Teilchenströmen mit neuen Atmosphärendruck-Plasmaquellen. Fachgespräch: Neue Plasmaquellen, VDI-TZ, Düsseldorf, April 2003.
- Klages, C.-P.; Eichler, M.; Geßner, C.; Penache, C.: Atmospheric pressure plasma deposition of thin films by dielectric barrier discharges. 16th Int. Symp. on Plasma Chemistry (ISPC 16), Special Session »Atmospheric Pressure Plasma Processes«, Taormina/Italien, Juni 2003.
- Klages, C.-P.; Betker, T.; Geßner, C.; Penache, C.: Polymer surface modification for biomedical purposes by ambient pressure dielectric barrier discharges. Frühjahrstagung der Arbeitsgemeinschaft Plasmaphysik, Bad Honnef, Februar 2003.
- Kreitz, S.; Bartels, V.; Geßner, C.; Penache, C.; Klages, C.-P.: Plastic metallization via surface modification by atmospheric pressure plasma. International Workshop on Polymer/Metal Nanocomposites, Kiel, September 2003.
- Lüthje, H.; Bandorf, R.; Biehl, S.: Smart Coatings: Wear Resistant Layer Systems with Integrated Thin Film Sensors. International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego/USA, April/Mai 2003.

Schäfer L.; Tröster, I.; Dietz, A.; Fryda, M.; Matthée, Th.: Leitfähige Diamantschichten als neues Elektrodenmaterial (Eingeladener Vortrag). GDCh-Jahrestagung Chemie 2003, München, Oktober 2003.

Schäfer, L.: Was kann man alles mit CVD-Diamant beschichten? Industriearbeitskreis CVD-Diamant-Werkzeuge, Braunschweig, März 2003.

Schiffmann, K.: Eigenschaftssensitive SPM-Verfahren – Methoden und Beispiele. 3. Treffen des Arbeitskreises »Rasterkraftmikroskopie in der Werkstoffwissenschaft« des Fachausschusses Metallographie der DGM, Münster, Februar 2003.

Szyszka, B.: Transparent and Conductive Oxides – Challenging Materials for Optoelectronic Applications (Eingeladener Vortrag). Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Dresden, März 2003.

Szyszka, B.; Sittinger, V.; Pflug, A.; Werner, W.; Hong, R.J.; Ruske, F.; Ruske, M.; Lopp, A.: Properties of ZnO:Al Films deposited by inline reactive AC magnetron sputtering (Eingeladener Vortrag). International Symposium on Transparent Oxide Thin Films for Electronics and Optics, Tokyo/Japan, April 2003.

Szyszka, B.; Klages, C.-P.; Vergöhl, M.; Jung, T.; Bräuer, G.: Schichtsysteme für Automobilverglasungen. IIR-Tagung »Glas im Automobil«, Stuttgart, November 2003.

Szyszka, B.; Pflug, A.; Vergöhl, M.: Ellipsometry as a diagnostic tool for energy efficient coatings on architectural glazing. Sentech-Seminar »Dünnschichtmesstechnik«, Berlin, Mai 2003.

Thomas, M.: Strukturierte Metallisierung von Kunststoffen mittels »Aktiver Maske«. 1. Workshop »Strukturierte Metallisierung von Kunststoffen«, Braunschweig, Juni 2003.

Thomas, M.: Strukturierte Metallisierung von Kunststoffen mittels »Aktiver Maske«. 11. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, Dresden, Oktober 2003.

Weber, M.; Bewilogua, K.; Hieke, A.; Thomsen, H.; Wittorf, R.: Improved adhesion of a-C:H coatings by defined interlayer. International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego/USA, April/Mai 2003.

Weber, M.: Geringadhäsive Kohlenstoffschichten für Formen und Werkzeuge in der Kunststoffverarbeitung. 50. Arbeitskreis »Verschleiß in der Kunststoffverarbeitung«, Darmstadt, März 2003.

Weber, M.: Geringadhäsive Kohlenstoffschichten für Formen und Werkzeuge in der Kunststoffverarbeitung. Seminar »Serienwerkzeuge und -formen für die Kunststoffverarbeitung«, VDI-Wissensforum, Aachen, Mai 2003.

