

Symposium Plasmadeposition von optischen und mechanischen Funktionsschichten (SYPD)

gemeinsam veranstaltet
vom Fachverband Kurzzeitphysik der DPG (K) 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

Plasmaverfahren gehören zu den Schlüsseltechnologien für die Vergütung und Behandlung von funktionalen Oberflächen. Dies trifft im besonderen Maße auf die Herstellung optischer Dünnschichtsysteme zu, die mittlerweile nicht ohne den Einsatz von Plasmen sowohl zur Vorbehandlung des Beschichtungsguts als auch in den Beschichtungsprozessen selbst auskommt. Plasmen sind hier ein gestaltendes Element, das die optischen und auch anderen Eigenschaften der Schichten grundlegend verbessern kann. So kann beispielsweise die Packungsdichte optischer Schichten in plasmagestützten Prozessen erheblich bis nahezu auf den Wert des entsprechenden Festkörpermateriale gesteigert und so eine erhebliche Erhöhung der Schichtstabilität erreicht werden. Bei den Zerstäubungsprozessen spielen Plasmen und Plasmastrahlen eine zentrale Rolle bei der kontrollierten Freisetzung des Beschichtungsmaterials in einem Energieregime, das besonders günstig ist für die Bildung von qualitativ hochwertigen optischen Schichten. Trotz dieser enormen Vorteile wurde bisher die Wirkung von Plasmen in den modernen Beschichtungsprozessen lediglich auf empirischer Basis erkundet, eine grundlegende Erforschung der Wechselwirkungen des Plasmas mit der wachsenden Schicht ist bisher jedoch ausgeblieben. Für die zukünftige Entwicklung der Beschichtungsprozesse und die Herstellung der zunehmend geforderten anspruchsvollen optischen Schichtsysteme ist dieses Defizit dringend zu beheben. Die Zielstellung des nunmehr vierten Symposiums zu dem Themenfeld ist es, hierzu mit einem Dialog der beteiligten Technologiebereiche beizutragen. Als Plattform bietet sich dabei insbesondere auch das Vorhaben „Plasma und Optische Technologien“ (PluTO) an, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung seit Mitte des Jahres 2009 gefördert wird. Dementsprechend wird überwiegend aus diesem Konsortium zu aktuellen Problemen in der optischen Beschichtungstechnik und Plasmaphysik Stellung genommen.

Übersicht der Hauptvorträge und Fachsitzungen

(Hörsaal HS G)

Hauptvorträge

SYPD 1.2	Di	10:40–11:10	HS G	Plasmagestützte Prozesse für die Optik — ●HENRIK EHLERS
SYPD 1.3	Di	11:10–11:40	HS G	Plasma und Optische Technologien (PluTO) — ●NORBERT KAISER
SYPD 1.4	Di	11:40–12:10	HS G	Untersuchungen zur APS - Plasmaexpansion und Konsequenzen für die Prozessführung — ●JENS HARHAUSEN, RÜDIGER FOEST, ANDREAS OHL, HARTMUT STEFFEN
SYPD 2.1	Di	13:30–14:00	HS G	Die Multipole-Resonanz-Sonde: Charakterisierung eines Prototyps — ●RALF PETER BRINKMANN, UND DAS MRP TEAM
SYPD 2.2	Di	14:00–14:30	HS G	Charakterisierung der ionenunterstützten Abscheidung von TiO₂-Filmen in einer APS-Plasmaquelle — ●PETER AWAKOWICZ, NIKITA BIBINOV, TIM STYRNOLL, CARSTEN SCHMITZ, DETLEV RISTAU
SYPD 2.3	Di	14:30–15:00	HS G	Plasmasonden in IBS-Prozessen — ●CARSTEN SCHMITZ
SYPD 2.4	Di	15:00–15:30	HS G	Struktur-Eigenschaftsbeziehung bei PIAD-Schichten — ●OLAF STENZEL
SYPD 2.5	Di	15:30–16:00	HS G	Struktur und elektronische Eigenschaften amorpher TiO_{2±x} und Al₂O₃ Schichten, sowie des amorphen TiO₂-SiO₂-Interfaces — ●THOMAS KÖHLER, GRYGORIY DOLGONOS, MICHAEL BOGUCKI, THOMAS FRAUENHEIM

Fachsitzungen

SYPD 1.1–1.5	Di	10:30–12:25	HS G	Plasma und optische Funktionsschichten I
SYPD 2.1–2.5	Di	13:30–16:00	HS G	Plasma und optische Funktionsschichten II

