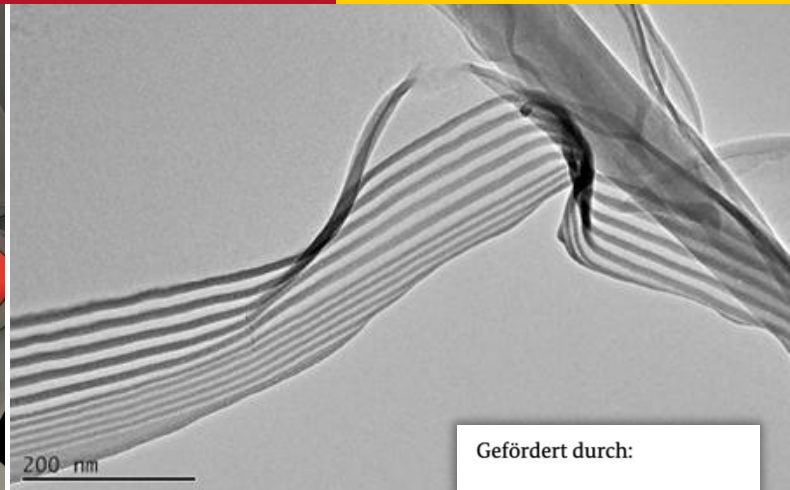


Industrielle Gemeinschaftsforschung

F.O.M.

033



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Quantisierende Nanolamine für brechwert-optimierte UV-Interferenzfilter (Quant-UV)

Die Herausforderung

Im aktuellen Trend einer zunehmenden Systemintegration optischer Komponenten zum Zwecke der Miniaturisierung und idealerweise zur Steigerung der Funktionalität steigen die Anforderungen an die Leistungsfestigkeit und die optischen Spezifikationen der optischen Komponenten rapide an. Eine weitere große Herausforderung ist die Herstellung optischer Komponenten mit geringen Absorptionsverlusten für Anwendungen im ultravioletten (UV-) Spektralbereich, da das kurzwelligere Licht höhere Auflösungen erlauben würde. Doch nur wenige Beschichtungsmaterialien sind im UV-Bereich ausreichend transparent. Die hier einsetzbaren oxidischen Materialien haben eine vergleichsweise geringe optische Brechkraft, die ihre Verwendbarkeit in optischen Beschichtungen zudem stark einschränkt. Die benötigte weitere Leistungssteigerung optischer Komponenten für Anwendungen im UV-Bereich erfordert also völlig neue Materialkonzepte, um das Spektrum der verfügbaren Materialeigenschaften für optische Beschichtungen kontrollierbar und mit einem überschaubaren Herstellungsaufwand zu erweitern.

Die Innovationsidee

Ziel war, die aus der Optoelektronik bekannten "quantisierenden Nanolamine" (QNL) als Material für optische Beschichtungen im UV-Bereich zu validieren und nutzbar zu machen, von denen bereits bekannt war, dass sie die Absorptionskante zu kürzeren Wellenlängen verschieben. QNL sind bis zu mehreren hundert Nanometer dicke alternierende Schichtfolgen binärer Oxide, die aus tausenden Einzelschichten aus ein- bis fünffachen Atomlagen bestehen. Durch die Dünnschichtigkeit der Strukturen wird die Beweglichkeit der Elektronen in einer Richtung eingeschränkt, was klassische Verhaltenweisen der dielektrischen Materialien teilweise "blockiert". Dieser Quantisierungseffekt soll eine höhere Resistenz gegenüber hohen Laserleistungen und die Einsetzbarkeit hochbrechender Materialien für kürzere Wellenlängen bewirken. Verschiedene QNL sollten hergestellt und ihre Quantisierungseffekte geprüft werden. Absorption und Brechungsindex sollten sich unabhängig von einander beeinflussen lassen. Präzision und Stabilität des Herstellungsprozesses sollten untersucht und Umsetzungshürden eliminiert werden.

Projektinformationen

IGF-Nr.:	21364 N
Laufzeit:	01/2021 - 12/2023
Fördersumme:	238.991 EUR
Industrieleistungen:	248.600 EUR

Forschungseinrichtungen

- Laser Zentrum Hannover e. V.

Projektbegleitender Ausschuss

- Carl Zeiss SMT GmbH
- Cutting Edge Coatings GmbH ^{KMU}
- Evatec AG
- HÜBNER GmbH & Co. KG
- InnoLas Laser GmbH ^{KMU}
- LASER COMPONENTS Germ. GmbH ^{KMU}
- LASEROPTIK GmbH ^{KMU}
- Optics Balzers Jena GmbH ^{KMU}
- robeko GmbH ^{KMU}
- UltraFast Innovations GmbH ^{KMU}

- Brechwertoptimierung von UV-Interferenzfiltern
- Quantisierende Nanolamine
- Ultrakurzpulsspektroskopie

Projektbegleitende akademische Abschlussarbeiten

- Zwei Master-Arbeiten
- Eine Bachelor-Arbeit

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 IGF-**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 Ehrenamtliche **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten und bewerten die Anträge ganzjährig.

