

Symposium Plasma und Optische Technologien (SYOT)

gemeinsam veranstaltet
vom Fachverband Kurzzeitphysik (K) und
vom Fachverband Plasmaphysik (P)

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

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

An optische Komponenten für die moderne Photonik werden heutzutage stetig steigende Anforderungen hinsichtlich der optischen Qualität, der Komplexität und auch der Leistungsverträglichkeit gestellt. Für die Beschichtung solcher Komponenten ist mittlerweile Plasma ein unverzichtbarer Bestandteil geworden, der in vielen Produktionsschritten zum Einsatz kommt. Beispielsweise werden direkte plasmagestützte Verfahren bei der Vorbehandlung von optischen Oberflächen und Schichtsystemen verwendet, oder auch Plasmen zur Funktionalisierung, Strukturierung und Qualitätsverbesserung optischer Funktionsflächen genutzt. So kann die Packungsdichte optischer Schichten in plasmagestützten Prozessen erheblich bis nahezu auf den Wert des entsprechenden Festkörpermateriale gesteigert und mithin eine erhebliche Erhöhung der Schichtstabilität bei gleichzeitiger Qualitätsverbesserung erreicht werden. Insbesondere bei den Zerstäubungsprozessen zur Herstellung von Schichtsystemen spielen Plasmen und Plasmastrahlen eine zentrale Rolle in der kontrollierten Freisetzung des Beschichtungsmaterials in einem Energieregime, das besonders günstig ist für die Bildung von qualitativ hochwertigen Schichten. Vor diesem Hintergrund ist die Forschung auf dem Gebiet der Plasmen in der optischen Dünnschichttechnologie in den letzten Jahren mehr und mehr in den Mittelpunkt der Forschung gerückt und hat insbesondere im Rahmen des BMBF-Vorhabens „Plasma und Optische Technologien“, PluTO, Wissenschaftler aus den entsprechenden Fachdisziplinen zusammengeführt. Die in diesem Forscherverbund errungenen grundlegenden Resultate zeigen die enormen Vorteile plasmabasierter Prozesse in Optikfertigung auf und eröffnen neue Wege für die Entwicklung fortschrittlicher hochstabiler Beschichtungsverfahren. Auf dieser Grundlage wurde kürzlich in Nachfolge des Forschervorhabens der industrielle Verbund PluTOplus vom VDI-Technologiezentrum als Projektträger des BMBF initiiert, der die erlangten Forschungsergebnisse in die industrielle Fertigung umsetzen soll.

Zielstellung des nunmehr achten Symposiums zu dem Themenfeld ist es, den Dialog der beteiligten Technologiebereiche weiter zu intensivieren. Als Plattform bietet sich dabei einerseits das Vorhaben PluTOplus mit den jüngsten im Verbund erzielten Forschungsergebnissen an. Andererseits sollen auch Beiträge aus anderen Bereichen der Grundlagenforschung zum Tragen kommen, die wichtige Impulse in die gegenwärtigen Entwicklungsarbeiten eintragen können.

Übersicht der Hauptvorträge und Fachsitzungen

(Hörsaal HZO 80)

Hauptvorträge

SYOT 1.1	Di	10:40–11:20	HZO 80	Schichtsysteme für komplexe Anforderungen — ●HANS BECKER
SYOT 1.2	Di	11:20–12:00	HZO 80	Surface Reactivity of Sputtered Complex Metal Nitride Films in Oxygen Containing Environments - The Surface Near Region of TiAlN(O) Coatings — ●GUIDO GRUNDMEIER, CHRISTIAN KUNZE, MARTIN WIESING
SYOT 1.3	Di	12:00–12:40	HZO 80	Pluto Plus: Erhöhung der Qualität und Ausbeute optischer Beschichtungstechnologien — ●HARRO HAGEDORN
SYOT 2.1	Di	14:00–14:30	HZO 80	Charakterisierung des PIAD-Plasmas - aktueller Stand und neue Ansätze — ●JENS HARHAUSEN, DETLEF LOFFHAGEN, RÜDIGER FOEST
SYOT 2.2	Di	14:30–15:00	HZO 80	Untersuchungen an plasma-ionengestützt abgeschiedenen UV-Schichten auf Aluminiumoxidbasis — ●CHRISTIAN FRANKE, OLAF STENZEL, STEFFEN WILBRANDT, NORBERT KAISER, ANDREAS TÜNNERMANN

