

Symposium Plasmatechnik für die Optikherstellung (SYPT)

gemeinsam veranstaltet von
 Fachverband Kurzzeitphysik der DPG (K)
 Deutsche Gesellschaft für Plasmatechnologie e.V. (DGPT)
 und dem EFDS Fachausschuss "Beschichtungen für die Optik und Optoelektronik" (FABO)

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

Der Erfolg der Optischen Technologien wird entscheidend von der Qualität und Funktionalität der optischen Komponenten, speziell deren Oberflächen, geprägt. Hier haben sich Prozessplasmen als unverzichtbares Hilfsmittel für die Herstellung funktionaler Schichtsysteme und strukturmodifizierter optischer Oberflächen erwiesen. Für die Entwicklung und Optimierung der Prozesse kann bisher jedoch noch nicht auf ein detailliertes Verständnis der physikalischen und chemischen Wechselwirkungsmechanismen zurückgegriffen werden. Vielmehr wird hier weitgehend von empirischen Ansätzen ausgegangen, deren Möglichkeiten vor dem Hintergrund der anspruchsvollen Anforderungen der modernen Photonik mittlerweile ausgeschöpft sind. Parallel dazu existiert in den rein plasmabasierten Fertigungsbereichen und den nationalen Forschungseinrichtungen eine weit reichende Expertise bezüglich der Charakterisierung, der Qualifizierung und der numerischen Modellierung von Niedertemperaturplasmen, die auch überwiegend in der optischen Beschichtungstechnik als effiziente Werkzeuge eingesetzt werden. Die Zielstellung des nunmehr dritten Symposiums zu dem Themenfeld ist es, beide Technologiebereiche in einem Dialog enger zusammenzuführen. Als Plattform bietet sich hier insbesondere auch das Vorhaben „Plasma und Optische Technologien“ (PluTO) an, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung seit Mitte des vergangenen Jahres gefördert wird. Dementsprechend wird einerseits aus diesem Konsortium zu aktuellen Problemen in der optischen Beschichtungstechnik und Plasmaphysik Stellung genommen. Andererseits werden auch Beiträge von Unternehmen aus der Branche vorgestellt, die das Fachgebiet aus industrieller Sicht durchleuchten.

Übersicht der Hauptvorträge und Fachsitzungen

(Hörsaal E 415)

Hauptvorträge

SYPT 1.1	Mo	13:30–14:10	E 415	Ionenstrahl- und Plasmaprozesse für die Beschichtung von Laseroptiken — ●JOHANNES EBERT
SYPT 1.2	Mo	14:10–14:40	E 415	Plasma und Optische Technologien (PluTO) — ●NORBERT KAISER, PETER AWAKOWICZ, RALF PETER BRINKMANN, THOMAS FRAUENHEIM, THOMAS MUSCH, ANDREAS OHL, DETLEV RISTAU, ILONA ROLFES, OLAF STENZEL
SYPT 1.3	Mo	14:40–15:10	E 415	Plasmagestützte Prozesse — ●DIETER GÄBLER
SYPT 1.4	Mo	15:10–15:40	E 415	Aktuelle Trends in der Ionenstrahl-Beschichtungstechnologie — ●KAI STARKE, DETLEV RISTAU
SYPT 1.5	Mo	15:40–16:10	E 415	Ionenprozesse für hochwertige Optiken — ●CARSTEN SCHMITZ
SYPT 2.1	Mo	16:30–17:00	E 415	Niedertemperatur-Plasmen in der Feinoptik — ●JENS HARHAUSEN, RÜDIGER FOEST, ANDREAS OHL, HARTMUT STEFFEN
SYPT 2.2	Mo	17:00–17:30	E 415	Spin-Offs of Electric Space Propulsion Technology in Surface Modification Applications — ●DAVAR FEILI
SYPT 2.3	Mo	17:30–18:00	E 415	Prozesstaugliche Plasmadiagnostik mit der Multipolresonanzsonde — ●RALF PETER BRINKMANN, PETER AWAKOWICZ, MARTIN LAPKE, THOMAS MUSCH, JENS OBERRATH, ILONA ROLFES, ROBERT STORCH, TIM STYRNOL, CHRISTIAN ZIETZ
SYPT 2.4	Mo	18:00–18:30	E 415	Struktur, elektronische und optische Eigenschaften von kristallinen und amorphen TiO₂-Schichten — ●THOMAS FRAUENHEIM, THOMAS KÖHLER, GRYGORIY DOLGONOS, WOLF-GERO SCHMIDT