Weber, M.: Realisierung und Potenzial von Beschichtungen für die Umformtechnik mit integrierter Dünnschichtsensorik. 4. Forum »Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung«, Darmstadt, September 2003.

Diplom- und Studienarbeiten *Diploma Theses and Seminar Papers*

Arends, Karsten: Biotinylierung von Goldschichten. Braunschweig, 2003. Braunschweig, Techn. Univ., Studienarbeit.

Bartels, Volker: Hohlraum-Teilentladungen für die direkte geometrisch strukturierte Behandlung von Oberflächen. Braunschweig, Techn. Univ., Dipl.-Arb., 2003.

Borries, Gerrit von: Untersuchung des Verschleißes von beschichteten Wälzkörpern für die Lager- und Antriebstechnik. Braunschweig, Techn. Univ., Dipl.-Arb., 2003.

Flucke, Christian: Konstruktion und Aufbau einer Apparatur zur strukturierten Funktionalisierung von Oberflächen durch den Einsatz von Atmosphärendruckplasmen. Braunschweig, 2003. Braunschweig, Techn. Univ., Konstruktive Studienarbeit.

Guerrero Gimeno, Rafael: Evaluation of different test procedures of photocatalytic reactions of Titanium dioxide thin films on glass. Zaragoza, Univ., Dipl.-Arb., 2003.

Immink, Christian: Aufbau und Steuerung einer Kurztakt-Demonstrationsanlage zur Oberflächenbeschichtung mittels des Hohlkatodenverfahrens. Braunschweig, 2003. Braunschweig/Wolfenbüttel, Fachhochschule, Große Studienarbeit.

Kreitz, Susanne: Metallisierung von Kunststofffolien mittels Vorbehandlung im Atmosphärendruck-Plasma. Braunschweig, 2003. Kiel, Univ., Studienarbeit.

Matucha, Ulrike: Aminofunktionalisierung von Oberflächen mittels Atmosphärendruckplasma und deren Charakterisierung. Braunschweig, Techn. Univ., Dipl.-Arb., 2003.

Niemann, Jan: Optimierung von Datenstrukturen für parallele 3D-Monte-Carlo-Strömungssimulationen und paralleles Rechnen unter i386-Linux.

Braunschweig, 2003. Braunschweig, Techn. Univ., Studienarbeit.

Rübenkamp, Hanns Markus: Modifikation der Konstruktion eines Elektrodensystems einer Barrierentladung-Beschichtungsanlage. Braunschweig/Wolfenbüttel, Fachhochschule, Dipl.-Arb., 2003.

Sellschopp, Anschela: Beschichtung von Leichtmetall-Werkstoffen mit verschleißmindernden oxidischen Nanokompositschichten. Braunschweig, Techn. Univ., Dipl.-Arb., 2003.

Stiegler, Eila: 3D-Monte-Carlo-Simulation molekularer Gasströmung in Quadern, Zylindern und Kegeln. Braunschweig, 2003. Hannover, Univ., Bachelor-Arbeit.

Wiese, Marc: Entwicklung elektrisch leitfähiger und verschleißfester Schichtsysteme auf der Basis metallhaltiger Kohlenstoffschichten für elektrische Kontakte. Braunschweig/Wolfenbüttel, Fachhochschule, Dipl.-Arb., 2003.

Dissertationen

Doctorate Theses

Hunsche, B.: Temperaturstabile transparente und hochbrechende dünne Schichten auf der Basis von Titan-dioxid. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2003 (Berichte aus Forschung und Entwicklung 18). Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2003.

Löhken, T.: Integration von Mikrosensoren in Hartstoffschichten. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2003 (Berichte aus Forschung und Entwicklung 20). Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2003.

Majjer, B.: Magnetische und strukturelle Eigenschaften von nanokristallinen und gesputterten CoSm-Filmen. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2003 (Berichte aus Forschung und Entwicklung 19). Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2003.

Schutzrechtsanmeldungen

Patent Applications

Keunecke, M.; Bewilogua, K.: Harte und superharte kohlenstoffstabilisierte Bornitrid- und Borcarbonitrid-Schichtsysteme.