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 **Industrierausschüsse** mit mindestens 50 % KMU einen regen Technologietransfer bis in die Branchen hinein 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.
Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin
030 4140 21-50
info@forschung-fom.de
www.forschung-fom.de

Die Ergebnisse

Theoretische Abschätzungen ergaben, dass die für eine effektive Quantisierung und signifikante Verschiebung der Absorptionskante in den UV-Bereich zu verwendenden Schichten maximal 2 nm (ein bis fünf Atomlagen) dick sein dürfen. Um mit den QNL die optischen Eigenschaften eines Interferenzsystems zu erreichen, das teilweise mehrere hundert Nanometer dick ist, sind bei der Herstellung von optischen Interferenzfiltern einige tausend Einzelschichten notwendig.

Zur Herstellung optischer Beschichtungen mittels QNL waren zunächst Anpassungen in der Prozessführung bzw. der Beschichtungsanlage mittels Ionenstrahlzerstäubung (engl.: *Ion Beam Sputtering*, IBS) nötig: Für eine effiziente und automatisierbare Designsynthese der vielen Schichten wurde die Anlagensteuerung um ein "Nanolaminatmodul" erweitert, das definierte Nanolaminatschichtstapel im Schichtdesign als quantisierende Metastrukturen erkennt. Damit bleibt das Design lesbar und nicht-quantisierende Schichten erkennbar. Um bei den vielen Materialwechseln die Notwendigkeit, mechanische Komponenten zu bewegen, zu vermeiden, wurde eine zusätzliche Sputterquelle genutzt. Mit diesen Anpassungen liefen die Beschichtungsprozesse stabil, sodass QNL zeitgesteuert hergestellt werden konnten.

Für die hergestellten QNL aus ZrO_2 , TiO_2 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 und HfO_2 , jeweils mit SiO_2 als Barrierematerial, konnte eine Erweiterung des Spektralbereichs durch eine "Blauverschiebung" der Bandkante je nach Material von über 100 nm erreicht werden. Während sich bei den HfO_2 - und Ta_2O_5 -QNL die theoretischen Vorhersagen bestätigten, zeigten sich bei den TiO_2 -, Nb_2O_5 - und ZrO_2 -QNL höhere Absorptionen, die auf die Bildung von Zwischenzuständen zurückzuführen waren. Zudem traten bei Schichtdicken unterhalb von ca. 1 nm bei allen Materialkom-

binationen deutliche Mischeffekte auf, die den Brechwert erheblich reduzierten. Für größere Schichtdicken war dagegen der Brechwert weitgehend unabhängig von der Bandkante zu ändern.

Mit den QNL konnten sowohl funktionale Beschichtungen mit einfachen Schichtsystemen, wie zur Entspiegelung und für Spiegel, realisiert werden als auch mit komplexen Schichtsystemen, wie für Polarisationsstrahlteiler und Passfilter. Dabei wiesen beispielsweise Einwellenlängenantireflexbeschichtungen sehr geringe Verluste von unter 1 % auf.

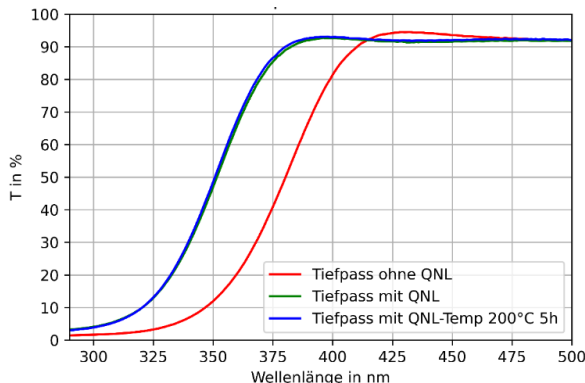
Die Verwertung

KMU-Nutzen

Auf Basis der Ergebnisse kann die mittelständisch geprägte Photonik-Branche optische Komponenten mit höherer Leistung, z. B. höhere Reflektivitäten und höhere Zerstörschwellen, fertigen. Durch die Erweiterung des Beschichtungs-Materialpools für Anwendungen im UV-Bereich wird die Herstellung von optischen Komponenten unter Verwendung von besser verfügbaren und günstigeren Materialien ermöglicht. Auch für die Erreichung der geforderten höheren Auflösungen bildgebender Verfahren in der Medizintechnik, für eine höher auflösende Lithografie in der Halbleitertechnik sowie für die neue lasergetriebene Kernfusion werden optische Komponenten und Beschichtungen benötigt werden, deren Herstellung auf den entwickelten Erkenntnissen über QNL beruhen.

Umsetzung

Derzeit arbeiten mehrere Hersteller von Beschichtungsanlagen an marktfähigen Konzepten, die teilweise bereits in die Unternehmensstrategien integriert werden. Ein Beschichter plant die Anpassung seiner "klassischen" IBS-Anlagen auf das hier erarbeitete Konzept des Dual-IBS-Verfahrens, um QNL herzustellen und mit diesen die Beschichtungen für den UV-Wellenlängenbereich zu optimieren.



Blauverschiebung am Beispiel eines Langpassfilters für 375 nm aus $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ -QNL.