SYOT 2.3	Di	15:00–15:30	HZO 80	Deposition von SiO_x-Barrierschichten aus gepulsten Mikrowellenplasmen: Korrelation von Plasmadiagnostik und Schichtanalytik — ●PETER AWAKOWICZ, FELIX MITSCHKER, SIMON STEVES, NIKITA BIBINOV, BERKEM OZKAYA, GUIDO GRUNDMEYER
SYOT 2.4	Di	15:30–16:00	HZO 80	Ansätze für einen adaptiven Ionenstrahl-Zerstäubungs-Prozess (IBS) — ●FLORIAN CARSTENS
SYOT 2.5	Di	16:30–17:00	HZO 80	Prozessüberwachung und Prozessregelung auf Basis der Multipolresonanzsonde — ●RALF PETER BRINKMANN
SYOT 2.6	Di	17:00–17:30	HZO 80	Computational approach to the design of amorphous metal oxide coatings for optical applications — THOMAS FRAUENHEIM, ●THOMAS KÖHLER, DETLEV RISTAU, HENRIK EHLERS, MARCUS TUROWSKI, MARC LANDMANN, EVA RAULS

Fachsitzungen

SYOT 1.1–1.3	Di	10:30–12:40	HZO 80	Plasma und Optische Technologien I
SYOT 2.1–2.6	Di	14:00–17:30	HZO 80	Plasma und Optische Technologien II

SYOT 1: Plasma und Optische Technologien I

Zeit: Dienstag 10:30–12:40

Raum: HZO 80

Einführung in das Symposium

Hauptvortrag SYOT 1.1 Di 10:40 HZO 80
Schichtsysteme für komplexe Anforderungen — ●HANS BECKER
 — Carl Zeiss Jena GmbH, Standort Oberkochen

Binäre dielektrische Wechselschicht-Systeme aus zwei hoch- und niederbrechenden Materialien können ein weites Spektrum von Anforderungen erfüllen. Praktisch können damit alle spektralen Anforderungen für senkrechten Einfall des Lichts aus der Luft realisiert werden.

Viele Anwendungen erfordern aber schrägen Einfall des Lichts. Dabei treten Polarisierungseffekte auf, da sich die effektiven optischen Indizes für die beiden Polarisationsrichtungen unterscheiden. Wenn die optische Funktionsschicht sich zwischen zwei Gläsern befindet, was bei allen verkitteten Systemen der Fall ist, wird die Polarisationsaufspaltung weiter verstärkt. Die Entwicklung binärer Designs aus nur zwei Brechungsindizes führt hier in der Regel zu sehr komplexen Systemen oder die Spezifikationen können gar nicht erfüllt werden. Zusätzliche Design-Freiheitsgrade in Form weiterer Materialien mit mittleren Brechungsindizes können, diese Designs erheblich vereinfachen oder die Realisierung überhaupt erst ermöglichen.

Dieser Vortrag führt in die Herstellung solcher Schichtsysteme auf der Leybold Helios Magnetron-Sputteranlage ein. Ausgehend von klassischen binären Systemen wird auf Design und Realisierung von Multi-Index Schichtsystemen eingegangen. Realisierte Demonstratoren illustrieren die gegenwärtigen Möglichkeiten zur Herstellung hochkomplexer Filter/Strahlteiler.