SYPD 1: Plasma und optische Funktionsschichten I

Zeit: Dienstag 10:30–12:25

Raum: HS G

SYPD 1.1 Di 10:30 HS G

Einführung in das Symposium — •DETLEV RISTAU — Laser Zentrum Hannover

Der Erfolg der Optischen Technologien wird entscheidend von der Qualität und Funktionalität der optischen Komponenten, speziell deren Oberflächen, geprägt. Hier haben sich Prozessplasmen als unverzichtbar bei der Herstellung funktionaler Oberflächen erwiesen. Selbst in einfachster Form, der direkten Plasmabehandlung der Oberfläche, können über viele andere Techniken hinaus nicht nur neue Eigenschaftsprofile durch Strukturierungsverfahren, sondern auch Angleichungen in der Passivierung der Oberfläche im Sub-Nanometer-Maßstab realisiert werden. Unübertroffen ist die Nutzungsvielfalt des Plasmas bei der Herstellung von Schichten, die von einer Unterstützung des Schichtwachstums in plasmagestützten Bedampfungsprozessen, über eine direkte Wechselwirkung in Plasma-CVD-Prozessen bis hin zu Sputterprozessen reicht, bei denen die Freisetzung des Beschichtungsmaterials durch Plasmabeaufschlagung eines Targets ausgeführt wird. Die Plasmatechnik steht deshalb mit ihrer Fülle von Gestaltungsmöglichkeiten an vorderster Front der Forschung an optischen Oberflächen.

Hauptvortrag

SYPD 1.2 Di 10:40 HS G

Plasmagestützte Prozesse für die Optik — •HENRIK EHLERS — Laser Zentrum Hannover

Mit dem Vordringen der Optischen Technologien ergeben sich im Bereich der optischen Funktionsschichten neue Herausforderungen, die insbesondere die Präzision und Stabilität hochkomplexer Schichtsysteme betreffen. Hierbei wird zunehmend auf plasma- und ionengestützte Prozesskonzepte gesetzt, deren Bedeutung und Verbreitung in der Präzisionsoptikfertigung in den letzten Jahren deutlich angestiegen ist. Neben Fortschritten auf den Gebieten der Prozesskomponenten und -führung kommt angepassten in-situ-Messmethoden ein hoher Stellenwert zu. Von zentraler Bedeutung ist in diesem Zusammenhang eine äußerst genaue Schichtdickenbestimmung auf der Basis eines direkten, optisch breitbandigen Monitors.

Aktuelle Entwicklungen ermöglichen es nicht nur die Schichtdicken, sondern auch die optischen Eigenschaften, beispielsweise den Brechungsindex, gezielt einzustellen. Dieser Freiheitsgrad konnte durch den Einsatz einer neuen Materialklasse erschlossen werden: Mischmaterialien mit einem variablem Mischungsverhältnis. Darüber hinaus rücken zusätzliche Anordnungen, wie z.B. Multifunktionalität oder Miniaturisierung, in den Fokus der Forschungsarbeiten.

Hauptvortrag

SYPD 1.3 Di 11:10 HS G

Plasma und Optische Technologien (PluTO) — •NORBERT KAISER — Fraunhofer IOF, Jena

Die Zielstellung des PluTO-Projekts ist es, die Dünnschicht- und Plasmatechnologien zusammenzuführen. Dementsprechend setzt sich das Konsortium sowohl aus Experten der optischen Beschichtungstechnologie (Laserzentrum Hannover, Fraunhofer IOF) als auch der Plasmatechnik (INP Greifswald, Ruhr-Universität Bochum RUB) zusammen. Die verfügbaren Prozessplasmen, speziell die Randschichten, sollen mithilfe spezieller Sonden eingehend qualifiziert werden, so dass die Art, die Anzahl und die Energie der an den Schichtbildungsprozessen beteiligten Teilchen erstmals eingehend und umfassend bestimmt werden können. Die somit gewonnenen Daten werden die Grundlage einer numerischen Modellierung des Schichtwachstums auf atomarer Skala (Bremen Center of Computational Material Sciences) bilden. Im

Ergebnis soll ein vertieftes Verständnis für die physikalischen Mechanismen gewonnen werden, die für den Einfluss der Plasmaeinwirkung auf die Schichteigenschaften verantwortlich sind. Gleichzeitig werden geeignete Monitorierungswerkzeuge zur Prozessüberwachung identifiziert und bereitgestellt. Erste Ergebnisse belegen bereits zum jetzigen Zeitpunkt die Tragfähigkeit des Ansatzes.

