

Symposium Plasma Deposition von funktionellen Schichten (SYPD)

gemeinsam veranstaltet von
 Fachverband Kurzzeitphysik der DPG und der
 DGPT (Deutsche Gesellschaft für Plasmatechnologie e.V.)

Detlev Ristau
 Laser Zentrum Hannover e.V.
 Hollerithallee 8
 30419 Hannover
 d.ristau@lzh.de

Andreas Ohl
 INP Greifswald e.V.
 Felix-Hausdorff-Str. 2
 17489 Greifswald
 ohl@inp-greifswald.de

Peter Awakowicz
 Lehrstuhl AEPT
 Ruhr-Universität Bochum
 Universitätsstrasse 150
 44801 Bochum
 awa@aept.rub.de

Plasmadepositionsverfahren spielen eine essentielle Rolle bei der Herstellung funktionaler Beschichtungen für Anwendungen in der Optik, Tribologie, Medizin oder Sensorik. Plasma oder energetische Ionen werden häufig in den Beschichtungsprozessen als Werkzeuge eingesetzt, die einerseits das zu deponierende Material beispielsweise durch Zerstäubung freisetzen. Typische Verfahren sind hier Ionenstrahl-Zerstäubungsprozesse mit vielen Anwendungen in der Speichertechnologie oder der Optik und mehr noch Magnetronsputtertechniken, die eine enorme Anwendungsbreite von Beschichtungen für Architekturgläser, über die Veredelung von komplexen Kunststoffteilen und großflächigen Folien bis hin zur Herstellung hochwertiger optischer Funktionsschichten abdecken. Andererseits werden Plasmaquellen auch in vielen Prozesskonzepten zur Unterstützung des Schichtbildungsprozesses eingesetzt, um eine Qualitätssteigerung zu erreichen oder überhaupt eine Schichtbildung zu realisieren. Beispiele sind hier in der Präzisionsoptik und Brillenfertigung zu finden, die heutzutage überwiegend auf plasmagestützte Verfahren zurückgreifen, oder auch in den modernen Plasma-CVD-Prozessen, die in jüngster Vergangenheit eine große Vielfalt von Produktinnovationen ermöglicht haben. Obwohl eine Vielzahl von Plasmadepositionsverfahren in der industriellen Fertigung eingesetzt wird, fehlt es in vielen Fällen noch an grundlegenden Kenntnissen zu den Wechselwirkungen des Plasmas mit den Prozesskomponenten und insbesondere mit der wachsenden Schicht. Vielmehr wurden die verschiedensten Verfahren in der Vergangenheit eher auf empirischer Basis durch detaillierte Parametrisierung optimiert und so das Potenzial der Beschichtungstechniken bisher noch nicht vollständig ausgeschöpft. Das Symposium „Plasma Deposition von funktionellen Schichten“ soll hier einen Beitrag zu einer Vertiefung der Prozessgrundlagen leisten und insbesondere den Dialog der beteiligten Technologiebereiche unterstützen. Als nunmehr fünftes Symposium in dieser Tradition soll ein breites Anwendungsspektrum von Beschichtungen betrachtet und insbesondere auch wieder der Bezug zu der Plasmatechnologie gestärkt werden.

Übersicht der Hauptvorträge und Fachsitzungen

(Hörsaal V57.03)

Hauptvorträge

SYPD 1.2	Thu	10:40–11:20	V57.03	Fortschritte in den optischen Dünnschichttechnologien — ●NORBERT KAISER
SYPD 1.3	Thu	11:20–11:50	V57.03	Entwicklung neuer optischer Funktionsschichten durch hochionisierte Sputterprozesse — ●MICHAEL VERGÖHL, RALF BANDORF, STEFAN BRUNS, VOLKER SITTINGER, BERND SZYSZKA, OLIVER WERNER
SYPD 1.4	Thu	11:50–12:20	V57.03	Plasma unterstützte Prozesse zur Herstellung anspruchsvoller Interferenzfilter — ●HARRO HAGEDORN, WALTER LEHNERT, JÜRGEN PISTNER, HOLGER REUS, MICHAEL SCHERER, ALFONS ZÖLLER
SYPD 2.1	Thu	14:00–14:30	V57.03	Charakterisierung von Plasmaprozessen zur ionengestützten Abscheidung (PIAD) von optischen Schichten — ●JENS HARHAUSEN, RALF PETER BRINKMANN, RÜDIGER FOEST, ANDREAS OHL, BENJAMIN SCHRÖDER, HARTMUT STEFFEN