Hauptvortrag SYOT 1.2 Di 11:20 HZO 80
Surface Reactivity of Sputtered Complex Metal Nitride Films in Oxygen Containing Environments - The Surface Near Region of TiAlN(O) Coatings — ●GUIDO GRUNDMEIER, CHRISTIAN KUNZE, and MARTIN WIESING — University of Paderborn, Technical and Macromolecular Chemistry, Paderborn, Germany

TiAlN deposited by means of High Power Pulsed Magnetron Sputter-

ing (HPPMS) is a promising approach for the deposition of protective coatings for cutting and forming tools. E.g. it has been proposed that TiAlN(O) can be beneficial for the processing of transparent polymers. However, under technical conditions coated tools are exposed to ambient conditions with varying oxygen and water partial pressures. Such environments lead to specific changes in the chemical composition of the surface near region and thereby influence the functional properties of the coating. For the analysis of the corresponding surface chemistry and surface properties both the initial oxygen chemisorption under high vacuum conditions and oxide formation at ambient pressures are considered. In-situ UHV spectroscopic analysis was performed in combination with electrochemical methods to correlate the structure of the surface near region with its electronic properties. Moreover, an atomistic understanding of the surface structure was achieved by the comparison of experimental spectroscopic results and theoretical calculations.

Hauptvortrag SYOT 1.3 Di 12:00 HZO 80
Pluto Plus: Erhöhung der Qualität und Ausbeute optischer Beschichtungstechnologien — ●HARRO HAGEDORN — Bühler, Alzenau, Siemensstarsse 88

Für die Abscheidung optischer Schichten, die höchsten Qualitätsansprüchen genügen, sind Plasmaprozesse unverzichtbar. Der Modifikation der Schichteigenschaften durch das Plasma ist essentiell, gleichwohl begrenzen die räumlichen und zeitlichen Fluktuationen die Präzision mit der heute Schichtsysteme abgeschieden werden können. PLUTO+ ist eine BMBF gefördertes Verbundprojekt in dem In-situ Erfassung von Plasmakenngrößen zur aktiven Regelung von Plasmaprozessen erforscht werden. 18 Projektpartner untersuchen den Einfluss zukünftiger direkter Regelungsmöglichkeiten auf die Schichteigenschaften. Die Bandbreite der Abscheideverfahren umfasst Plasma unterstützten Aufdampfverfahren (PIAD), Ionenstrahlsputterverfahren (IBS) und Plasma unterstützte Gasphasenabscheidungen (PECVD).

SYOT 2: Plasma und Optische Technologien II

Zeit: Dienstag 14:00–17:30

Raum: HZO 80

Hauptvortrag SYOT 2.1 Di 14:00 HZO 80
Charakterisierung des PIAD-Plasmas - aktueller Stand und neue Ansätze — ●JENS HARHAUSEN, DETLEF LOFFHAGEN und RÜDIGER FOEST — Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie Greifswald, Felix-Hausdorff-Straße 2, 17489 Greifswald

Zur Herstellung von Dünnschichtsystemen der Interferenzoptik, einem Schlüsselement der optischen Komponenten in Bildgebung, Laseroptik oder Messtechnik, nehmen Anlagen auf Basis der plasma-ionengestützten Deposition (PIAD) eine prominente Stellung ein. In der PIAD werden offene Plasmaquellen eingesetzt, deren Anwendung bis vor kurzem weitgehend auf der empirischen Optimierung der Schichteigenschaften beruhte. Im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens Pluto erfolgte erstmals eine umfassende Charakterisierung des PIAD-Plasmas, die das Verständnis zu Funktionsweise der Quelle und Prozessführung entscheidend erweitern konnte. Der Beitrag stellt wesentliche Erkenntnisse basierend auf Daten zu Elektronen- und Ionenkinetik, sowie optischer Emission vor. Diese betreffen den Mechanismus der Plasmaexpansion, den Ionisierungsgrad und die Dämpfung des Ionenstrahls zwischen Quelle und Substrat. Es folgt ein Ausblick auf weitere diagnostische Herangehensweisen zur Untersuchung von Plasmafluktuationen.

Im zweiten Teil soll der Frage nachgegangen werden, wie der aktuelle Kenntnisstand zu einer Verbesserung der Prozesse in Produktionsanlagen genutzt werden kann. Hierzu werden Ansätze zur in-situ Plasmadiagnostik und darauf aufbauende Regelkonzepte vorgestellt.