SYPT 2.5 Mo 18:30–19:00 E 415 **Plasma Diagnostics for Plasma Process Instabilities through Gas Heating** — •MICHAEL KLICK

Fachsitzungen

SYPT 1.1–1.5 Mo 13:30–16:10 E 415 **Beschichtungsverfahren**
SYPT 2.1–2.5 Mo 16:30–19:00 E 415 **Plasmatechnik**

SYPT 1: Beschichtungsverfahren

Time: Monday 13:30–16:10

Location: E 415

Invited Talk SYPT 1.1 Mo 13:30 E 415
Ionenstrahl- und Plasmaprozesse für die Beschichtung von Laseroptiken — ●JOHANNES EBERT — LASEROPTIK GMBH, D-30826 Garbsen, Deutschland

Die Einführung von Ionenstrahl- und Plasmaprozessen in die Beschichtungstechnik ist vor vielen Jahren notwendig geworden, um gleichzeitig optische und mechanische Eigenschaften der Schichten zu verbessern. Eine neue Herausforderung ist, die Wirkung der Plasmen auf die Schichtbildungsprozesse besser zu verstehen, um auch spezielle Anforderungen, wie geringste Absorption, kleinste Streuung, also höchste Zerstörschwellen, Langzeitstabilität und Vakuumbeständigkeit.

Eine Übersicht der Ionenstrahl- und Plasmaprozesse für optische Schichten zeigt die unterschiedlichen Herstellungsparameter und auch unerwünschte Nebeneffekte. Der Autor versucht, mit dem derzeitigen Wissensstand die experimentellen Ergebnisse zu interpretieren. Ionenstrahl- und Plasmaprozesse stehen mit ihrer Fülle von Gestaltungsmöglichkeiten weiterhin an vorderster Front der Forschung an optischen Schichten.

Invited Talk SYPT 1.2 Mo 14:10 E 415
Plasma und Optische Technologien (PluTO) — ●NORBERT KAISER¹, PETER AWAKOWICZ², RALF PETER BRINKMANN², THOMAS FRAUENHEIM³, THOMAS MUSCH², ANDREAS OHL⁴, DETLEV RISTAU⁵, ILONA ROLFES⁶ und OLAF STENZEL¹ — ¹Fraunhofer IOF, Jena — ²Ruhr-Universität Bochum — ³Universität Bremen — ⁴Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V., Greifswald — ⁵Laserzentrum Hannover e.V. — ⁶Leibniz-Universität Hannover

Geladene und neutrale Teilchen führen zu vielfältigen physikalischen und chemischen Reaktionen beim Wachstum dünner optischer Schichten. Der Schlüssel zum Verständnis dieser Prozesse liegt in der extrem radikalen Substratrandschicht, in der die von der Aufdampfquelle einfallenden Atome und Moleküle unter Plasmaeinwirkung auf das Substrat treffen und dort die Schicht bilden. Genau hier werden die späteren Schichteigenschaften vorbestimmt, und nur hier können sie eingestellt werden. Das gelingt, wenn die Zusammenhänge zwischen Plasma und Schicht bekannt sind. Seit Mai 2009 arbeiten dazu im BMBF Projekt PluTO Plasma- und Optikexperten zusammen. Während die Optiker die Untersuchungen ins schichttechnische Detail treiben, gehen die Plasmaexperten plasmatechnisch ins Detail. Es werden theoretische Modellvorstellungen zum Plasma erarbeitet, und es laufen theoretische, simulative, und technologische Aktivitäten zur Multipolresonanzsonde, einem innovativen Konzept zur prozessauglichen Diagnostik schichtabscheidender Plasmen. Es beginnen Simulationsrechnungen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen, deren Abgleich mit höchstauflösender Elektronenmikroskopie erfolgt.

Invited Talk SYPT 1.3 Mo 14:40 E 415
Plasmagestützte Prozesse — ●DIETER GÄBLER — FhG IOF Jena
 Die Beschichtung von Oxiden und Fluoriden mittels IAD (Ion Assis-

ted Deposition) Prozessen dient der Modifizierung der Schichtstruktur. Ein Ziel ist dabei die Verringerung der Substrattemperatur bei der Beschichtung unter Beibehaltung oder Verbesserung von Schichteigenschaften wie Shiftfreiheit (Porosität und Wasseraufnahme), Schichtspannung und Grenzflächenrauigkeit. Ein weiteres Ziel ist die Reduzierung der optischen Absorptionsverluste der Schichten durch eine geeignete reaktive Prozessführung zur Wiederherstellung der Stöchiometrie und der Vermeidung von Schichtdefekten wie Farbzentren bei den Fluoriden.