Birkholz, M.; Jung, T.: Hochisolierende Schicht und Verfahren zu ihrer Herstellung.

Dietz, A.; Schäfer, L.: Diamantelektrode für elektrochemische Anwendungen sowie Verfahren zu ihrer Herstellung und Verwendung.

Hunsche, B.; Penache, C.; Vergöhl, M.; Klages, C.-P.: Verfahren zur Plas-ma-behandlung einer Oberfläche.

Klages, C.-P.; Penache, C.: Verfahren und Vorrichtung zur plasmagestützten Behandlung von vorgebbaren Oberflächenbereichen eines Substrates.

Lüthje, H.; Biehl, S.; Bandorf, R.: Wälz-lager mit integrierter Zustandsmessung.

Szyszkka, B.; Pflug, A.; Sittinger, V.; Hunsche, B.: Leuchtmittel mit einem Schichtsystem zur Reflektierung abgegebener infraroter Strahlung.

Szyszkka, B.; Pflug, A.: Magnetron-Beschichtungsmodul.

Vergöhl, M.; Hunsche, B.: Transparente Zirkonoxid-Tantal/oxid-Beschichtung.

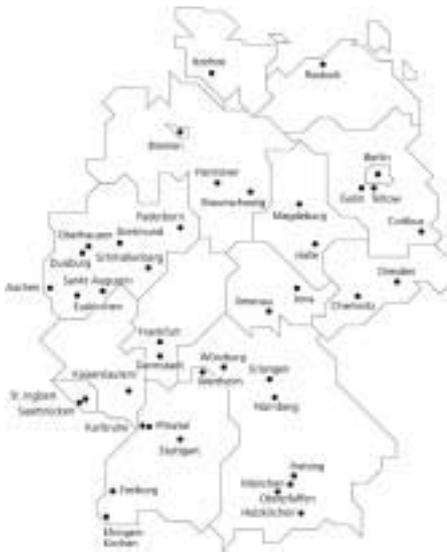
Vergöhl, M.; Hunsche, B.: Transparente Titanoxid-Aluminium/oxid-Beschichtung mit Rutil-Struktur.

Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

Die Forschungsorganisation

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Deutschland. In rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 58 Institute, an 40 Standorten in allen Bundesländern sind rund 12 700 Mitarbeiter beschäftigt, überwiegend Wissenschaftler und Ingenieure. Die Gesamtaufwendungen der Fraunhofer-Gesellschaft betragen 2003 etwa 1 Mrd €, davon mehr als 900 Mio € im Leistungsbereich Vertragsforschung. Hier erwirtschaftete sie etwa zwei Drittel aus Aufträgen der Industrie und aus öffentlich finanzierten Forschungsprojekten.

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist 1949 als gemeinnütziger Verein zur Förderung der angewandten Forschung gegründet worden. Zu den Mitgliedern zählen namhafte Unternehmen und private Förderer, die die Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft bedarfsorientiert mitgestalten.



Fraunhofer-Standorte in Deutschland.
The Fraunhofer institutes in Germany.

Die Forschungsgebiete

Auf diese Gebiete konzentriert sich die Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft:

- Mikroelektronik
- Produktion
- Informations- und Kommunikationstechnik
- Werkstoffe, Bauteile
- Life Sciences
- Oberflächentechnik und Photonik

Die Zielgruppen

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist der Wirtschaft, dem einzelnen Unternehmen und der Gesellschaft verpflichtet. Ihre Zielgruppen sind:

- Die Wirtschaft: Kleine, mittlere und große Unternehmen in der Industrie und im Dienstleistungssektor profitieren durch Auftragsforschung. Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt konkret umsetzbare, innovative Lösungen und trägt zur breiten Anwendung neuer Technologien bei. Für kleinere oder mittlere Unternehmen ohne eigene FuE-Abteilung ist sie wichtiger Lieferant für innovatives Know-how.
- Staat und Gesellschaft: Im Auftrag von Bund und Ländern werden strategische Forschungsprojekte durchgeführt. Sie dienen der Förderung von Spitzen- und Schlüsseltechnologien oder Innovationen auf Gebieten, die von besonderem öffentlichen Interesse sind, wie Umweltschutz- oder Energietechniken. Im Rahmen der europäischen Union beteiligt sich die Fraunhofer-Gesellschaft an den entsprechenden Technologieprogrammen.