Hauptvortrag SYOT 2.2 Di 14:30 HZO 80
Untersuchungen an plasma-ionengestützt abgeschiedenen UV-Schichten auf Aluminiumoxidbasis — ●CHRISTIAN FRANKE^{1,2}, OLAF STENZEL¹, STEFFEN WILBRANDT¹, NORBERT KAISER¹ und ANDREAS TÜNNERMANN^{1,2} — ¹Fraunhofer Institut

für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena, Deutschland — ²Friedrich-Schiller-University, Institute of Applied Physics, Abbe Center of Photonics, Jena, Deutschland

In Zentrum des Beitrags stehen die optischen Eigenschaften von Mischschichten auf Basis von Al₂O₃-AlF₃ bzw. Al₂O₃-HfO₂. Die Schichten wurden durch Co-Deposition durch Elektronenstrahlverdampfung (teilweise mit Plasmastützung unter Nutzung der Leybold APS pro) in einer Leybold Syrus pro 1100 Aufdampfanlage präpariert. Aufgezeigt werden Korrelationen zwischen den optischen Schichteigenschaften (Brechzahl und Extinktionskoeffizient, bestimmt auf Basis spektralphotometrischer Messungen), der Elementkonzentration (auf Basis von EDX-Messungen), sowie den technologischen Präparationsparametern. Es wird weiter gezeigt, dass durch Mischung der genannten Ausgangsmaterialien UV-transparente optische Schichten mit variabel einstellbarer DUV (deep ultraviolet)-Brechzahl zwischen etwa 1.4 und 2.25 präpariert werden können.

Hauptvortrag SYOT 2.3 Di 15:00 HZO 80
Deposition von SiO_x-Barrierschichten aus gepulsten Mikrowellenplasmen: Korrelation von Plasmadiagnostik und Schichtanalytik — ●PETER AWAKOWICZ¹, FELIX MITSCHKER¹, SIMON STEVES¹, NIKITA BIBINOV¹, BERKEM OEZKAYA² und GUIDO GRUNDMEYER² — ¹Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr Universität Bochum, NRW — ²Technische und Makromolekulare Chemie, Universität Paderborn, NRW

Gepulste Mikrowellenplasmen werden dazu verwendet, um Barrierschichten auf Kunststoffsubstraten abzuschneiden. Der dazu nötige Gesamtprozess wird in drei Stufen vollzogen. Die erste dient der Oberflächenmodifikation, in der polare Gruppen auf der Oberfläche für eine kovalente Anbindung sorgen. Der zweite Schritt dient der Abscheidung einer Zwischenschicht, die die Kunststoffoberfläche vor dem eigentli-

chen Prozess der Barriereabscheidung schützt. Im dritten Schritt wird die Barriere selbst aus HMDSO nur mit hoher Sauerstoffbeimischung erzielt. Zusätzlich wird das Substrat mit einem HF-Bias beaufschlagt, um die Ionenenergie für das Schichtwachstum zu optimieren. Für die umfangreiche quantitative Plasmadiagnostik wird die optische Emissionsspektroskopie sowie eine neuartige Multipolresonanzsonde verwendet. Diese ist beschichtungsunabhängig und liefert die Elektronendichte und -temperatur. Die quantitative Schichtanalytik erfolgt mittels XPS, FTIR (IRRAS-FT) und Zyklovoltametrie. Die Defektdiagnostik basiert auf einer Ätzmethode, durch die die Mikro- und Nanodefekte sichtbar gemacht und automatisiert ausgezählt werden. Die Arbeiten wurden im Rahmen des SFB-TR 87 durchgeführt.

