

## V2013 Workshop „Beschichtungen für den optischen Gerätebau“

Mittwoch, 16. Oktober 2013 bis Donnerstag, 17. Oktober 2013

### Einführung

Der Workshop „Beschichtungen für den optische Gerätebau“ ist ein fester Bestandteil der V2013, Industrieausstellung & Workshop-Woche Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik. In diesem Jahr war die hohe Teilnehmerzahl von über 70, durchgängig vom ersten bis zum letzten Vortrag, erfreulich.

Der Workshop bestand aus 22, ausschließlich eingeladenen, Fachvorträgen. Fünf davon waren Keynote Lectures mit besonders aktuellem und übergreifendem Inhalt. Die Veranstalter des Workshops waren das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena, die Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS), der deutsche Industrieverband für optische, medizinische und mechatronische Technologien e.V. (SPECTARIS) und der OptoNet e.V., das Thüringer Kompetenznetzwerk Optische Technologien. Das Programmkomitee bildeten Norbert Kaiser (Fraunhofer IOF, Jena), Michael Vergöhl (Fraunhofer IST, Braunschweig), Harald Mändl (AGFA-Gevaert Healthcare GmbH, Peiting), Birgit Ladwig (SPECTARIS - Deutscher Industrieverband für optische, medizinische und mechatronische Technologien e. V., Berlin) und Klaus Schindler (OptoNet e.V. Thüringer Kompetenznetzwerk Optische Technologien, Jena).

### Beiträge

Der Workshop wurde mit dem Keynote Vortrag „Optische dünne Schichten - Rückblick und Ausblick“ von Harald Mändl, Agfa-Gevaert HealthCare GmbH, Peiting, eröffnet.

Start der Entwicklung war die Ver kittung mit Kanadabalsam. Dann kamen die Vakuumtechnik und Fluoridschichten. Später, als Oxide verdampft werden konnten, folgten komplexere Aufgabenstellungen wie Kantenfilter und Laserspiegel. Mit der Einführung der Computertechnik für Design und Anlagensteuerung und den Plasmatechnologien ist bis heute ein Stand



Teilnehmer des V2013 Workshops „Beschichtungen für den optischen Gerätebau“ vor dem Tagungshotel

erreicht, der extrem leistungsfähige Schichtsysteme realisierbar gemacht hat. Harald Mändl wagte einen Blick in die Zukunft und sah dort Schichten aus organischen Materialien und Graphen.

▶ *Helmut Bernitzki* von der JENOPTIK Optical Systems GmbH, Jena, trug über „DUV-Schichten: Alte Probleme und neue Herausforderungen“ vor.

Auch heute, nach 20 Jahren Einsatz von DUV-Laserbauelementen in der Lithographie, gibt es ständig technologische Herausforderungen. Sehr häufig entstehen sie alleine dadurch, dass die Anforderungen an die Bauelemente steigen. Selbst ein „Trivialvorgang“ wie die Lagerung von optischen Bauelementen muss ständig überwacht werden. Nach wie vor ist die Beschichtung stark gekrümmter Flächen eine große Herausforderung. Bestimmte DUV Bauelemente (schmalbandig, kontaminationsanfällig, hohe Polarisation) können nur noch mit Lasern zuverlässig qualifiziert werden. Auch die Qualitätsüberwachung von eingesetzten Materialien wird mit laserbasierter Messtechnik durchgeführt. Last but not least steigen die Anforderungen an die Lebensdauer der Optiken.

▶ *Martin Bischoff*, Qioptiq Photonics GmbH & Co. KG, Göttingen, trug über „Realisierung von Coating-Designs für die Präzisionsoptik im Produktionsumfeld“ vor.