SYPD 2.2	Thu	14:30–15:00	V57.03	Prozessüberwachung und Kontrolle mit der Multipol-Resonanz-Sonde — ●RALF PETER BRINKMANN, MARTIN LAPKE, JENS OBERRATH, CHRISTIAN SCHULZ, ROBERT STORCH, TIM STYRNOLL, PETER AWAKOWICZ, THOMAS MUSSEN BROCK, THOMAS MUSCH, ILONA ROLFES, CHRISTIAN ZIETZ
SYPD 2.3	Thu	15:00–15:30	V57.03	Gepulste Hochleistungsplasmen zur Synthese nanostrukturierter Funktionsschichten (SFB TR 87) — ●PETER AWAKOWICZ
SYPD 2.4	Thu	15:30–16:00	V57.03	Phase stability of TiAlNO (SFB TR 87) — ●JOCHEN SCHNEIDER

Fachsitzungen

SYPD 1.1–1.5	Thu	10:30–12:40	V57.03	Optische Beschichtungsverfahren
SYPD 2.1–2.5	Thu	14:00–16:20	V57.03	Plasmatechnik und Anwendungen

SYPD 1: Optische Beschichtungsverfahren

Time: Thursday 10:30–12:40

Location: V57.03

SYPD 1.1 Thu 10:30 V57.03

Einführung in das Symposium — •DETLEV RISTAU — Laser Zentrum Hannover e.V.

Einleitung und Einstimmung in das Programm des Symposiums. Die Zielstellung des nunmehr fünften Symposiums zu dem Themenfeld "Plasma und Schichttechnologien" ist es, zu dem Dialog der beteiligten Technologiebereiche beizutragen und Innovationsmöglichkeiten für Erkenntnisse aus der laufenden Grundlagenforschung aufzuzeigen.

Invited Talk SYPD 1.2 Thu 10:40 V57.03
Fortschritte in den optischen Dünnschichttechnologien — •NORBERT KAISER — Fraunhofer IOF, Jena

Das Pilotprojekt PluTO schaffte durch die Zusammenführung von essentiellen Grundlagen aus der Plasmaphysik und der Modellbildung zu Schichtwachstumsprozessen enorme Synergieeffekte, die bereits in den ersten beiden Projektjahren zu folgenden innovativen Ansatzpunkten und essentiellen Ergebnissen geführt haben: **Die Emissionscharakteristiken von Ionenquellen für Sputterprozesse und ionengestützte Verfahren konnten parameterabhängig in ihrer räumlichen Verteilung aufgeklärt werden **Plasmasimulationen ermöglichten erstmals die theoretische Reproduktion der Ionen- und Neutralteilchen-Energieverteilung solcher Quellen. **In der Beschichtungstechnik bisher nicht etablierte Verfahren zum Plasmamonitoring bestanden Praxistests in industrienahen Anwendungsumgebungen und weisen auf ein hohes Potenzial für die weitere Stabilisierung von Beschichtungsprozessen hin. **Die neu entwickelte Multipol-Resonanzsonde ermöglicht erstmals das Plasmamonitoring während der laufenden Beschichtung, und bietet so völlig neue Ansätze für die Regelung von plasmabasierten Beschichtungsprozessen. **Die Kombination von Modellierung und Prozessanalytik hat einen Schub für die weitere Optimierung optischer Schichten durch gezielt angepasste Prozessführung generiert. **Für APS- und IBS-Prozesse konnten die zentralen Prozessparameter sowie die am Prozess beteiligten Spezies im Detail analysiert werden.

Invited Talk SYPD 1.3 Thu 11:20 V57.03
Entwicklung neuer optischer Funktionsschichten durch hochionisierte Sputterprozesse — •MICHAEL VERGÖHL, RALF BANDORF, STEFAN BRUNS, VOLKER SITTINGER, BERND SZYSZKA und OLIVER WERNER — Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik, Braunschweig

Magnetron-Sputterprozesse werden heute für die industrielle Herstellung vieler optischer Beschichtungen eingesetzt. Im Gegensatz zu herkömmlichen Sputterverfahren können in hochionisierten HiPIMS Prozessen (High Power Impulse Magnetron Sputtering) Ionisierungsgrade von über 100% auch für die jeweiligen Ionen des Sputtermaterials erreicht werden. Daraus ergeben sich eine Vielzahl von neuen Möglichkeiten, Schichtfunktionen zu verbessern bzw. neue Eigenschaften zu realisieren. Beispiele sind das Rutil-Titandioxid oder temper- sowie umformbare ITO-Schichten. Der Prozessführung kommt gerade für die Abscheidung isolierender Schichten wie Oxide oder Nitride eine besondere Rolle zu, da mit der Pulsleistung auch die Tendenz zu Bogenentladungen zunimmt. Überlagerte Sputterprozesse steigern die Stabilität des Beschichtungsprozesses erheblich. Im Rahmen des Vortrages wird eine Übersicht über optische und funktionelle Schichteigenschaften ver-

schiedener Materialien gegeben.