Invited Talk SYPT 1.4 Mo 15:10 E 415
Aktuelle Trends in der Ionenstrahl-Beschichtungstechnologie — ●KAI STARKE¹ und DETLEV RISTAU² — ¹Cutting Edge Coatings GmbH, Hannover, D — ²Laser Zentrum Hannover

Der Einsatz von höherenergetischen Beschichtungsprozessen ist für die Herstellung optischer Funktionsschichten für anspruchsvolle Anwendungen in Forschung und Industrie unverzichtbar. Neben den klassischen Verdampfungsprozessen mit Ionenstützung (IAD) und dem Magnetron-Sputtern wird das Ionenstrahl-Zerstäuben (IBS) seit vielen Jahren eingesetzt, um Interferenzschichten mit extremen Spezifikationen, z.B. bzgl. Kantensteilheit, optischer Verluste oder Laserfestigkeit darzustellen.

In dieser Präsentation wird zunächst ein Überblick über den aktuellen Stand der IBS-Beschichtungstechnologie gegeben. Des Weiteren wird auf die neuartige Möglichkeit der Synthese von Materialmischungen eingegangen, welche eine erhebliche Flexibilisierung in der Prozessführung darstellt. Anhand einiger Beispiele wird die Einsetzbarkeit dieser erweiterten IBS-Technologie - auch im industriellen Maßstab - dokumentiert und das weitere technologische Potenzial zum Erreichen höchster optischer Qualität erläutert.

Invited Talk SYPT 1.5 Mo 15:40 E 415
Ionenprozesse für hochwertige Optiken — ●CARSTEN SCHMITZ — Laser Zentrum Hannover

Notwendig für die Herstellung hochwertiger Optiken ist nicht nur die Wahl des Beschichtungsprozesses, sondern auch eine vielseitige und genaue Prozesskontrolle. Moderne und weit entwickelte Beschichtungsverfahren sind unter anderem ionenbasierte Methoden wie Ion Assisted Deposition (IAD) und Ion Beam Sputtering (IBS). Zur Prozesskontrolle kommen unterschiedliche in-situ- Detektionsverfahren wie z.B. die genaue optische breitbandige Schichtdickenbestimmung, eine Analyse der Plasmaquelle und eine Untersuchung der Gaszusammensetzung zum Einsatz. Zur Betrachtung unterschiedlicher Plasmaquellen erfolgen Messungen der Ionenstromdichte und der Ionenenergieverteilung mit einem Gegenfeldanalysator (GFA, Faraday Cup). Das Zusammenspiel der in-situ-Prozessdiagnostik und multifunktionaler aktiver Schichten soll am Beispiel der photokatalytischen Aktivität verdeutlicht werden.

SYPT 2: Plasmatechnik

Time: Monday 16:30–19:00

Location: E 415

Invited Talk SYPT 2.1 Mo 16:30 E 415
Niedertemperatur-Plasmen in der Feinoptik — ●JENS HARHAUSEN, RÜDIGER FOEST, ANDREAS OHL und HARTMUT STEFFEN — Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie Greifswald e.V.

Ein im Spannungsfeld von höchster Qualität von optischen Schichten und Wirtschaftlichkeit agierendes Verfahren ist das 'Plasma Ion Assisted Deposition' (PIAD). Bei diesem wird eine Plasmastrahlquelle im Hochvakuum ($\leq 10^{-4}$ mbar) betrieben. Derzeitige Verfahren sind in der Lage, einen divergenten Plasmastrahl aus einer kompakten Quelle zu extrahieren und Ionenenergien von ≤ 150 eV und eine Ionenstromdichte von etwa 1 mA/cm^2 am Ort der Substrate von der Fläche von ca. 1 m^2 zu erzeugen. Das bisherige Vorgehen zur Optimierung der Beschichtungsergebnisse basiert hauptsächlich auf der Untersuchung von Schichteigenschaften in Abhängigkeit der regelbaren Prozessparameter (Gaszufuhr, Bias-Spannung, Beschichtungsrate, etc.). Demgegenüber sind die vorzustellenden Arbeiten auf plasmaphy-

sikalische Fragestellungen ausgerichtet, also der Charakterisierung des Plasmas vor den Substraten und dessen Einfluss auf die Schichtbildung. Anhand einer am Markt befindlichen technischen Lösung, der sogenannten APS, welche sich auf die Anwendung statischer Magnetfelder auf Glühkathoden-DC-Entladungen stützt, wird die Methodik unterschiedlicher Plasmadiagnostik-Verfahren erörtert, sowie der Stand des Aufbaus und erste Ergebnisse vorgestellt. Gefördert durch das BMBF (Fkz. 13N10462).