Die theoretische Umsetzung einer Kundenspezifikation in ein Coating-Design sowie die praktische Realisierung dieses Designs mit der verfügbaren Beschichtungstechnologie sind mit einer Reihe von Herausforderungen verbun-

den. Vor allem die Anforderungen in der Präzisionsoptik an die Toleranzen für Reflexion und Transmission sind sehr anspruchsvoll. Außerdem müssen weitere Spezifikationen wie Pässe, Sauberkeit, Zerstörschwelle oder Umweltbeständigkeit beachtet werden. Auch die Anwendungsbedingungen der zu beschichtenden Komponenten haben einen wesentlichen Einfluss auf die Auswahl der Schichtmaterialien und die verwendete Beschichtungsmethode. Für anspruchsvolle Optiken ist es erforderlich, nicht nur den Beschichtungsprozess zu betrachten, sondern die gesamte Prozesskette – von der Substratfertigung, dem Polieren über das Reinigen und Beschichten bis hin zum Charakterisieren der beschichteten Optik – im Auge zu behalten und die einzelnen Prozessschritte aufeinander abzustimmen. Damit wird deutlich, dass zur Realisierung einer Kundenspezifikation für eine beschichtete optische Komponente nicht allein das korrekte Coating-Design ausreicht, um allen Anforderungen an das Produkt gerecht zu werden.

▶ *Peter Weiss* von der BLÖSCH AG in Grenchen in der Schweiz sprach über die „Anforderungen an optische Schichten in der Schweizer Uhrenindustrie“.

In der Schweizer Uhrenindustrie wird für Luxusuhren Saphir als Uhrglas verwendet. Die hohe Reflexion des Saphirs macht eine Entspiegelung notwendig. Damit die Entspiegelung den täglichen mechanischen Ansprüchen widersteht, muss das AR-System hart sein. Doch es stellt sich die Frage, wie die alltäglichen

Beanspruchungen mithilfe eines Tests quantifiziert werden können. Es gibt verschiedene Testmöglichkeiten, wie Scratch-Test, Messung der Nano-Härte, Bayer-Test, Sandrieseltest. Die Praxis zeigt allerdings, dass für eine fundierte Betrachtung immer mehrere Prüfmittel notwendig sind. Die Prüfung der mechanischen Eigenschaften sowie der optischen Eigenschaften von AR-Beschichtungen für die Uhrenindustrie ist momentan auch Bestandteil einer Normenkommission.

- ▶ Der Keynote Vortrag von *Ulf Brauneck*, SCHOTT Suisse SA, Yverdon-les-Bains, beinhaltet „Hochanspruchsvolle optische Beschichtungen: Anwendung und Herstellung mittels Sputter-Technologie“.

Einige Beispiele optischer Geräte in Anwendungen mit hohen Ansprüchen sind das Umwelt-Monitoring und hier die Bilderfassung von Phytoplankton und Schwebeteilchen in Ozeanen. Die Kalibration von Bilddaten erfordert unkonventionelle Filter-Charakteristiken. Weitere Anwendungen sind terrestrische Teleskope. Die Himmelsvermessung erfordert extreme spektrale Uniformität und Wellenfront-Fehler von Bandpassfiltern über Durchmesser >4" bzw. 6". Bei Satellitenoptiken sind das Bandpass-Design und die Stresskompensation komplex. Schließlich Luxus-Uhren, mit den schon genannten kratzfesten AR-Systemen mit farbneutralem Restreflex. Warum hat das Sputtern zunehmend die Nase vorn? Die Anforderungen sind große Gesamtschichtdicken für steile Charakteristiken bzw. breite Blockung, enge spektrale Toleranzen, Schichtdickenuniformität und hohe Abrasionsfestigkeit von AR-Systemen. Die Vorteile von Magnetron-sputterprozessen sind hohe Prozessstabilität im Vergleich zum Verdampfen (Rate, Wiederholbarkeit, Menge an Beschichtungsmaterial, Magnetfeld-Anpassung), hohe Rotationsgeschwindigkeit und extrem harte Schichten – Beschichtungsenergie. Die Nachteile von Sputteranlagen sind hohe Investsummen, also hohes gebundenes Kapital und höhere Betriebskosten als beim Aufdampfen (Beschichtungsmaterial, Elektrizität).