Invited Talk SYPD 1.4 Thu 11:50 V57.03
Plasma unterstützte Prozesse zur Herstellung anspruchsvoller Interferenzfilter — •HARRO HAGEDORN, WALTER LEHNERT, JÜRGEN PISTNER, HOLGER REUS, MICHAEL SCHERER und ALFONS ZÖLLER — Siemensstrasse 88, 63755 Alzenau

Plasma unterstütztes reaktives Magnetronspütern (PARMS) ermöglicht die Herstellung von verlustarmen Interferenzschichten über einen breiten Spektralbereich vom VUV bis ins NIR durch den Einsatz verschiedener Oxide als Beschichtungsmaterialien. Unterschiedliche Kathodendesigns erlauben es je nach Substratgröße und Anwendungsfall optimale Beschichtungsvoraussetzungen zu schaffen. Herausforderungen sind hohe Schichtdickengleichmäßigkeit über Substratgrößen bis zu 200mm, niedrige Defektdichten und geringer Schichtstress über die gesamte Lebensdauer des Targets. Mit Hilfe des direkten Monitorings kann auf dem zu beschichtenden Substrat die optische Dicke der wachsenden Filme sehr präzise bei Wellenlängen zwischen 200 und 1700nm kontrolliert werden. Damit können auch sehr komplizierte Schichtsysteme präzise abgeschieden werden. Plasma Ionen unterstütztes Aufdampfen (PIAD) ermöglicht, bei gleicher optischer Prozesskontrolle, die Herstellung von Interferenzfiltern in Aufdampfanlagen mit größeren Beschichtungsflächen. Zum Einsatz kommen je nach Anwendungsfall und Anlagengröße verschiedene Plasmaquellen (APS, LION), die in Verbindung mit oxidischen Beschichtungsmaterialien ähnlich gute Schichteigenschaften wie beim Sputtern erzeugen. Ausgewählte Beispiele von Interferenzfiltern, die mit den unterschiedlichen Techniken abgeschieden wurden, werden vorgestellt.

SYPD 1.5 Thu 12:20 V57.03

Photokatalytisch wirksame dünne Schichten mit hoher optischer Qualität hergestellt mit ionengestützten Verfahren — •REDOUAN BOUGHALED¹, HENRIK EHLERS¹, DETLEV RISTAU¹ und MICHAEL WARK² — ¹Laser Zentrum Hannover, Hollerithallee 8, 30419, Hannover, Germany — ²Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum, Germany

Die Herstellung von selbstreinigenden optischen Oberflächen steht gegenwärtig im Fokus von Forschung und Industrie. Ziel der vorgestellten Forschungsarbeiten ist es, in transparenten multifunktionellen Schichten eine stark ausgeprägte photokatalytische Aktivität mit einer hohen optischen Qualität zu kombinieren. Der Schwerpunkt liegt auf der Verwendung von PVD-Verfahren (Physical Vapor Deposition) zur Herstellung dünner Schichten und umfasst sowohl die ionenstrahlgestützte Deposition (Ion Assisted Deposition, IAD) als auch konventionelle thermische Verdampfungsmethoden. Zu diesem Zweck wurden die Plasmaquelle Leybold APSpro sowie die Ionenquelle Denton CC-105 eingesetzt. Es erfolgte eine Optimierung der Betriebsparameter, die wesentlich für die Herstellung von transparenten photokatalytischen Titandioxidschichten sind. Es wurde ein Vergleich der photonischen Effizienz der TiO₂-Beschichtungen mittels Methylenblauabbau durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass TiO₂-Schichten aus dem CC-105 IAD-Prozess die größte Photoaktivität aufweisen und zudem ein superhydrophiler Effekt messbar ist. Weiterhin werden Ergebnisse bezüglich der Mikrostruktur von dünnen Anatas- und Rutilsschichten präsentiert

