

# Omnidirektionale Entspiegelungen auf Basis von Gradientenschichten



Robert Leitel



Jörg Petschulat



Olaf Stenzel



Norbert Kaiser

Entspiegelungsschichten gehören zu den am häufigsten verwendeten Oberflächenvergütungen im Bereich optischer Systeme, um die Intensität des transmittierten Lichts zu erhöhen und das Auftreten von Geisterbildern an inneren Grenzflächen zu vermeiden. Die reflexionsmindernde Wirkung konventioneller Schichtstapel ist vom Einfallswinkel des Lichts abhängig, so dass Schichtdesigns mit sehr geringer oder keiner Winkelabhängigkeit neue Anwendungsbereiche erschließen /1/. Es werden zwei Konzepte zur Realisierung verfolgt.

Zum einen werden mittels Niederdruckplasma-Ätzverfahren stochastisch verteilte Oberflächenstrukturen auf Kunststoff (PMMA) erzeugt, die in ihren lateralen Ausdehnungen deutlich kleiner sind als die Wellenlängen des sichtbaren Lichts. Diese so genannten Mottenaugen-Strukturen ähneln denen auf der Augenoberfläche nachtaktiver Insekten /2/ und können mit Hilfe eines kontinuierlichen Brechzahlgradienten beschrieben werden. Durch die stetige Abnahme der Brechzahl vom Substrat zum umgebenden Medium (Abb. 1) wird eine breitbandige Reflexionsminderung erreicht (Abb. 2), die selbst bei schrägem Lichteinfall sehr effizient ist. Die Anwendung des Prinzips auf Metalloberflächen führt zu hochwirksamen breitbandigen omnidirektionalen Absorbern /3/.

Das zweite Konzept basiert auf der Erzeugung von Brechzahlgradientenschichtsystemen durch Mischung von hoch- und niedrigbrechenden Festkörpermaterialien. Mittels gleichzeitiger Verdampfung zweier Materialien mit kontinuierlich veränderbaren Raten wird ein stetiger Brechzahlverlauf (Abb. 3) erzeugt. Diese Systeme weisen eine geringe spektrale Winkelabhängigkeit der Reflexion auf (Abb. 4) und erlauben die Ausnutzung gegenläufiger Brechzahlprofile /4/ durch die Erzeugung von Mischbrechzahlen, die zwischen den Brechzahlen der Reinmaterialien liegen. Die Kombination von klassischen homogenen Schichtstapeln und linearen Brechzahlgradienten berücksichtigt die Realisierungsmöglichkeiten moderner Beschichtungsanlagen.

#### Literatur:

- /1/ Poitras, D.; Dobrowolski, J. A.: "Toward perfect antireflection coatings: 2. Theory", *Appl. Opt.* 43 (2004) 1286.
- /2/ Wilson, S. J.; Hutley, M. C.: "The optical properties of moth eye antireflection surfaces", *Optica Acta* 29 (1982) 993.
- /3/ Leitel, R.; Kaless, A.; Petschulat, J.; Schulz, U.; Stenzel, O.; Kaiser, N.: "Optical properties of stochastic subwavelength surface structures", *SPIE Proc.* 5965 (2005) 511.
- /4/ Janicki, V.; Leitel, R.; Wilbrandt, S.; Stenzel, O.; Gäbler, D.; Kaiser, N.: "Design of hybrid coatings composed of homogeneous coatings and refractive index gradients", *SPIE Proc.* 5963 (2005) 397.

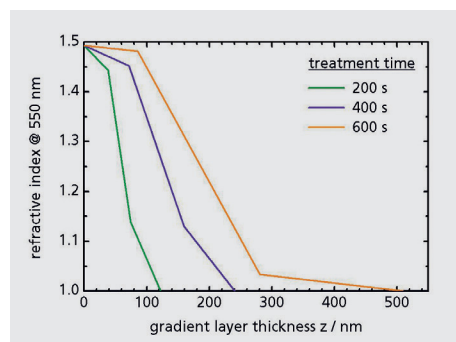


Abb. 1: Berechnetes Brechzahlprofil von Mottenaugen-Strukturen für verschiedene Plasma-Ätzeiten.

Fig. 1: Refractive index profile of moth's eye structures obtained from reverse engineering for varying plasma etching times.

# Omnidirectional antireflective coatings based on graded-index films

Antireflective films are among the most frequently used coatings in the area of optical systems to improve the intensity of transmitted light and to prevent the appearance of ghost images due to multiple reflections at intrinsic surfaces. The elimination of reflection losses of conventional multilayer stacks depends on angle of incidence of illumination, so that coating designs with negligible or no angular dependency open up new areas of application /1/. Two different concepts are pursued.