- ▶ *Henrik Ehlers* vom Laser Zentrum Hannover e.V. berichtete über „Miniaturisierte optische Filter für die

photonische Netzwerktechnik“ Hochkomplexe optische Filter stellen eine Schlüsselkomponente für photonische Netzwerke dar. Die optischen Komponenten werden häufig noch als Baugruppen aus manuell justierten Einzelkomponenten in Freistrahls-technik realisiert. Alternativ gibt es aktuelle Konzepte der optischen Integration, bei denen die Einzelkomponenten in eine miniaturisierte Chip-Plattform eingefügt werden. Die Gesamtfilterdicke inklusive Substrat ist < 30 µm. Die Filter sind somit nahezu freitragend. Der Beschichtungsprozess erfolgt mit IBS und BBM-Kontrolle. Verschiedene Filtertypen wurden bereits realisiert, und die erste Markteinführung ist erfolgt.

- ▶ *Kai Starke* von der Cutting Edge Coatings GmbH, Hannover informierte über „Low Loss-Beschichtungen: Stand der Technik“.

Anspruchsvolle Anwendungen in der Präzisions- und Laseroptik waren in den 70er Jahren die Geburtshelfer für das Ion Beam Sputtering (IBS). Heute ist IBS die Referenz für Low – Loss – Beschichtungen. Ziel sind Verluste < 0,1 ppm. IBS erlaubt die Herstellung von Materialmischungen und hat ein großes Entwicklungspotenzial für neue Verfahrensansätze.

- ▶ Über „Neuerungen aus dem Bereich IBS“ berichtete *Mathias Mende* von der Laseroptik GmbH in Garbsen.

Die Laseroptik GmbH setzt das Ionenstrahl-sputtern (IBS) seit 2007 sehr erfolgreich für die Realisierung komplexer Schichtdesigns im VIS/IR-Bereich ein. Die Schichten sind kompakt mit amorpher Mikrostruktur, niedrigsten Defektdichten und sehr geringen Streuverlusten. Daraus resultieren hohe und konstante Brechungsindizes, ein vernachlässigbarer Vakuum-Luft Shift und höchste Präzision für komplexe Designs. Die Beschichtungs-raten sind vergleichsweise klein (ca. 0.25nm/s) und die Druckspannungen relativ hoch. Aktuell werden Ionenstrahl-gesputterte UV-Schichtsysteme mit höchsten laserinduzierten Zerstörschwellen für Lasersysteme im Weltraumeinsatz qualifiziert. Darüber hinaus wurden Beispiele von Beschichtungen für unterschiedliche UV-Wellenlängen präsentiert.

- ▶ In seinem Keynote Vortrag gab *Michael Vergöhl* vom Fraunhofer IST in Braunschweig eine Übersicht

zu Thema „Von Polymer- bis Flüssigsputtern – Prozesse für optische Funktionsschichten“.

Zur Herstellung optischer Funktionsschichten eignet sich das Magnetron-sputtern in vielfältiger Weise. So lassen sich durch Anpassung der Prozessparameter als auch durch angepasste Materialien sehr kratz-feste Antireflex-beschichtungen auf Glas oder auch elastische Beschichtungen auf Polymeroberflächen abscheiden. Superhydrophobe Schichten sind ebenfalls mit Hilfe hochionisierter Plasmen (HIPIMS) möglich. Mit RF-Plasmaunterstützung können dagegen auch photokatalytische Schichten auf Polymeren aufgebracht werden. In der Präzisionsoptik ermöglichen zylindrische Kathoden neue Beschichtungsprozesse. Ein Ansatz zur Erhöhung der Beschichtungsrate ist das Sputtern mit heißen oder sogar flüssigen Targets. Hierbei wird ein Übergang zum Verdampfungsprozess erreicht, so dass mit Ansteigen der Sputterausbeute auch die Rate ansteigt, bei Silizium beispielsweise um das zehnfache.

