



Sergiy Yulin



Viatcheslav Nesterenko



Torsten Feigl



Norbert Kaiser

Im ausgehenden 19. Jahrhundert entwickelte Ernst Abbe die Theorie der Lichtmikroskopie /1/. Zusammen mit Carl Zeiss konstruierte er das erste beugungsbegrenzte Mikroskop im Jahre 1886, dessen Auflösung durch die Lichtwellenlänge begrenzt war. Erst die Verfügbarkeit leistungsfähiger Röntgenoptiken sowie Röntgenquellen ermöglichen seit wenigen Jahren die Entwicklung kompakter Röntgenmikroskope für das »Wasserfenster«.

Dieser Wellenlängenbereich zwischen den K-Absorptionskanten von Sauerstoff ( $\lambda_{O_2} = 2,3 \text{ nm}$ ) und Kohlenstoff ( $\lambda_C = 4,4 \text{ nm}$ ) ermöglicht die in-vivo-Abbildung biologischer Objekte mit einer Auflösung  $< 30 \text{ nm}$ . Für die Mikroskopie wird ein sphärischer Multilayer-Kollektorspiegel als Beleuchtungsoptik verwendet, während die Abbildung und Vergrößerung des Objektes mit einer Fresnel-Zonenplatte realisiert wird. Da die Belichtungszeit zu untersuchender Objekte direkt proportional zur Reflektivität des Kollektorspiegels ist, wird eine möglichst hohe Reflektivität entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems. Am Fraunhofer IOF werden Cr/Sc Multilayer als Beschichtung für Röntgenmikroskopkollektoren verwendet. Eine Reflektivität von 20,2 % @ 3,12 nm /2/ konnte in der Vergangenheit mit barriereoptimierten Cr/Si-Systemen erreicht werden (Abb. 1).

Cr/Sc Multilayer wurden für eine Wellenlänge von 3,374 nm und einem Einfallswinkelbereich von 0,6° bis 1,5° durch Magnetronputtern auf sphärischen Substraten mit einem Durchmesser von 58 mm abgeschieden. Die Röntgenreflexion des Kollektors wurde für verschiedene Radien gemessen (Abb. 2). Durch Optimierung des Multilayerdesigns sowie des Beschichtungsprozesses wurde eine Reflektivität von

über 4,0 % @ 3,374 nm erreicht. Die Verbesserung des Kontrastes eines speziellen Elements kann durch die Abbildung bei zwei verschiedenen Wellenlängen erreicht werden. Die entsprechenden Wellenlängen können aus dem Spektrum durch unterschiedliche Kollektorbeschichtungen gefiltert werden.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen einen zwei-Wellenlängen-Kollektor mit  $\lambda_1 = 3,435 \text{ nm}$  und  $\lambda_2 = 3,745 \text{ nm}$  und einem Durchmesser von 80 mm zur Analyse von Kalzium ( $\lambda_{Ca} = 3,582 \text{ nm}$ ). Durch Optimierung des Multilayerdesigns sowie des Beschichtungsprozesses wurden Reflektivitäten von 4,0 % @ 3,435 nm und 3,5 % @ 3,745 nm erreicht.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten (FKZ: 13N8917).

#### Literatur:

- /1/ Abbe, E.: Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung, Arch. Mikrosk. Anat. 9, 1873.
- /2/ Fraunhofer IOF Jahresbericht 2007.

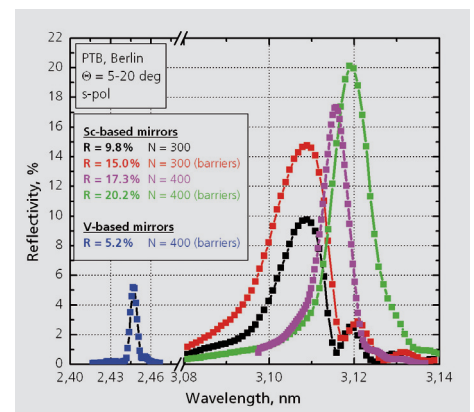
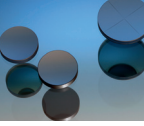


Abb. 1: Reflektivität von Sc- und V-basierter Multilayer-Spiegel.

Fig. 1: Enhanced reflectance of Sc- and V-based multilayer mirrors.



In the late 19<sup>th</sup> century, the theory of light microscopy was established by Ernst Abbe /1/, who – together with Carl Zeiss – constructed the first diffraction-limited microscope in 1886. The resolution in conventional microscopes is limited by the imaging wavelength. Recent technological progress in both soft X-ray optics and radiation sources triggered the development of compact soft X-ray microscopes in the “water window”.

