

Moderne Dünnschichtoptik jenseits des homogenen und isotropen Schichtmodells



Olaf Stenzel

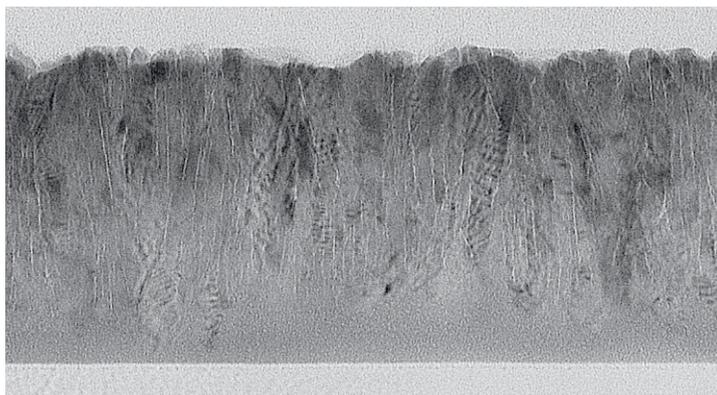


Norbert Kaiser

Der übliche theoretische Apparat der Dünnschichtoptik basiert auf einer Reihe von spezifischen Modellannahmen wie »absoluter« Glattheit und Parallelität der als unendlich dünn angenommenen Grenzflächen, sowie optischer Homogenität und Isotropie der Schichtmaterialien. Einschlägige kommerziell verfügbare Softwarepakete sind in ihrer Anwendbarkeit ebenfalls mehr oder weniger stark an die Relevanz dieser Annahmen gebunden. Dabei handelt es sich bei optischer Homogenität und Isotropie um Idealvorstellungen, die in der Praxis nie hundertprozentig gegeben sind. Abbildung 1 zeigt als extremes Beispiel die elektronenmikroskopische Querschnittsaufnahme einer durch Elektronenstrahlverdampfung abgeschiedenen Hafniumoxidschicht. Bedingt durch das verspätet einsetzende Säulenwachstum kann die Schicht weder als optisch homogen noch optisch isotrop angesehen werden. Häufig besteht das Ziel der Optimierung von Schichtabscheideprozessen dann darin, den Wunschvorstellungen von Isotropie und Homogenität in der Praxis möglichst nahe zu kommen. In einer alternativen Herangehensweise kann natürlich auch versucht werden, durch gezielte Präparation inhomogener oder anisotroper Materialien optische Beschichtungen mit neuartigen Eigenschaften zu erzielen.

Abb. 1:
TEM-Querschnittsaufnahme einer etwa 200 nm dicken Hafniumoxidschicht.
Aufnahme: Ute Kaiser, Universität Ulm.

Fig. 1:
TEM-cross section image of an approximately 200 nm thick hafnium oxide layer.
Courtesy: Ute Kaiser, University of Ulm.



Der korrekte Umgang mit Inhomogenitäten und Anisotropien ist daher für die Dünnschichtoptik aus zweierlei Hinsicht bedeutsam. Zum einen ist das Verständnis der dadurch bedingten optischen Effekte wesentlich für die korrekte Interpretation von an realen Systemen gemessenen Spektren. Zum anderen geht es um das Ausloten der Möglichkeiten anisotroper und inhomogener Schichtsysteme zum Erzielen neuartiger optischer Spezifikationen. Beispiele für derartige Systeme sind Rugatefilter, GBO-Schichten, oder auch Gitter-Wellenleiter-Strukturen (GWS) – vgl. Abb. 2. Alle diese Systeme gehen hinsichtlich ihrer spektralen Eigenschaften über die konventionellen Schichtsysteme hinaus und nehmen eine Zwischenposition zwischen konventionellen Schichtsystemen und photonischen Kristallen bzw. auch plasmonischen Systemen ein.