- ▶ *Frau Grit Hüttl* von der GfE Fremat GmbH in Freiberg sprach zum Thema „Vom Granulat bis zum Rohrtarget – Materialquellen für optische Schichtsysteme“.

Zur Herstellung von Sputtertargets ist die Kombination verschiedener Technologien möglich: Thermisches Spritzen, eine Reihe unterschiedlicher Schmelzverfahren, Walzen, Pressen, drucklose Sinterverfahren, Heißpressen, heißisostatisches Pressen, Extrudieren oder Schmieden. Beim Übergang vom Planartarget zum Rohrtarget entfällt beim Sputtern die Möglichkeit der Nutzung eines RF-Prozesses, und elektrisch leitfähiges Material ist notwendig. Zusätzlich bewegt sich beim Einsatz von Rohren das Target zum Magnetbar, so dass für die Abscheidung hochpräziser Schichten die Genauigkeit der Targetgeometrie an Bedeutung gewinnt. Bei der Herstellung der Rohrtargets ergibt sich mit dem thermischen Spritzen eine zusätzliche Technologie mit einer Reihe von Freiheitsgraden. Beim Pressen und Sintern dagegen muss isostatisch gearbeitet werden, so dass das uniaxiale Pressen als technologische Möglichkeit entfällt. Beim Bonden von Rohren sind ebenfalls besondere Vorkehrungen zu

treffen, um das Auftreten von Überhitzungen beim Sputtern, die zum Targetausfall führen würden, zu vermeiden. Entsprechende technische Lösungen sind aber durch den breiten Einsatz der Rohre in der Großflächenbeschichtung vorhanden.

- ▶ Passend zum vorhergehenden Thema sprach *Daniel Rademacher* vom Fraunhofer IST in Braunschweig über „Rohrkathoden – die Lösung auch für die Präzisionsoptik?“.

In heutigen Magnetron-Sputtersystemen werden überwiegend planare Magnetrons eingesetzt. Zylindrische Kathoden bieten gegenüber zu ihren planaren Pendanten den Vorteil, dass kein Erosionsgraben wächst, woraus sich eine langzeitstabile Verteilung des abgestäubten Materials ergibt. Die Redepositionszone wird durch das Rotieren ständig gereinigt, so dass die Oberfläche sauber ist (frei von „Oxidinseln“) und daher eine geringe Tendenz zum Arcing besteht. Zudem stellen zylindrische Kathoden ein extrem großes Materialdepot dar. Am Fraunhofer IST wurde das Enhanced Optical Sputtering System – EOS<sup>®</sup> entwickelt. Es handelt sich dabei um eine Drehtelleranlage mit zwei Doppelrohrmagnetrons und einer Plasmaquelle in sputter-up Anordnung. In der Großflächenbeschichtung haben sich Rohrkathoden bereits etabliert. In der optischen Präzisionsbeschichtung bieten die Rohrkathoden ein ähnlich großes Potential.

- ▶ Herr *Jan Broßmann* von der Optics Balzers Jena GmbH sprach zum Thema „Herstellung und Charakterisierung von optischen Filtern für die Raman-Spektroskopie“.

Die Ramanspektroskopie erfordert Filter mit extremer Kantensteilheit. Neben IBS kommt als Herstellungstechnologie das plasmagestützte Magnetron-sputtern (PARMS) in Betracht. Als Materialien werden Si-, Ta- und Nb-Oxid verwendet. Neben den Kantenfiltern wurden auch Notchfilter, Strahlteiler und Laserlinienfilter für die Ramanspektroskopie vorgestellt.

- ▶ „Schichtdickenverteilung neu beleuchtet“ war das Thema des Vortrages von Frau *Silvia Schwyn Thöny* von Evatec Ltd. im Schweizer Flums.

