

## SCHMALER IR-BANDPASSFILTER AUF DREIDIMENSIONALEN OBERFLÄCHEN

Sogenannte LIDAR-Systeme (Light Detection and Ranging) für Abstandsmessungen spielen nicht nur in der Automobilindustrie, z. B. beim autonomen Fahren eine wichtige Rolle, sondern sind auch essenziell in der Luft- und Raumfahrt. Hier liefern sie die Daten, wenn es darum geht, dass eine Raumkapsel präzise an eine Raumstation andocken soll. Um Fehler durch störendes Licht z. B. von der Sonne zu verhindern, wird ein schmalbandiger Infrarotbandpassfilter (IR-Bandpassfilter) mit breiter Blockung vor die eigentliche Optik gesetzt. Das Ziel ist es, künftig kompaktere und vor allem auch leichtere Systeme zu entwickeln. Einen Baustein dafür liefert das Fraunhofer IST mit der Entwicklung eines Prozesses, der eine direkte Abscheidung eines Bandpassfilters auf der Linse ermöglichen soll.

### Die Herausforderung

Zur Herstellung schmaler IR-Bandpassfilter mit breiter Blockung wird am Fraunhofer IST ein komplexes System aus einer Vielzahl von Einzelschichten in der EOSS®-Sputteranlage hochpräzise abgeschieden. Die Abscheidung auf dreidimensionalen Oberflächen wie asphärischen Linsen stellt dabei eine große technische Herausforderung dar, denn die Beschichtungsrate hängt stark vom Abstand und Winkel der Beschichtungsfläche relativ zur Beschichtungsquelle ab.

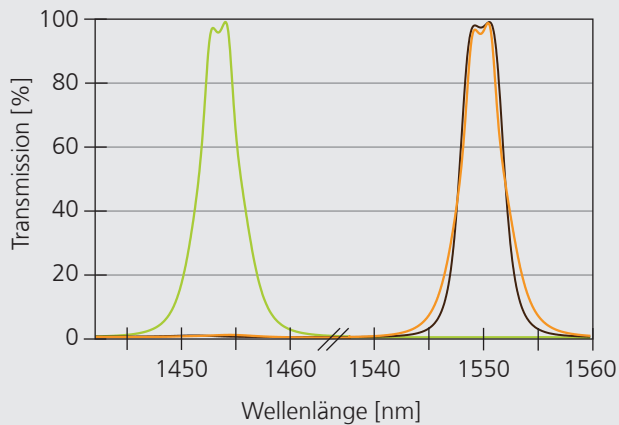
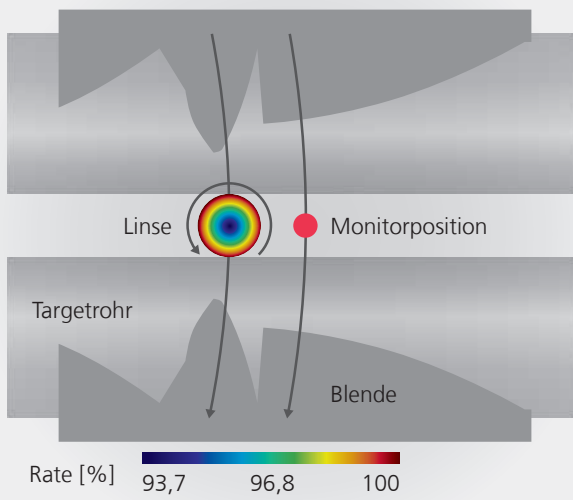
Ohne Korrekturmaßnahmen führt dies dazu, dass die Beschichtung einer plankonvexen Linse in ihrem Zentrum dicker ist als an den Rändern. Darüber hinaus ändert sich ebenfalls in Abhängigkeit von der Position auf der Linse zusätzlich der Einfallswinkel. Beide Effekte – die sinkende Schichtdicke zum Rand der Linse und der steigende Einfallswinkel – verstärken sich gegenseitig und verschieben den Bandpass zu kleineren Wellenlängen (vgl. Abbildung 2).

