

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Ultrahard optical diamond coatings (ULTRAHARD)

Die Herausforderung

Ein transparenter Kratzschutz oder eine Kombination aus Kratzschutz und einer Antireflexbeschichtung (AR-) wird heute in vielen Industriezweigen eingesetzt: von der Uhrenindustrie über optische Instrumente und Sensorsysteme bis hin zur Medizintechnik. Der Kratzschutz bestimmt oft die Einsetzbarkeit und die Lebensdauer optischer Bauteile. Ist das Glas einer Armbanduhr oder die Linse eines optischen Messsystems zerkratzt oder durch Abrieb eingetrübt, ist eine weitere Nutzung oftmals nicht mehr möglich. Die existierenden Beschichtungslösungen für einen transparenten Kratzschutz stoßen jedoch an physikalische Grenzen. Die Nachfrage nach verbessertem Kratzschutz und damit längeren Produktlebensdauern steigt daher stetig.

Die Innovationsidee

Ziel des IGF-Projekts war die Entwicklung ultraharter transparenter Diamantschichten für optische Anwendungen. Hierfür sollten dünne (< 500 nm) und überaus glatte Diamantschichten auf verschiedenen Substraten (Quarzglas, Borosilikatglas, Floatglas, Saphir) aufgebracht wer-

den. Für die Herstellung von AR-Schichtstapeln sollten zudem Diamantschichten mit exakt definierten Dicken in Mehrschichtsysteme aus niedrig- und mittelbrechenden konventionellen Schichten (Siliziumoxid und Siliziumnitrid) eingebettet werden. Um einen möglichst großen Nutzen solcher Schichtsysteme für optische Anwendungen zu erzielen, sollten sie eine hohe Transmission, eine geringe Absorption sowie möglichst keine Streuung und Reflektion aufweisen. Die erhöhte Kratzfestigkeit beziehungsweise die erhöhte mechanische Widerstandsfähigkeit gegenüber abrasiven Belastungen soll hierbei durch die hohe Härte und Verschleißfestigkeit von Diamant erreicht werden.

Um teilweise temperaturempfindliche Grundkörper auf Flächen von mindestens 100 mm x 100 mm mit hoher Homogenität und hohen Schichtwachstumsraten wirtschaftlich beschichten zu können, mussten die Substratvorbehandlung und die Prozessauslegung der beiden Beschichtungsverfahren HFCVD (Heißdraht-aktivierte Gasphasenabscheidung) und mikrowellenunterstützte PACVD (Plasma-aktivierte Gasphasenabscheidung) optimiert werden.

Projektinformationen (DE)

IGF-Nr.:	263 EN
Laufzeit:	01/2020 - 03/2022
Fördersumme:	262.132 EUR
Industrieleistungen:	226.460 EUR

- Forschungseinrichtungen**
- Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST Braunschweig
 - Interuniversity microelectronic centre, Institute for Materials Research in Microelectronics (BE)
 - Hasselt University, Faculty of Sciences, Hasselt (BE)

- Projektbegleitender Ausschuss**
- ASKANIA Mikroskop Technik Rathenow GmbH KMU
 - ASML Berlin GmbH
 - Blösch AG KMU
 - CREAVAC – Creative Vakuumbeschichtungen GmbH KMU
 - GD Optical Components GmbH KMU
 - PLASUS GmbH KMU
 - PrinzOptics GmbH KMU
 - QIOPTIQ Photonics GmbH & Co. KG
 - W&L Coating Systems GmbH
 - u. weitere 13 Unternehmen (BE)

- Diamantbeschichtung**
- Oberflächenfunktionalisierung**

Das Programm „Industrielle Gemeinschaftsforschung“ (IGF) ...

... fördert Studien zur industriellen Machbarkeit von Innovationsideen und beschleunigt so Technologietrends. Dazu arbeiten Wissenschaft, Industrie und Politik zusammen:

0 Das **BMWK** fördert vorwettbewerbliche, innovationsorientierte Forschung mit dem IGF-Programm.

1 **Industrie** und **Wissenschaftler** entwickeln Innovationsideen und geben Projektimpulse.

2 **AiF-Forschungsvereinigungen**, wie die F.O.M., finden Forschungspartner.

3 **Wissenschaftler** von je 1-3 Forschungseinrichtungen schreiben Förderanträge.

4 **Industrieunternehmen** beraten bei der Entwicklung der Anträge.

5 Die **Forschungsvereinigungen** optimieren die Qualität der Vorhaben und der Anträge und reichen die Anträge ein.

6 Die **Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF)** lässt die Anträge durch **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten.

7 Das **BMWK** finanziert die Forschungskosten bis max. 275/525/750 T EUR.

8 Die **Industrie** teilt sich die Administrationskosten.

9 Die **Wissenschaftler** der Forschungseinrichtungen führen die Forschung durch.

10 Die **Forschungsvereinigungen** stellen mithilfe von je 10-20 Unternehmen projektbegleitender **Industrieausschüsse** mit mindestens 50 % KMU einen regen Technologietransfer bis hinein in die Branchen sicher.

11 Die **Industrie** sorgt durch Bekundung ihrer Interessen für die Praxisrelevanz der Forschung, steuert Industrieexpertise bei und validiert die Ergebnisse.

Gemeinsam stärken wir die Innovationskraft des Mittelstands und den Fachkräftenachwuchs in Deutschland.