Optische Interferenzschichten verlangen kleine Schichtdickenverteilungen. In der Halbleiterindustrie kommt der

Aspekt der Reduzierung des Verbrauches von Edelmetallen dazu. Zusammen mit der FH Buchs wurde eine computergestützte Optimierung der Verteilungsblende entwickelt. Die Vorteile der computergestützten Blendoptimierung sind: Beträchtliche Reduktion der Entwicklungszeit auf einen Versuch pro Material vor und nach der Optimierung, Minimierung der Blendengrößen, reduzierter Materialverbrauch, höhere Beschichtungsrate. Es kommt darauf an, dass die minimale Blendengröße verwendet wird. Das Verteilungsprogramm der FH Buchs wird in „Unicalc“ überführt.

- ▶ *Harro Hagedorn* von der Leybold Optics GmbH stellte „Magnetron gesputterte Interferenzfilter mit hoher Laserzerstörungsschwelle“ vor.

Plasma assisted reactive magnetron sputtering (PARMS) erlaubt die Herstellung kompliziertester Interferenzfilter mit höchster Präzision und niedrigsten Verlusten. Sie gestattet die Abscheidung von Schichtsystemen, die sehr hohe Laserzerstörungsschwellen aufweisen. Hochbrechende Schichtmaterialien mit hoher Transparenz im ultravioletten Spektralbereich ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{TaO}_5$ ) können in Kombination mit niederbrechenden  $\text{SiO}_2$  eingesetzt werden, um eine Vielzahl von Laserkomponenten zu beschichten. Um die höchsten Zerstörungsschwellen zu erreichen, können die  $\text{SiO}_2$ -Schichten durch Hochfrequenzsputtern vom dielektrischen Target hergestellt werden.

- ▶ *Diana Tonova* von der Carl Zeiss Jena GmbH in Oberkochen sprach über „Modell-basierte Optimierung und Entwicklung der Beschichtungsprozesse“.

Eine ganzheitliche Simulation der Schichteigenschaften ermöglicht die effiziente Entwicklung und Optimierung der Beschichtungsprozesse. Die Weiterentwicklung und Kopplung von Modellen für optische und mechanische Eigenschaften, abhängig von Prozessparametern, ist notwendig, um folgende Parameter zu optimieren: Reflexions-, Transmissions-, Absorptionsverlauf bei Beschichtung von komplexen Substraten, Freiformflächen, Mikrooptiken, Nanostrukturen, Streulicht, Stress, Mechanische Festigkeit (Kratzfestigkeit, Abriebfestigkeit) und Laserfestigkeit.

- ▶ Der Keynote Vortrag von *Christoph Zaczek*, Carl Zeiss SMT GmbH, Oberkochen, behandelte „Aktuelle Trends in der Beschichtung von EUV Lithografieoptiken“.

Die EUV Lithografie setzt das Mooresche Gesetz konsequent fort. Sie gilt als der Enabler zukünftiger Generationen von Smartphones, -Watches, usw. ASML's Step-and-Scan EUV Lithografie Systeme sind die Schlüsseltechnologie in der Halbleiterfertigung. Das Herzstück der EUV step-and-scan Systeme von ASML ist die Carl Zeiss SMT Optik. Die Starlith<sup>TM</sup> 3300 Optik wird jetzt zur Volumenproduktion bei den Endkunden eingesetzt. Als Beschichtungstechnologie für EUV Optiken bei der Carl Zeiss SMT GmbH sind Magnetronsputtern und Elektronenstrahl-Verdampfung im Einsatz. Die Schichtdickenprofilabweichung vom Soll muss  $< 0.5\%$  sein. Eine weitere Reflexionserhöhung und Streulichtsenkung soll durch den Einsatz von Glättprozessen bei der Beschichtung erreicht werden. Außerdem sind Reflexionserhöhungen durch Vermeidung von Interdiffusion bei Raumtemperatur durch optimierte Barrierschichten möglich. Das richtige Barrierschichtdesign ist eine Balance zwischen thermischer Stabilität (Lebensdauer) und Reflektivität. Weiterhin werden Reflexionserhöhungen durch den Einsatz von aperiodischen (z-grading) Breitbandschichten untersucht. Schließlich schützen Capping-Schichten die EUV Schicht vor der Degradation durch die „Außenwelt“. Die Serienfertigung der EUV Optikbeschichtung läuft.