Invited Talk SYPT 2.2 Mo 17:00 E 415
Spin-Offs of Electric Space Propulsion Technology in Surface Modification Applications — ●DAVAR FEILI — I. Physik. Inst. Justus-Liebig-Universität Giessen

Plasma based electric space thruster systems are going to become a standard technology for in-space applications. There are much of ongoing and planned ambitious missions, which can be realized only us-

ing these systems. As there are different applications and demands on such thrusters, there exist also different types of electric propulsion. Some of these technologies find their way to the earth based applications. The most important application field is material processing and surface modification. In this context, a series of different types of electric thrusters will be discussed with their in-space functions and also their application in surface modification especially for manufacturing of optical layers.

Invited Talk SYPT 2.3 Mo 17:30 E 415

Prozesstaugliche Plasmadiagnostik mit der Multipolresonanzsonde — •RALF PETER BRINKMANN¹, PETER AWAKOWICZ¹, MARTIN LAPKE¹, THOMAS MUSCH¹, JENS OBERRATH¹, ILONA ROLFES^{1,2}, ROBERT STORCH¹, TIM STYRNOL¹ und CHRISTIAN ZIETZ² — ¹Ruhr-Universität Bochum — ²Leibniz-Universität Hannover

Die Bestimmung der Elektronendichte in schichtabscheidenden Plasmen stellt eine große diagnostische Herausforderung dar. Eine attraktive Möglichkeit dazu bietet die aktive Plasmaresonanzspektroskopie: Ein über eine Sonde in das Plasma eingekoppeltes Hochfrequenzsignal regt dieses zu Resonanzen an, aus deren Lage und Dämpfung die Plasmaparameter bestimmt werden können. Bei der Multipolresonanzsonde (MRP) handelt es sich um eine speziell optimierte Realisierung dieses Konzeptes. Der Vortrag erläutert die physikalischen Grundlagen der aktiven Plasmaresonanzspektroskopie und stellt die im BMBF-Projekt PluTO laufenden Arbeiten zur Multipolresonanzsonde dar.

Invited Talk SYPT 2.4 Mo 18:00 E 415

Struktur, elektronische und optische Eigenschaften von kristallinen und amorphen TiO₂-Schichten — •THOMAS FRAUENHEIM, THOMAS KÖHLER, GRYGORIY DOLGONOS und WOLF-GERO SCHMIDT — BCCMS, Universität Bremen, 28359 Bremen, Am Fallturm 1

Atomistische Modelle von amorphen TiO₂-Modifikationen mit nahezu

kristalliner Dichte werden mittels Dichtefunktional-basierter Molekulardynamik Simulationen als bulk-Strukturen erzeugt und in ihren strukturellen, elektronischen sowie optischen Eigenschaften im Vergleich zu kristallinen Modifikationen analysiert. Berechnete Streufunktionen, Radiale Dichteverteilungen, elektronische Zustandsdichten sowie komplexe Dielektrische Funktionen werden mit experimentellen Daten verglichen.

Invited Talk SYPT 2.5 Mo 18:30 E 415

Plasma Diagnostics for Plasma Process Instabilities through Gas Heating — •MICHAEL KLICK — Plasmetrex GmbH, Berlin, Germany

Beyond sputtering, plasma etching and deposition are major processes for optical layers. Here heating of process gas by ions in the boundary sheath is one of major issues in industrial plasma processing. The gas temperature can reach more than 1000 K in real plasma processes. The increasing gas temperature decreases the gas density and affects plasma process and product properties.

Plasma diagnostics can help to control these effects. Many plasma diagnostic approaches use moments of the electron energy distribution function; the excitations rates of species for optical emission spectroscopy (OES) and the collision rate for Self Excited Electron Spectroscopy (SEERS) as an electrodynamic method. SEERS is based a nonlinear plasma model for harmonics in the discharge current in case of capacitive coupling. By fitting the model to the experiment, it provides a parameters estimation for plasma parameters as the electron collision rate.

The electron collision rate has the advantage to depend directly on the gas density so that one can conclude readily to gas temperature changes. The gas temperature, however, changes also chamber wall conditions in reactive plasmas. These complicated dependencies will be shown for plasma etching and deposition in industrial manufacturing discussing also different sensitivities to and importance of the gas temperature.