Das Leistungsangebot

Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt Produkte und Verfahren bis zur Anwendungsreife. Dabei werden in direktem Kontakt mit dem Auftraggeber individuelle Lösungen erarbeitet. Je nach Bedarf arbeiten mehrere Fraunhofer-Institute zusammen, um auch komplexe Systemlösungen zu realisieren.

Die Vorteile der Vertragsforschung

Durch die Zusammenarbeit aller Institute stehen den Auftraggebern der Fraunhofer-Gesellschaft zahlreiche Experten mit einem breiten Kompetenzspektrum zur Verfügung. Gemeinsame Qualitätsstandards und das professionelle Projektmanagement der Fraunhofer-Institute sorgen für verlässliche Ergebnisse der Forschungsaufträge. Modernste Laborausstattungen machen die Fraunhofer-Gesellschaft für Unternehmen aller Größen und Branchen attraktiv. Neben der Zuverlässigkeit einer starken Gemeinschaft sprechen auch wirtschaftliche Vorteile für die Zusammenarbeit, denn die kostenintensive Vorlauforschung bringt die Fraunhofer-Gesellschaft bereits als Startkapital in die Partnerschaft ein.

The Fraunhofer-Gesellschaft at a Glance

The research organization

The Fraunhofer-Gesellschaft is the leading organization for applied research in Germany. A staff of approximately 12 700, primarily scientists and engineers, is employed in 58 research facilities that are distributed over all states (Länder). The total operational budget of the Fraunhofer-Gesellschaft amounted to one billion € in 2003, out of which more than 900 million € were dedicated to contract research. Two thirds of the funding for the latter came from cooperative R&D with industry and from publicly funded research programs.

The Fraunhofer-Gesellschaft was founded in 1949 as a non-profit organization with the mandate to promote applied research. Among its members are well known companies and private sponsors who help ensure a demand-oriented evolution of the Fraunhofer-Gesellschaft.

The research fields

Basic and applied research in the Fraunhofer-Gesellschaft focuses on

- Microelectronics
- Production
- Information and Communication Technology
- Materials and Components
- Life Sciences
- Surface Technology and Photonics

Target groups

The Fraunhofer-Gesellschaft is indebted to the economy as a whole, to the individual enterprise, and to the society at large. Its target groups are:

- **Business:** Small, medium sized, and large enterprises in industry and the service sector profit from contract research. The Fraunhofer-Gesellschaft develops directly usable innovative solutions and contributes to the dissemination of new technologies. It is a major supplier of innovative know-how for small and medium enterprises who do not have their own R&D.
- **Government and society:** The Fraunhofer-Gesellschaft conducts strategic research commissioned by Federal and State (Länder) governments to promote the nation's competitiveness in leading-edge and key technologies and to create innovative solutions in areas of special public interest like increasing the availability of clean, abundant energy, restore and protect the environment and contribute to national security. At the level of the European Union the Fraunhofer-Gesellschaft is actively participating in corresponding research programs.

Product and service offerings

The Fraunhofer-Gesellschaft develops products and processes to a point at which they are readily usable or marketable. Individual solutions are worked out in direct interaction with the industrial partner. Whenever feasible, collaboration of several Fraunhofer institutes is strongly encouraged to enable rapid solutions even for complex situations.

Advantages of contract research

The collaboration of all Fraunhofer Institutes provides industrial partners with a large number of experts who cover a vast array of competencies. Common quality standards and the professional project management of the Fraunhofer Institutes guarantee beneficial results from contract research. Leading edge, sometimes unique, laboratory equipment makes the Fraunhofer-Gesellschaft attractive to companies of all sizes and industry sectors. Not only the dependability of this powerful community speak for contract research with but also the economic benefits as cost-intensive basic research has already been paid by the Fraunhofer-Gesellschaft.

Ansprechpartner / Contacts

Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der angewandten
Forschung e.V.
Hansastr. 27/C
80686 München

Telefon/Phone +49 (0) 89/1205-0
Fax +49 (0) 89/1205-7531
info@fraunhofer.de
www.fraunhofer.de