- ▶ *Torsten Feigl* von der optiX Fab GmbH in Jena blieb beim Thema EUV und sprach über „Lebenszeit und Reinigung von Multilayer LPP-Kollektorspiegeln“

Die Reinigung sowie Aufarbeitung der Kollektoroberfläche hat das Ziel, die EUV-Reflexion ohne zeitaufwendige und kostspielige Polituren und Neubeschichtung, also unter Beibehaltung der Erstbeschichtung, wieder vollständig herzustellen. Gegenwärtig werden mit diesen Verfahren 95% der ursprünglichen EUV-Reflexion wieder zurück gewonnen

- ▶ Der Vortrag von *Martin Grössl*; FISBA Optik, St. Gallen, Schweiz, befasste sich mit „AR auf sphärischen Flächen“.

Es wurden Messungen der Restreflexion an sphärischen, mit AR vergüteten Oberflächen vorgestellt und der Einfluss des benutzten plasmagestützten Aufdampfverfahrens diskutiert. Weiter wurde untersucht, den beobachteten Schichtverlauf über der Oberfläche in einem einfachen Modell zu erfassen und die Auswirkungen auf den Lichtdurchsatz abzuschätzen.

- ▶ *Michael K. Trubetskov* vom Research Computing Center der Universität Moskau und vom MPI für Quantenoptik in München befasste sich in seinem Keynote Vortrag mit dem Thema „Selection of the most manufacturable designs on the basis of full-scale computational manufacturing experiments“.

Moderne Schichtdesignprogramme liefern Systeme, die die gewünschte spektrale Verteilung sehr genau darstellen. Das Problem ist die Herstellbarkeit der Systeme in Bezug auf Kosten, Fehlertoleranz und Gutausbeute. Vorversuche

auf der Beschichtungsanlage dazu sind sehr zeitaufwendig und teuer, auch wenn genaue Prozess-Monitoringsysteme vorhanden sind. Hier helfen sogenannte „Computational Manufacturing Experiments (CME)“ weiter. Es wurde ein iterativer Prozess vorgestellt, der mit CME beginnt. Die optimierten Designs werden dann praktisch hergestellt und die Ergebnisse mit Reverse Engineering analysiert. Dann beginnen wieder die CME und das solange, bis das System stabil ist. So gelangt man sehr schnell und kostengünstig zu optimierten Prozessen mit hoher Gutausbeute.

- ▶ *Annegret Matthai* von der AUDI AG in Ingolstadt sprach zum Thema „Entspiegelung von Polycarbonat für Anwendungen im Fahrzeugbau“.

Die Möglichkeit der multifunktionalen Vergütung von Polymeroberflächen ist die Voraussetzung für den Ersatz von Glas durch Kunststoff. Der Einsatz von Polycarbonat stellt eine Möglichkeit zur Gewichtsoptimierung von Fahrzeugen

dar. Im Rahmen des BMBF Projektes EPOS werden die Möglichkeiten der Entspiegelung von PC untersucht. Auf Außenflächen muss die Entspiegelung zusätzlich kratzfest sein.

- ▶ Den Inhalt des Vortrages von *Klaus Rohwer* von der Infitec GmbH in Ulm bildeten „Anwendungen von Interferenzfiltern für die Stereoskopie“.