Hauptvortrag

SYPD 1.4 Di 11:40 HS G

Untersuchungen zur APS - Plasmaexpansion und Konsequenzen für die Prozessführung — •JENS HARHAUSEN, RÜDIGER FOEST, ANDREAS OHL und HARTMUT STEFFEN — Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V., Greifswald

Mit der Advanced Plasma Source (APS) von Leybold Optics ausgestattete Bedampfungsanlagen sind etablierte technische Systeme der plasmagestützten Deposition optischer Schichten. Die APS ist eine Glühkathoden DC-Entladung, deren Impedanz über ein variables Magnetfeld geregelt wird. Die halboffene zylindrische Anordnung weist einen Druckgradienten zwischen der Quelle und dem Rezipienten auf, der über einen Expansionmechanismus eine schnelle Ionenkomponente erzeugt. Es ist von besonderem Interesse, die Strahlentstehung nachzuvollziehen, da diese die Übersetzung von den Stellgrößen der APS auf die Substratebene bewerkstelligt. Ziel ist die Optimierung des Verfahrens im Hinblick auf mechanische und optische Kenngrößen der Schichten sowie die Reproduzierbarkeit. Ergebnisse zur räumlichen Verteilung der Parameter der Elektronen- und Ionenkomponente, basierend auf Messungen mittels Langmuir-Sonde und Gegenfeldanalysator, werden vorgestellt. Die beobachteten Profile werden im Rahmen von Modellansätzen aus der Literatur für expandierende Plasmen diskutiert. Daneben werden mögliche Konsequenzen der Prozesssteuerung auf die Plasmaexpansion, z.B. einer Variation der Substrattemperatur, erläutert. Gefördert durch das BMBF (Fkz. 13N10462).

SYPD 1.5 Di 12:10 HS G

Construction and characterization of microplasma jet for thin film deposition on inner surface of tubes. — •RAMASAMY POTHIRAJA, NIKITA BIBINOV, and PETER AWAKOWICZ — Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology, Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum, Germany.

Microplasma jet for the generation of pulsed corona discharge at atmospheric pressure has been devised in order to modify inner surface properties of tubes. Long filament of plasma is generated inside the quartz tube along with precursor, in a way that precursor molecules decompose to produce active particles for polymerization at the close vicinity of tube surface. By this way, uniform film has been deposited for about 100 mm length of the tube. For the optimization of deposition condition, plasma and precursor-dissociation parameters including reduced electric field, electron density and its energy distribution, rate constant for the different reactions and quantities of precursor molecules dissociated at different places along the axis the tube, are determined using optical emission spectroscopy, micro-photography, current-voltage measurement and numerical simulations. The influence quantity of precursors on the mode of corona discharge and its plasma parameters has also been studied. Precursor dissociation and film deposition process has been modeled with the aid of experimentally obtained information. Simulated results has been correlated with nature of the deposited film, which has been characterized using FTIR-ATR, LSM, SEM, EDX, XPS, XRD, etc. Reference: R. Pothiraja, N. Bibinov and P. Awakowicz 2010 J. Phys. D: Appl. Phys. 43 495201

SYPD 2: Plasma und optische Funktionsschichten II

Zeit: Dienstag 13:30–16:00

Raum: HS G

Hauptvortrag

SYPD 2.1 Di 13:30 HS G

Die Multipole-Resonanz-Sonde: Charakterisierung eines Prototyps — •RALF PETER BRINKMANN und DAS MRP TEAM — Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Im Rahmen des BMBF-Projektes PluTO wird die Multipol-Resonanz-Sonde (MRP) als eine industrietaugliche und kostengünstige Metho-

de zur Bestimmung von Plasmaparametern untersucht. Dieser Vortrag berichtet über die experimentelle Charakterisierung eines ersten MRP-Prototyps in einem induktiv gekoppelten Argon/Stickstoff-Plasma bei 10 Pa. Das Verhalten der Sonde folgt der Voraussagen sowohl eines analytischen Modells als auch einer numerischen Simulation. Die durch die Sonde bestimmten Elektronendichten sind in exzellenter Übereinstimmung mit den Ergebnissen parallel durchgeführter Langmuirsonden-

Messungen.