This wavelength region between the K-absorption edges of oxygen ( $\lambda_{O_2} = 2.3 \text{ nm}$ ) and carbon ( $\lambda_C = 4.4 \text{ nm}$ ) provides both a natural contrast between materials containing carbon and water as well as extremely high resolution  $< 30 \text{ nm}$ . A spherical condenser multilayer mirror operated at near-normal incidence is used as illumination optics while the soft X-ray microscope’s magnification is realized with a Fresnel zone plate. Since the exposure time of the microscopes is directly proportional to the reflectance of the multilayer condenser, its optical performance is crucial for the overall performance of

a soft X-ray microscope. At Fraunhofer IOF a high-reflective Cr/Sc multilayer system was used to coat soft X-ray microscope condensers. A reflectivity of 20.2 % @ 3.12 nm /2/ was currently achieved using Cr/Sc multilayer coatings with barrier layers (Fig. 1).

Cr/Sc multilayer mirrors were designed for the wavelength of 3.374 nm with incidence angles from 0.6 to 1.5 degrees and deposited by magnetron sputtering on spherical substrates with a diameter of 58 mm. In order to control the wavelength matching and reflectivity uniformity, soft X-ray reflectivity measurements were performed along a full diameter of the condenser (Fig. 2). The optimization of the multilayer design and deposition process of Cr/Sc multilayers resulted in a uniform reflectivity of more than 4.0 % @ 3.374 nm.

Improvement in contrast of one specific element can be carried out by measuring the transmission at two different wavelengths. The required wavelengths from the plasma spectrum can be filtered by a condenser reflecting

two different wavelengths. The realization of such a special condenser optics ( $\lambda_1 = 3.435 \text{ nm}$  and  $\lambda_2 = 3.745 \text{ nm}$ ) on a spherical substrate with a diameter of 80 mm for high-contrast analyses of calcium ( $\lambda_{Ca} = 3.582 \text{ nm}$ ) is shown in Fig. 3 and Fig. 4.

The optimization of the multilayer design and deposition process resulted in reflectivities of 4.0 % and 3.5 % at the required wavelengths of 3.435 nm and 3.745 nm respectively.

The authors acknowledge the financial support for this R & D work by the German federal ministry of education and research (BMBF) under contract number FKZ: 13N8917.

#### References:

- /1/ Abbe, E.:  
Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung,  
Arch. Mikrosk. Anat. 9, 1873.
- /2/ Fraunhofer IOF Jahresbericht 2007.

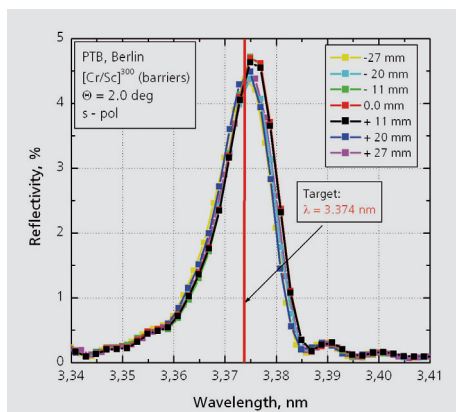


Abb. 2:  
Reflektivität von Cr/Sc auf einem sphärischen Kollektor mit  $\varnothing 58 \text{ mm}$ .

Fig. 2:  
Reflectance of spherical Cr/Sc multilayer mirror with  $\varnothing 58 \text{ mm}$ .

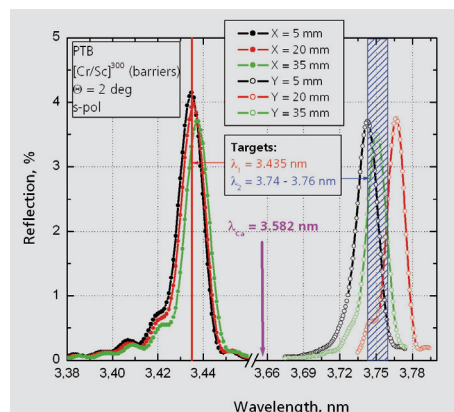


Abb. 3:  
Reflektivität von Cr/Sc auf einem sphärischen Kollektor mit  $\varnothing 80 \text{ mm}$ .

Fig. 3:  
Reflectance of two Cr/Sc mirrors deposited on one spherical condenser with  $\varnothing 80 \text{ mm}$ .

Abb. 4:  
Kollektroptik für die Mikroskopie im »Wasserfenster«.

Fig. 4:  
Condenser optics for “water window” spectral range.