Für eine ausführlichere Fassung des Abschlussberichts wenden Sie sich bitte an:

Kontakt / Impressum

Forschungsvereinigung F.O.M.
Werderscher Markt 15, 10117 Berlin
030 4140 21-50
info@forschung-fom.de
www.forschung-fom.de



Die Ergebnisse

In einem ersten Schritt wurde der HFCVD-Beschichtungsprozess so angepasst, dass die Beschichtungstemperatur auf ca. 680 °C gesenkt werden konnte, sodass neben Quarzglas und Saphir auch temperatur-sensitive Gläser wie Borosilikatglas erfolgreich beschichtet werden können. Mit dem PACVD-Beschichtungsprozess ist durch die niedrige Beschichtungstemperatur sogar die Beschichtung von Floatglas möglich. Zudem wurden verschiedene Strategien zur Substratreinigung und -bekeimung (z. B. Ultraschall-sprühbasiert) optimiert.

Mit den optimierten Prozessen wurden erfolgreich Demonstratoren mit Grundflächen bis 300 mm x 300 mm aus Borosilikat- oder Quarzglas mit einer transparenten, ultraharten Diamantschicht hergestellt. Unterschiedliche Schichtsysteme (z. B. Diamantschicht mit niedrigbrechender Siliziumoxid-Deckschicht) und AR-Schichtstapel aus vier Schichten (Siliziumnitrid – Siliziumoxid – Diamantschicht – Siliziumoxid) wurden erfolgreich vollständig mit dem HFCVD-Prozess aufgebracht. Untersuchungen der mechanischen und optischen Eigenschaften verschiedener hergestellter Schichtsysteme lieferten teilweise sehr gute Ergebnisse:

Die auf Quarz- oder Borosilikatglas abgedichteten Diamantschichten und die Mehrschichtsysteme zeigen hohe Haftfestigkeiten, sodass keine Delaminationen nach der Beschichtung auftreten. Im Sandrieseltest wurden insbesondere bei Proben aus den kühleren HFCVD-Beschichtungsprozessen sehr gute Ergebnisse erzielt, bei denen lediglich vereinzelt Schichtschädigungen nach Aufprall von 3 kg Quarzsand auftreten. Die vergleichsweise weiche Siliziumoxid-Deckschicht stabilisiert das Gesamtsystem und setzt das Schädigungsmaß herab.

Bei reinen Diamantschichten erhöht sich die Transmission und sinkt die Ab-

sorption mit sinkender Beschichtungstemperatur. Das Aufbringen einer Siliziumoxid-Deckschicht auf Einzelschichten und Mehrschichtsysteme erhöht die Transmission zusätzlich. Die Absorption bleibt jedoch trotz allem zu hoch, sodass eine weitere Optimierung nötig ist, um Diamantschichten auch für optische Komponenten nutzbar zu machen.

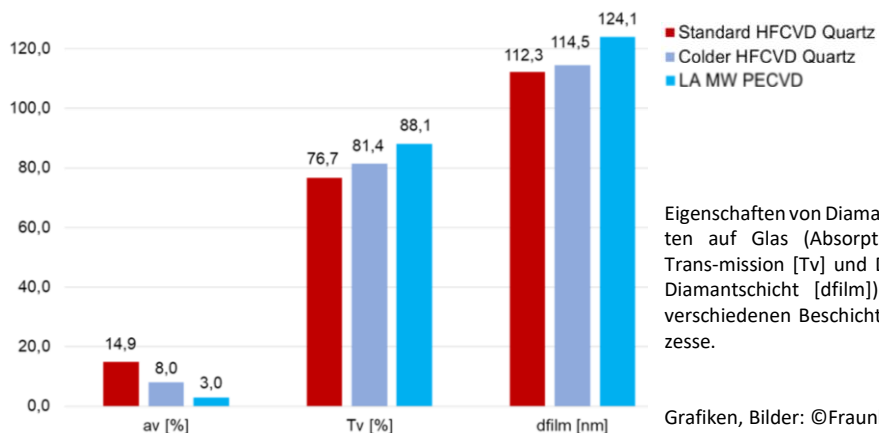
Die Verwertung

KMU-Nutzen

Zur Herstellung ultrasensibler, transparenter Oberflächen und hochharter AR-Schichtstapel können Diamantschichten auf verschiedene Glassubstrate aufgebracht oder in Mehrschichtsysteme integriert werden. Bei optischen Bauteilen müssen die Schichten entsprechend der anwendungsspezifischen Anforderungen der mittelständisch geprägten Photonikindustrie (z. B. sehr geringe Absorption) weiter angepasst werden. Dann können die hochharten, verschleißfesten und chemisch inerten Diamant-Dünnschichten beispielsweise auch als Medium mit hohem Brechungsindex eingesetzt werden. Wenn die optischen Eigenschaften zweitrangig sind, lassen sich die Schichten durch die erzielte Beständigkeit gegen mechanische Einwirkungen bereits jetzt für Anwendungen unter herausfordernden abrasiven Umgebungsbedingungen (z. B. Hitze, Sand, Korrosion) einsetzen. Die Möglichkeit, alternativ die HFCVD- oder die PACVD-Beschichtungs-technologie zu verwenden, um die den Diamantfilm umgebenden Schichten abzuschneiden, erhöht die Flexibilität der Unternehmen in Bezug auf die genutzte Beschichtungsanlage.

Umsetzung

Mit mehreren Unternehmen werden seit Projektende weitere Entwicklungen, z. B. zur Senkung der Absorption, geplant. Ein z. B. über IrtSME gefördertes Folgeprojekt ist in Diskussion.



Eigenschaften von Diamantschichten auf Glas (Absorption [av], Transmission [Tv] und Dicke der Diamantschicht [dfilm]) für die verschiedenen Beschichtungsprozesse.

Grafiken, Bilder: ©Fraunhofer IST