Hauptvortrag SYPD 2.2 Di 14:00 HS G
Charakterisierung der ionenunterstützten Abscheidung von TiO₂-Filmen in einer APS-Plasmaquelle — •PETER AWAKOWICZ¹, NIKITA BIBINOV¹, TIM STYRNOLL¹, CARSTEN SCHMITZ² und DETLEV RISTAU² — ¹Ruhr-Universität, Bochum — ²Laser Zentrum Hannover

Die ionenunterstützte Abscheidung (IAD-Prozess) ist eine physikalische Gasphasenabscheidung, die für die Herstellung dünner Schichten eingesetzt wird. Obwohl dieses Verfahren oft zur Abscheidung von optischen Schichten verwendet wird, ist die Optimierung der Prozesse bisher weitgehend durch empirische Ansätze bestimmt und daher in vielen Bereichen noch nicht abgeschlossen. Sowohl zur Verbesserung der Qualität der abgeschiedenen Filme als auch zur Verbesserung der Stabilität des Abscheidungsprozesses ist ein detailliertes Verständnis der physikalischen und chemischen Wechselwirkungsmechanismen notwendig. Das APS-Plasma (Advanced Plasma Source) wird mittels optische Emissionsspektroskopie (OES) und Langmuir-Sonde räumlich aufgelöst charakterisiert. Dazu wird Stickstoff als Diagnostikgas beigemischt. Die Gastemperatur, die Elektronentemperatur und die Elektronendichte werden emissionsspektroskopisch mit Banden des molekularen Stickstoffs bestimmt. Die Ionenenergie auf der Substratoberfläche wird mit einem Gegenfeldanalysator bestimmt. Die quasistationäre Dichte der Ti-Atome wird mit Hilfe von atomaren Linien im Emissionsspektrum unter Verwendung der Plasmaparameter ermittelt. Die Wachstumsrate der abgeschiedenen Filme wird über optische Verfahren bestimmt.

Hauptvortrag SYPD 2.3 Di 14:30 HS G
Plasmasonden in IBS-Prozessen — •CARSTEN SCHMITZ — Laser Zentrum Hannover e.V.

Ein weit verbreitetes, ionenbasiertes Beschichtungsverfahren für hochwertige Optiken ist das Ion Beam Sputtering (IBS). Obwohl es sich um einen äußerst stabilen Prozess handelt, ist das eigentliche Verständnis der grundlegenden Mechanismen noch relativ gering. Deshalb soll durch Erweiterungen der Prozesskontrolle mit ausgewählten Plasmasonden der Mangel an physikalischem Hintergrundwissen reduziert werden. Dazu wird mittels optischer Emissionsspektroskopie (OES)

der Reaktivprozess auf der Targetoberfläche verfolgt sowie mit einer Langmuirsonde und einem Gegenfeldanalysator (GFA) der abgestäubte Materialstrom analysiert.

Hauptvortrag SYPD 2.4 Di 15:00 HS G
Struktur-Eigenschaftsbeziehung bei PIAD-Schichten — •OLAF STENZEL — Fraunhofer IOF, Albert-Einstein-Str.7, 07745 Jena

Der Beitrag zeigt ausgewählte Ergebnisse zur Struktur-Eigenschaftsrelation von Dünnschichtproben, die mit plasmationengestützter Elektronenstrahlverdampfung (PIAD) mithilfe der APS-Quelle präpariert worden sind. Im Zentrum des Beitrags stehen die Materialien TiO₂ und Al₂O₃. Zu Vergleichszwecken werden auch flankierende Untersuchungen an anderen oxidischen Schichtmaterialien herangezogen. Aufgezeigt werden Korrelationen zwischen den Ergebnissen von Strukturuntersuchungen mittels Röntgenreflektometrie und hochaufgelöster Elektronenmikroskopie, sowie optischen und mechanischen Schichteigenschaften (Brechzahl, Extinktionskoeffizient, Bandlücke, Shift, und mechanische Spannung).

Hauptvortrag SYPD 2.5 Di 15:30 HS G
Struktur und elektronische Eigenschaften amorpher TiO_{2±x} und Al₂O₃ Schichten, sowie des amorphen TiO₂-SiO₂-Interfaces — •THOMAS KÖHLER, GRIGORY DOLGONOS, MICHAEL BOGUCKI und THOMAS FRAUENHEIM — BCCMS, Universität Bremen, 28359 Bremen, Am Fallturm 1

Atomistische Modelle von amorphen TiO_{2±x}-Modifikationen nahezu kristalliner Dichte werden mittels Dichtefunktional-basierter molekulardynamischen Simulationen erzeugt und die Auswirkungen von lokalem Sauerstoffüberschuss, bzw. -mangel auf die räumliche Struktur und elektronischen Eigenschaften werden diskutiert.

Desweiteren werden Simulationen zum amorphen TiO₂-SiO₂-Interface vorgestellt, die die chemische Wechselwirkung zwischen der Schicht und dem Substrat abbilden, die zu Inhomogenitäten, Defekten und Dichtegradienten führt.

Letztendlich werden erste Modelle zum amorphen Aluminiumoxid Al₂O₃ bezüglich Ihrer Nahordnung und elektronischen Eigenschaften diskutiert und mit experimentellen Daten verglichen.