On the one hand, stochastically distributed surface structures are fabricated on plastics (PMMA) with lateral dimensions that are noticeably smaller than the wavelength of the visible light. Those so-called moth's eye structures resemble the surface of the cornea of nocturnal moths /2/ and may be described by smooth refractive index gradients. Broadband antireflection (Fig. 2), efficient even at oblique incidence, is achieved by a continuous decrease of refractive index from substrate to ambient medium (Fig. 1). The application of this principle to metal surfaces leads to highly efficient broadband omnidirectional absorbers /3/.

The second idea is based on the generation of graded-index coatings by mixing high and low refractive index solid-state materials. A smooth refractive index gradient is achieved by coevaporation

of two materials with continuously changing rates (Fig. 3). Such coatings exhibit low spectral dependencies of reflection on angular variation (Fig. 4) and take advantage of gradients that profile in opposite directions /4/ generating intermixed refractive indices which have values between those of the pure materials. The combination of classical multilayer stacks and linear refractive index gradients (Fig. 3) allows for possibilities regarding the realization of modern deposition plants.

### References:

- /1/ Poitras, D.; Dobrowolski, J. A.: "Toward perfect antireflection coatings: 2. Theory", Appl. Opt. 43 (2004)1286.
- /2/ Wilson, S. J.; Hutley, M. C.: "The optical properties of moth eye antireflection surfaces", Optica Acta 29 (1982) 993.
- /3/ Leitel, R.; Kaless, A.; Petschulat, J.; Schulz, U.; Stenzel, O.; Kaiser, N.: "Optical properties of stochastic subwavelength surface structures", SPIE Proc. 5965 (2005) 511.
- /4/ Janicki, V.; Leitel, R.; Wilbrandt, S.; Stenzel, O.; Gäbler, D.; Kaiser, N.: "Design of hybrid coatings composed of homogeneous coatings and refractive index gradients", SPIE Proc. 5963 (2005) 397.

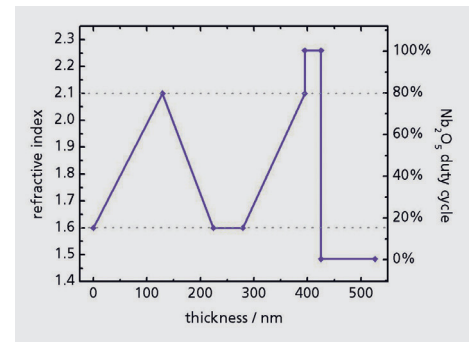


Abb. 3: Brechzahlprofil und Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Füllfaktorverlauf eines hybriden Antireflexionssystems basierend auf SiO<sub>2</sub> und Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Fig. 3: Refractive index and Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> duty cycle profile of a hybrid antireflection coating composed of SiO<sub>2</sub> and Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

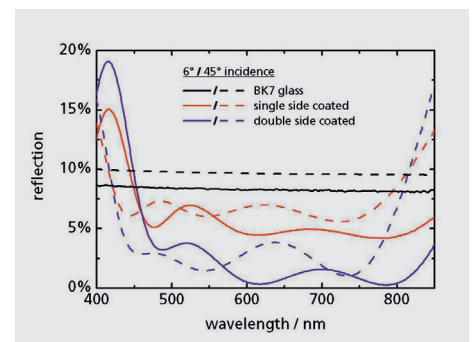


Abb. 4: Reflexionsspektren für senkrechten und schrägen Lichteinfall für einseitig und beidseitig beschichtetes BK7.

Fig. 4: Measured reflection spectra for normal and oblique incidence of single and double side coated BK7 glass.

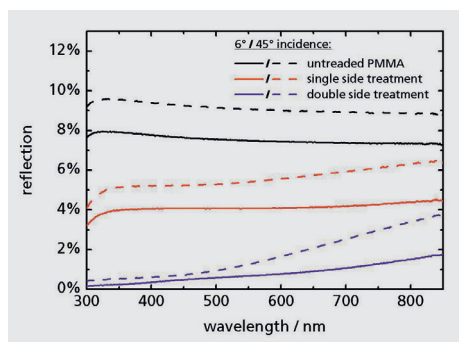


Abb. 2: Gemessene Reflexionsspektren für senkrechten und schrägen Lichteinfall für einseitig und beidseitig plasma-behandelte PMMA-Proben.

Fig. 2: Measured reflection spectra for normal and oblique incidence for single and double side plasma treated PMMA samples.