Hauptvortrag SYOT 2.4 Di 15:30 HZO 80
Ansätze für einen adaptiven Ionenstrahl-Zerstäubungs-Prozess (IBS) — ●FLORIAN CARSTENS — Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover, Deutschland

Sputter-Depositionsverfahren, im Speziellen das Ionenstrahl-Zerstäuben, kurz IBS (Ion Beam Sputtering), sind heute das Mittel der Wahl, wenn es um die Herstellung von besonders anspruchsvollen, funktionalen Beschichtungen auf optischen Komponenten geht. Anders als beispielsweise beim Magnetron-Sputtern werden gegenwärtig in IBS-Prozessen jedoch materialspezifische, feste Parametersätze ohne eine In-situ-Regelung der Prozessgrößen verwendet. Eine derartige adaptive Regelung birgt ein erhebliches Potential, um eine vor allem für industrielle Anwendungen notwendige weitere Steigerung der Qualität, Reproduzierbarkeit und Ausbeute der hergestellten Beschichtungen zu realisieren. Um das vorstehende Ziel zu erreichen, sollen ausgehend von den im BMBF Projektverbund PluTO erarbeiteten Ergebnissen im Rahmen des ebenfalls durch das BMBF geförderten PluTO+ Verbunds modellbasierte, geschlossene Regelungsketten für den IBS-Prozess erarbeitet werden. Der Vortrag gibt einen Überblick über die im Verlauf des PluTO Projekts identifizierten Einflussgrößen auf den IBS-Beschichtungsprozess und präsentiert die verfolgten Ansätze für einen möglichen adaptiven IBS-Prozess.

Kaffeepause

Hauptvortrag SYOT 2.5 Di 16:30 HZO 80
Prozessüberwachung und Prozessregelung auf Basis der Multipolresonanzsonde — ●RALF PETER BRINKMANN — Ruhr-Universität Bochum

Das Anliegen des BMBF-Verbundprojekts PluTO+ ist die Erhöhung der Qualität und Ausbeute plasmagestützter Beschichtungsverfahren. Das gesetzte Ziel kann ohne eine robuste, prozessstaugliche Plasmadiagnostik nicht erreicht werden: Grundlage aller Konzepte zur Überwachung und -regelung von Plasmaprozessen ist die Fähigkeit zur in-situ-Ermittlung des aktuellen Status der jeweiligen Anlagen.

Ein Kandidat für eine solche Diagnostik ist die Multipolresonanzsonde (MRP). Die MRP ist eine im BMBF-Projekt PluTO entworfene und als Demonstrator realisierte optimierte Variante des Konzepts der aktiven Plasmaresonanzspektroskopie: Mittels einer elektrischen Sonde wird ein Hochfrequenzsignal im GHz-Bereich in das Plasma eingekoppelt. Die Auswertung der spektralen Antwort mit Hilfe eines mathematischen Modells erlaubt dann Rückschluss auf Parameter wie die Plasmadichte und die Elektronentemperatur. Im Fokus dieses Vortrages stehen aktuelle neuere Ergebnisse dieses Vorhabens. Zum einen wird über die Weiterentwicklung der MRP in Richtung eines ortsauflösenden Plasma-Diagnostiksystems berichtet, zum zweiten über die in Richtung eines Monitors für die in-situ-Überwachung von Plasmaprozessen in der Produktion. Anwendungen beider Systeme in der Praxis werden ausführlich dargestellt.

Hauptvortrag SYOT 2.6 Di 17:00 HZO 80
Computational approach to the design of amorphous metal oxide coatings for optical applications — THOMAS FRAUENHEIM¹, ●THOMAS KÖHLER¹, DETLEV RISTAU², HENRIK EHLERS², MARCUS TUROWSKI², MARC LANDMANN³, and EVA RAULS³ — ¹University of Bremen, BCCMS, 28359 Bremen — ²Laser Zentrum Hannover e.V., 30419 Hannover — ³University of Paderborn, 33098 Paderborn

There is considerable interest at development of novel control strategies for ion beam sputtering (IBS) deposition of ternary metal oxide thin films at given refractive indices and mixture ratios. A combined approach of classical and density functional theory based techniques is applied to study the structural properties of amorphous metal oxides. The disordered phases are accurately modeled by quantum mechanical based molecular dynamics. The equivalence to experimentally characterized amorphous phases is demonstrated by atomic structure factors and radial pair-distribution functions. The electronic properties and the linear optical response of the generated structures are computationally characterized at experimental accuracy by using non-local hybrid functional DFT, many-body perturbation theory and random phase approximation (RPA).