Die Abteilung Optische Schichten am Fraunhofer IOF hat in den letzten Jahren umfangreiche Forschungsarbeiten an derartigen Systemen geleistet und in diesen Bereichen Kompetenzen aufgebaut. Die entsprechenden Systeme sind in Abb. 2 grün unterlegt. Dabei gelang es, flexibel einstellbare spektral selektive Absorber auf Metallinselbasis zu erzeugen, neuartige winkeltolerante Breitbandentspiegelungen mit Gradientenschichten zu realisieren, sowie notch-Filter fürs VIS oder NIR auf der Basis von Rugatesystemen bzw. Gitter-Wellenleiter-Strukturen zu präparieren. Das Angebot des IOF betrifft in dieser Hinsicht Designstudien, Optimierung des Herstellungsprozesses inklusive der Ausarbeitung von Monitoringstrategien, sowie Training zu physikalischen Hintergründen und Einsatzbereichen derartiger inhomogener und anisotroper Schichtsysteme.

Gefördert durch BMWa, Förderkennzeichen 16IN0114 und 16IN0150, und TMWFK, Förderkennzeichen B507-02004.

Thin film optics beyond the homogeneous and isotropic layer model

The commonly used theoretical apparatus of thin film optics is based on a series of specific model assumptions such as infinitesimally thin, absolutely smooth and parallel interfaces, as well as optical homogeneity and isotropy of the layer materials. Often, the applicability of commercially available thin film spectra calculation software also presumes the relevance of these model assumptions. However, in practice, completely homogeneous or isotropic materials do not occur. For the sake of illustration, Fig. 1 shows an extreme case – the cross section image of a hafnium oxide layer as prepared by electron beam evaporation. Due to the columnar growth mechanism, the film is neither homogeneous nor isotropic. Usually, deposition conditions are therefore optimized with the purpose of coming as close as possible to the ideals of homogeneity and isotropy of the films. But in principle, an alternative approach could be tried: the intentional preparation of (strongly) inhomogeneous or isotropic films may result in coatings with new and superior properties.

Therefore, the correct treatment of inhomogeneities and anisotropies in thin film optics is important from two points of view: Firstly, it enables an understanding of the optical behavior of practically deposited films in a more sophisticated manner. Secondly, use can be made of the unique properties of inhomogeneous and anisotropic films to meet challenging specifications which are inaccessible to conventional optical coatings. Examples for such approaches are provided by rugate filters, Giant-Birefringent Optics (GBO)-coatings, or Grating Waveguide Structures (GWS) – see Fig. 2. All these systems show extraordinary optical performance and hold an intermediate position between conventional coatings and photonic crystals or plasmonic systems. In recent years, the Optical Coatings Department at IOF has conducted ex-

tensive research projects in the area of inhomogeneous coatings. The main fields of competence are highlighted in Fig. 2 by green fields. Some highlights of this research were the preparation of spectrally selective absorber coatings on noble metal island film basis, the deposition of omnidirectional broadband antireflection coatings with gradient index layers, and notch filters for the VIS or NIR on rugate- or GWS-basis. In this respect, IOF offers design studies, optimization of the preparation technique, evaluation of a suitable monitoring strategy, and also training in the physical background and application fields of prospective inhomogeneous and anisotropic coating designs.

Sponsored by BMWA, contract number 16IN0114 and TMWFK, contract number B507-02004.

Abb. 2: Beispiele inhomogener und anisotroper optischer Schichtsysteme.

Fig. 2: Examples of inhomogeneous and anisotropic layer systems.

Optically homogeneous	Optically isotropic	Pure materials or nanoscopically homogeneous mixtures		Composites, colloids or porous layers	
		Non-absorbing	Absorbing	Non-absorbing	absorbing
yes	yes	Conventional dielectric coatings	Conventional (selective) absorbers, metal films	composite dielectric coatings	Cermets, metal island films
	no	Giant birefringent optics (GBO)	Polarizer foils	Metal island films	
no	yes	Rugates, Gradient index layers		Rugates, Gradient index layers,	Motheye structures
	no	GWS Reflectors	GWS Absorbers	Photonic crystals and Plasmonics	