SYPD 2: Plasmatechnik und Anwendungen

Time: Thursday 14:00–16:20

Location: V57.03

Invited Talk SYPD 2.1 Thu 14:00 V57.03
Charakterisierung von Plasmaprozessen zur ionengestützten Abscheidung (PIAD) von optischen Schichten — •JENS HARHAUSEN¹, RALF PETER BRINKMANN², RÜDIGER FOEST¹, ANDREAS OHL¹, BENJAMIN SCHRÖDER² und HARTMUT STEFFEN¹ — ¹INP Greifswald e.V. — ²Ruhr-Universität Bochum

Ein in der Optikindustrie verbreitetes System zur PIAD ist die Advanced Plasma Source (APS) der Leybold Optics GmbH. Dabei handelt es sich um eine Glüh-Kathoden DC-Entladung (Entladungsleistung $P_D \sim 5 \text{ kW}$) in einer halboffenen Anordnung, welche ein stark

inhomogenes Plasma im Rezipienten erzeugt (Druck $p \sim 2 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$, Ionenenergie $E_i = 50..150 \text{ eV}$, Elektronendichte $n_e = 10^9..10^{11} \text{ cm}^{-3}$). In diesem Beitrag werden Untersuchungen betr. das Funktionsprinzip zur Erzeugung des Plasma-Ionenstrahls und dessen zeitl. Stabilisierung vorgestellt. Einerseits werden exp. Daten zur Elektronen- und Ionenkinetik im Expansionsbereich diskutiert. Andererseits wird auf den Stand der Modellierung der Quellregion und der Strahlausbreitung im Rezipienten eingegangen. Die wesentlichen Mechanismen, die die Strahlausprägung (Teilchenenergie und räuml. Verteilung) beeinflussen, sind die Topologie des Plasmapotentials und die Strahldämpfung

aufgrund von Ladungsaustausch-Stößen mit dem Hintergrundgas. Aus den gewonnenen Kenntnissen wurden neue Steuer-Algorithmen abgeleitet, welche eine präzisere Deposition von opt. Schichten ermöglichen. Als Beispiele dienen Studien zur Reproduzierbarkeit der opt. Dicke und der Schichtspannung von TiO₂-Schichten. Gefördert durch das BMBF (Fkz. 13N10462).

Invited Talk SYPD 2.2 Thu 14:30 V57.03
Prozessüberwachung und Kontrolle mit der Multipol-Resonanz-Sonde — ●RALF PETER BRINKMANN, MARTIN LAPKE, JENS OBERRATH, CHRISTIAN SCHULZ, ROBERT STORCH, TIM STYRNOLL, PETER AWAKOWICZ, THOMAS MUSSENBRÖCK, THOMAS MUSCH, ILONA ROLFES und CHRISTIAN ZIETZ — Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Die bei der ionengestützten Abscheidung dünner optischer und anderer funktionaler Schichten erreichbare Prozessqualität hängt im starken Maße von der Stabilität der eingesetzten Plasmaquelle ab. Die Überwachung und ggf. Regelung solcher Quellen ist daher von besonderer technischer Bedeutung. Im Rahmen des BMBF-Projekts "Plasma und Optische Technologien" (PluTO) wird die Multipol-Resonanz-Sonde (multipole resonance probe, MRP) als eine industrietaugliche und kostengünstige Methode zur Bestimmung von Plasmaparametern untersucht. Dieser Vortrag berichtet über die Entwicklung und Optimierung eines Demonstrators und dessen erfolgreiche experimentelle Charakterisierung in verschiedenen technischen Plasmen. Zwei mögliche Pfade zur Weiterentwicklung der MRP werden vorgestellt, zum einen die in Richtung eines ortsauflösenden Plasma-Diagnostiksystems, zum zweiten die in Richtung eines in-situ Prozessmonitors.

