

EIGENSPANNUNGSARME SILIZIUMOXID-SCHICHTEN MIT HOHER RATE

Druckspannungen stellen gerade im Bereich optischer Beschichtungen ein großes Problem dar. Durch einen zu starken Druck kann beispielsweise der Grundkörper verbogen oder die Haftfestigkeit der Beschichtung reduziert werden, was letztendlich sogar zu einer kompletten Ablösung der Schicht führen kann. Vor allem für das in der Optik am meisten genutzte Material Siliziumdioxid (SiO_2) gibt es derzeit noch keine etablierte Methode, um mechanische Druckspannungen der Beschichtungen zu reduzieren. Üblicherweise werden zur Herstellung optischer Schichten plasmagestützte Abscheidungsverfahren verwendet, die infolge des Beschusses mit energiereichen Ionen zwar Schichten mit einer hohen Dichte, d. h. auch einer hohen Schichtstabilität erzeugen können. Gleichzeitig entstehen so aber zumeist auch starke Druckspannungen in der Schicht. Am Fraunhofer IST wurde im Rahmen eines von Fraunhofer geförderten DISCOVER Projekts erstmalig das Heißdraht-CVD-Verfahren (HWCVD, Hot Wire Chemical Vapour Deposition) als alternative Herstellungsmethode für SiO_2 -Schichten evaluiert.

Lösungsansatz

Am Fraunhofer IST wurde der HWCVD-Prozess bereits für die Materialien Diamant, Silizium, Siliziumcarbid und Siliziumnitrid für unterschiedliche Anwendungen bis zur industriellen Umsetzung entwickelt. Darüber hinaus lassen sich mit dem HWCVD-Verfahren auch eigenspannungsfreie Nitride auf Kunststoffen unter partikelarmen Bedingungen mit hohen Raten wirtschaftlich abscheiden. Die Herstellung von Oxidschichten mit dieser Beschichtungstechnologie ist jedoch bisher weitgehend unerforscht und in der optischen Industrie noch überhaupt nicht bekannt. Beim HWCVD-Verfahren werden innerhalb eines Vakuumbehälters elektrisch beheizte Wolframdrähte im Bereich von 1900 °C – 2100 °C verwendet, um SiH_4 zu dissoziieren und unter Zugabe von Sauerstoff das Metalloxid herzustellen. Die Herausforderung besteht nun darin, die Oxidation der heißen Drähte durch den für die Oxidbildung zwingend erforderlichen Sauerstoff zu verhindern.

Ergebnisse der Siliziumoxid-Herstellung

Für die Entwicklung der Siliziumoxid-Schichten wurde mit Hilfe eines statistischen Versuchsplans (Design of Experiment,

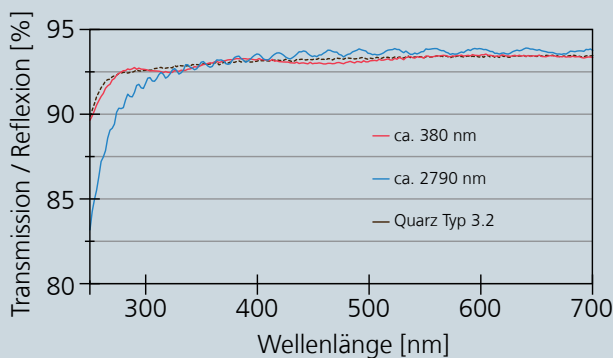
DOE) eine Parameterstudie auf Quarzglas durchgeführt. Dabei wurden Gaszusammensetzungen, Drücke und Temperaturen berücksichtigt. Die Untersuchung hochtransparenter Schichten (vgl. nebenstehende Graphik), die mit geringen Druckspannungen hergestellt wurden, ergab dabei die folgenden Schichteigenschaften: Hohe Transparenz für $d(\text{SiO}_2)=380\text{ nm}$ $T_{250\text{ nm}} > 89\%$ auf Quarz, geringe Druckspannung für $d(\text{SiO}_2) 2,5\text{ }\mu\text{m}$ $\sigma < 170\text{ MPa}$ (eigenspannungsarm), geringe Rauheit für $d(\text{SiO}_2) 2,5\text{ }\mu\text{m} < 6\text{ nm}$, Beschichtungsraten $> 2\text{ nm/s}$, Wolfram Kontamination $[\text{W}] \leq 0.2\text{ atom\%}$, keine Substrat- und Schichtschädigung durch Ionenbeschuss.

Im Anschluss an die Parameterstudie wurde am Fraunhofer IST ein spannungsarmes Antireflex-Schichtsystem (vgl. Abbildung 2) auf einer Fläche von $10 \times 10\text{ cm}^2$ hergestellt. Dies besteht aus vier sich abwechselnden hochbrechenden Si_3N_4 - und den entwickelten, niedrigbrechenden SiO_2 -Schichten, die mit Hilfe des HWCVD-Verfahrens abgeschieden wurden. Die Antireflexschicht weist eine sehr geringe Druckeigenspannung von weniger als 50 MPa auf, d. h. die Gefahr des Abplatzens der Schicht oder ein Verbiegen des Grundkörpers kann ausgeschlossen werden.

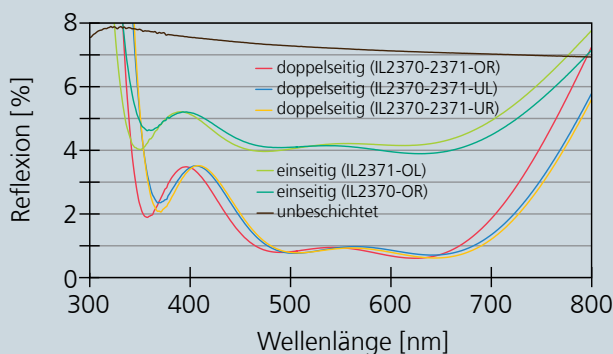
Ausblick

Durch die hohe Beschichtungsrate bei gleichzeitig hoher optischer Güte und geringen Eigenspannungen sind zukünftig Endprodukte mit deutlich erhöhter Lebensdauer zu günstigen Herstellungskosten umsetzbar. Geplant ist der Einsatz in der Displayfertigung für z. B. die Handyproduktion oder die Herstellung von Fahrzeuginnenausstattung über Anwendungen im Solar- und Architekturglasbereich bis hin zur Nutzung als Barriere- oder dekorative Schichten.

Schichttransmission für Quarzglas und SiO₂-Schichten.



Reflexionsverhalten der 4-fach-Antireflexschicht (ein und doppelseitig) im Vergleich zum Quarzglas.



1 7-Kammer Inline-Beschichtungsanlage für HWCVD-Verfahren am Fraunhofer IST.

2 4-fach-Antireflexschicht auf Glas
 $Si_3N_4-SiO_2-Si_3N_4-SiO_2$

KONTAKT

Dr. Volker Sittinger
Telefon +49 531 2155-512
volker.sittinger@ist.fraunhofer.de

Dr. Markus Höfer
Telefon +49 531 2155-620
markus.hoefer@ist.fraunhofer.de