### Die Lösung des Fraunhofer IST

Um beide negativen Effekte zu kompensieren, ist allein eine homogene Beschichtung der dreidimensionalen Oberfläche – z. B. mittels ALD-Verfahren (Atomic Layer Deposition) – nicht

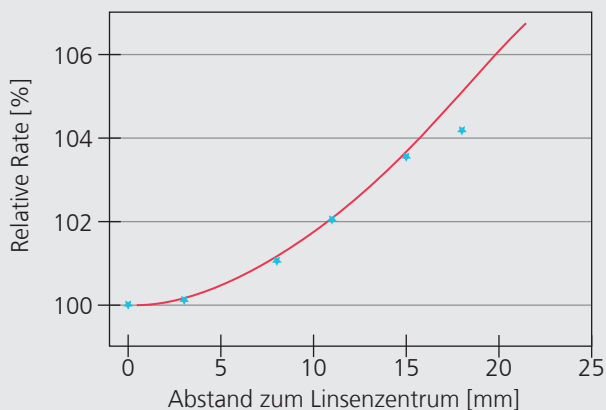
ausreichend. Für eine ideale Kompensation ist vielmehr ein Schichtdickengradient notwendig, bei dem die Dicke zum Rand der Linse so zunimmt, dass auch die Verschiebung des Bandpasses durch den steigenden Einfallswinkel korrigiert wird. Dazu wurde am Fraunhofer IST ein Prozess entwickelt, mit dem die optischen Filter auf einer plankonvexen asphärischen Linse mit einem Durchmesser von 50 mm mittels Magnetronsputtern präzise abgeschieden werden können.

Die Zentralwellenlänge des Bandpasses liegt bei 1550 nm. Für eine Störlichtunterdrückung sollte der Filter von 400 bis 1800 nm eine Blockung aufweisen. Diese sehr breite Blockung des Filtersystems wird mit zwei verschiedenen Schichtdesigns erreicht: Zum einen wird die plane Rückseite der Linse mit einem Blocker in Form eines Langpasses homogen beschichtet, zum anderen wird auf der konvexen Seite ein Bandpass mit einer Gradientenblende präzise abgeschieden. Der notwendige Schichtdickengradient auf der Linse wird mit Hilfe einer Rotation des Substrats und einer geeigneten Blende ermöglicht. Durch ein speziell angepasstes Schichtdesign ist der Bandpass auch bei dem maximalen Einfallswinkel von 37° nahezu unverändert (vgl. nebenstehende obere Grafik). Die Blendenform wurde mit Hilfe eines Digital Twin des Beschichtungsprozesses in der EOSS®-Anlage optimiert und konnte ohne weitere Anpassungen übernommen werden.



- T unpolarisiert 0 °, Dicke 100%
- T unpolarisiert 37 °, Dicke 100%
- T unpolarisiert 37 °, Dicke 106,8%

Transmission eines modifizierten Bandpasses für die Einfallswinkel von 0 ° und 37 ° mit unpolarisiertem Lichtstrahl. Das Transmissionspektrum für einen Einfallswinkel von 0 ° ist für eine Dicke von 100 % dargestellt. Die Transmissionspektren für einen Einfallswinkel von 37 ° sind für eine Dicke von 100 % und 106,8 % gezeigt.



- Simulierte Rate
- \* Gemessene Rate auf der Linse

Gemessene und simulierte relative Rate des Tantalpentoxids, bezogen auf die Linsenmitte. Für einen optimalen Schichtdickengradient muss die Linse auf einer Umlaufbahn mit einem Radius von 545 mm gedreht werden.

- 1 Beschichtete asphärische plankonvexe Linsen.
- 2 Schema eines LIDAR-Systems.
- 3 Darstellung der Siliziumdioxid-Linsenblenden, der Linse und des Monitorsubstrats mit den jeweiligen Ratenprofilen auf den Oberflächen. In der Abbildung sind die Targets, die Hauptrotation der Anlage und die Subrotation der Linsen eingezeichnet.

## Ausblick

Nach erfolgreicher Entwicklung des Prozesses ist es geplant, den vollständigen schmalen IR-Bandpassfilter mit breiter Blockung auf der Linse abzuscheiden und im LIDAR-System zu testen.

## Das Projekt

Der schmale IR-Bandpassfilter auf einer plankonvexen asphärischen Linse mit einem Durchmesser von 50 mm für beispielsweise eine LIDAR-Anwendung wurde im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts »EPIC Lens« (FKZ 13N14583) entwickelt.

## KONTAKT

Chris Britze, M. Sc.  
 Telefon +49 531 2155-516  
 chris.britze@ist.fraunhofer.de