Invited Talk SYPD 2.3 Thu 15:00 V57.03
Gepulste Hochleistungsplasmen zur Synthese nanostrukturierter Funktionsschichten (SFB TR 87) — ●PETER AWAKOWICZ — Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum

Der SFB TR 87 wird seit Juli 2010 durch die DFG gefördert. In diesem plasmatechnisch ausgerichteten SFB-Transregio arbeiten verschiedene Gruppen der Universitäten Bochum und Aachen aus den Bereichen Plasmatechnik und Plasmaphysik, Werkstoff- und Oberflächentechnik, Materialwissenschaften und Grenzflächenchemie (Uni Paderborn) eng zusammen. Das Ziel des SFB TR 87 ist es, Schichtsysteme mit einzigartigen tribologischen Eigenschaften auf Metallsubstraten sowie Barrierschichten auf Kunststoffsubstraten zu erforschen. Dazu wird neueste, teilweise selbstentwickelte Quellentechnologie zum Einsatz gebracht und mit einem sehr breiten Spektrum an quantitativen, ebenfalls teils neu entwickelten Plasmadiagnostiken, unterstützt durch Modellbildung und einmahlige Einzelteilchenexperimente, charakterisiert. Im SFB TR 87 sollen die Zusammenhänge zwischen den Werkstoffeigenschaften und den Plasmaparametern erforscht und zur Plasmakontrolle, Schichtentwicklung und in-situ Schichtkontrolle eingesetzt werden. Damit wird das empirische Vorgehen bei der Abscheidung dünner Funktionschichten überwunden und die grundlegenden Mechanismen auf dem Syntheseweg in Hochleistungsplasmen erforscht und theoretisch wie auch experimentell beschrieben.

Invited Talk SYPD 2.4 Thu 15:30 V57.03
Phase stability of TiAlNO (SFB TR 87) — ●JOCHEN SCHNEIDER — Lehrstuhl für Werkstoffchemie, RWTH Aachen

Sarakinos et al. has recently highlighted the importance of defects for the phase formation in high power pulsed sputtered HfNO thin films. [1] Using ab initio calculations, the role of defects in TiAlN as well as oxygen incorporation in TiAlN were studied. Vacancies, substitutions, interstitials and combinations thereof in different configurations have been investigated in terms of crystal energies, enthalpies of formation and bulk moduli. The energy of mixing of TiAlN and hypothetical isostructural TiAlO is negative which may imply the possibility to form TiAlNO in NaCl structure. The influence on enthalpy of formation of metal vacancies is calculated as well as on enthalpy of formation of interstitial oxygen. It is shown that oxygen on the nitrogen sublattice leads to spontaneous incorporation of interstitial oxygen. Possible reasons are discussed. Thin films of TiAlNO are prepared using high power pulsed magnetron sputtering of a TiAl target in mixed nitrogen and oxygen atmosphere. It is shown that a high oxygen flux leads to the formation of amorphous films. The influence of temperature on structure, and elastic properties is determined. Furthermore, thermal stability and thermogravimetric data are presented. [1] K. Sarakinos, D. Music, S. Mráz, M. to Baben, K. Jiang, F. Nahif, A. Braun, C. Zilkens, S. Konstantinidis, F. Renaux, D. Cossement, F. Munnik, and J.M. Schneider: On the phase formation of sputtered hafnium oxide and oxynitride films, Journal of Applied Physics 108 (1) (2010) 014909-1.

SYPD 2.5 Thu 16:00 V57.03
Barrierebeschichtung von PET mit mikrowellenangeregten Niederdruckplasmen mit Substratbias — ●SIMON STEVES, MICHAEL DEILMANN, NIKITA BIBINOV und PETER AWAKOWICZ — Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik (AEPT), Ruhr-Universität Bochum

Die Verwendung von Kunststoffen wie PET als Verpackungsmaterialien erfordert die Entwicklung geeigneter transparenter Permeationsbarrieren für Gase, wie Sauerstoff und Kohlendioxid. Am Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik werden mikrowellenangeregte Niederdruckplasmen mit Substratbias für die Barrierebeschichtung untersucht.

Als Permeationsbarriere wird dazu Siliziumoxid mit gepulsten Hexamethyldisiloxan:Sauerstoff-Plasmen auf PET abgeschieden. Mit Hilfe eines Substratbias wird der Einfluss der Ionenenergie auf die Eigenschaften des Beschichtungsprozesses untersucht. Die Zusammensetzung der abgeschiedenen Schichten beeinflusst die Barrierewirkung. Während organische Schichten zu keiner angemessenen Barriereverbesserung beitragen, ermöglichen anorganische SiO_x-Schichten hohe Barrierewirkungen. Gezeigt werden Untersuchungen zur Schichtzusammensetzung (XPS) und zur Visualisierung von Schichtdefekten, die für den Restpermeationsfluss verantwortlich sind.

Das Projekt wird von AURION Anlagentechnik GmbH, der Ruhr University Bochum Research School und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB-TR 87 gefördert.