Dichroitische Interferenzfilter sind Schlüsselkomponenten für Millionen von Projektoren, die Jahr für Jahr produziert werden. Sie sind unersetzlich, weil sie den gesamten Spektralbereich ausnutzen, keine Farbkorrektur erfordern und optimale Effizienz und Helligkeit vereinen. Ende der 90er Jahre war die Entwicklung von schmalbandigen Multibandpassfiltern auch für die Stereoskopie revolutionär. Neue Designmethoden und Herstellungsverfahren haben diese Filter ermöglicht. Seit 2003 wird dieses Verfahren von Infitec vermarktet. 2006 wurde das Verfahren an Dolby für das 3D Kino lizenziert und ist heute unter dem Namen Dolby 3D bekannt.

- ▶ *Rudolf Nottebohm* von der Agfa-Gevaert HealthCare GmbH in Peiting schloss den Workshop mit dem Vortrag „Organische, plasmageätzte Nanostrukturen für Antireflex-Beschichtungen auf Glas“ ab.

Entspiegelungen sind ein zentrales und immer hochaktuelles Thema in der Optik. Das BMBF Projekt FIONA untersucht innovative Ansätze für „Farbneutrale Interferenzschichten unter Berücksichtigung organischer Nanostrukturen“. Melamin hat sich dafür als besonders aussichtsreich herausgestellt. Es wird verdampft und anschließend nanostrukturiert. Zur Verbesserung der Stabilität wird eine dünne SiO<sub>2</sub>-Schicht aufgebracht.

### Ausblick

Norbert Kaiser vom Fraunhofer IOF in Jena fasste den Workshop zusammen und gab einen Ausblick auf zukünftige Veranstaltungen.

**Norbert Kaiser, Fraunhofer IOF, Jena**

- ▶ 23. – 27.02.2014: *SPIE Advanced Lithography*, San Jose, California, <http://spie.org/x10942.xml>
- ▶ 18.03.2014: *DPG Frühjahrstagung*, Berlin, Symposium Plasma und Optische Technologien (SYOT) <http://berlin14.dpg-tagungen.de/programm/symp.html>
- ▶ 08. – 09.04.2014: *Grundlagen der Optikbeschichtung*, <http://www.optence.de/veranstaltungen/datein-zu-veranstaltungen/events/optence-veranstaltungen/event.2013-02-21.4913638317/>
- ▶ 05. – 07.05.2014: *Society of Vacuum Coaters, Technical Conference*, Chicago, IL, USA <http://www.svc.org/ConferencesExhibits/2014/2014-TechConExhibitEducation-Program.cfm>
- ▶ 20. – 22.05.2014: *OPTATEC - Die internationale Fachmesse optischer Technologien*, Frankfurt/M. <http://www.optatec-messe.de/de/optatec/>
- ▶ 22. – 26.06.2014: *10<sup>th</sup> International Conference on Coatings on Glass and Plastics (ICCG10)*, Dresden <http://www.iccg10.de/>
- ▶ 02. – 04. 09.2012: *Thementage Grenz- und Oberflächen 5. Kolloquium „Dünne Schichten in der Optik“*, Leipzig [http://www.thgot.de/de/site\\_\\_2002/](http://www.thgot.de/de/site__2002/)
- ▶ 14. – 19.09.2014: *14<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Engineering*, Garmisch-Partenkirchen <http://www.pse-conferences.net/pse2014.html>
- ▶ 23. – 24. 09.2014: *Schichten auf Glas - Schichtherstellung, Funktionalisierung, Optimierung*, Otti Seminar, Regensburg <http://www.otti.de/veranstaltung/id/schichten-auf-glas.html>
- ▶ Okt 2014, *SEMATECH EUVL Symposium*, Washington D.C.
- ▶ 20. – 23.10.2014, Shanghai, China: *3<sup>rd</sup> Frontiers in Optical Coatings Asia*, International Conference on Optical Thin Film and Coating Technology <http://foc.tongji.edu.cn/>