

IONENSTRAHLBEARBEITUNG FÜR OPTIKEN MIT HÖCHSTER PRÄZISION

DIE AUFGABE

Die Herstellung von Spiegeloptiken für EUV- (Extremes Ultraviolett) und Röntgenstrahlung erfordert höchste Präzision und Qualität der Bearbeitungstechniken, mit denen sie geformt, geglättet oder beschichtet werden. Die optischen Eigenschaften der Beschichtungsmaterialien und die Perfektion des im Allgemeinen aus einer Vielzahl von Einzelschichten bestehenden reflektierenden Stapels sind ebenso wichtige Parameter wie Konturtreue und Oberflächenrauheit des Spiegelgrundkörpers (Abb. 2).

Während die (Multilayer-)Beschichtung in erster Linie für das spektrale Reflexionsverhalten des Spiegels verantwortlich ist, wird die Strahlform, d. h. die Kaustik des reflektierten Lichts, von der Kontur der Spiegeloberfläche bestimmt. So sind zur Strahlfokussierung bei kurzen Brennweiten oder hohen Aperturwinkeln stark 2D-gekrümmte Oberflächen notwendig. Synchrotronoptiken erfordern dagegen ebene, relativ lange Substrate mit geringsten Neigungsfehlertoleranzen.

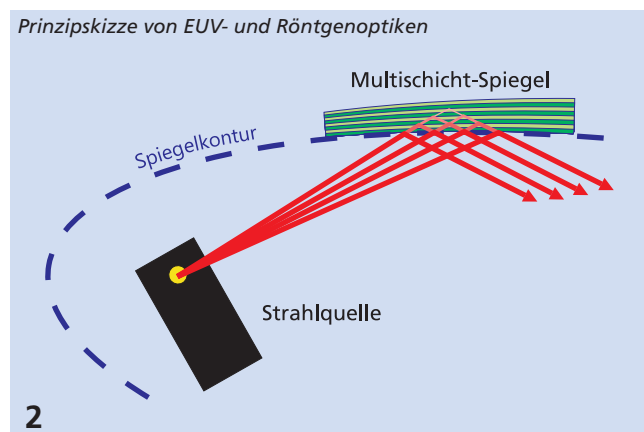
Für alle formgebenden Bearbeitungsverfahren liegt die größte Herausforderung jedoch in der extrem kleinen Mikrorauheit der Oberfläche. Sie liegt in der Größenordnung von wenigen 0,1 nm und ist die Grundlage für die Gewährleistung von ausreichenden Reflexionsgraden in diesem Wellenlängenbereich.

UNSERE LÖSUNG

Mittels Ionenstrahlbeschuss im Vakuum lassen sich definiert und reproduzierbar Abtragprofile an typischen Spiegelmaterialien wie z. B. Silizium oder Spezialgläser realisieren. Gleichzeitig können durch die ballistische Wechselwirkung der Ionen

mit der Substratoberfläche atomare Glättungsprozesse initiiert werden, so dass die geforderte Mikrorauheit an der Oberfläche erreicht wird. Die im Allgemeinen mechanisch und nasschemisch vopolitierten Ausgangssubstrate mit ebener oder sphärischer Kontur können so anwendungsspezifisch asphärisiert und/oder weiter geglättet werden. Wichtig für die Minimierung von Konturfehlern (»Slope Error«) ist ein präziser und homogener Abtragsprozess.

Die UHV-Ionenstrahl-Sputteranlage am Fraunhofer IWS Dresden ermöglicht alle Bearbeitungsschritte zur Herstellung von EUV- und Röntgen-Optiken. Das Konturieren, Glätten und Reinigen der Ausgangssubstrate ist ebenso möglich wie deren Beschichtung mit nm-präzisen Multilagen. Die für jeden Prozessschritt spezifische Ionenenergie und -rate kann dabei für zwei ECR-Ionenquellen im Bereich zwischen 50...2000 eV gezielt eingestellt werden. Aufgrund eines Blendensystems zur Formung des Abtrags- und Beschichtungsprofils lassen sich großflächige Substrate bis zu 500 x 200 mm² optischer Fläche homogen und reproduzierbar bearbeiten.





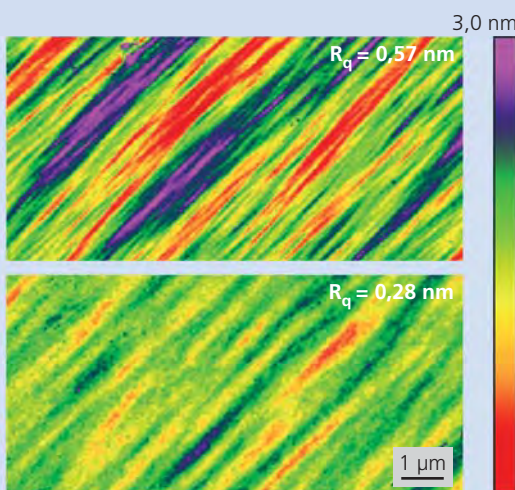
ERGEBNISSE

Mittels Ionenabtrag wurde eine ebene Synchrotronoptik mit einer anfänglichen Mikrorauheit von $R_q = 0,57 \text{ nm}$ geglättet. Der meridionale Restkrümmungsradius der gelieferten Optik lag bei $15,5 \text{ km}$ (konkav), was einer Durchbiegung von ca. 270 nm in der Spiegelmitte entspricht. Der Winkeltangentenfehler betrug etwa $0,25 \mu\text{rad rms}$ ($0,06 \text{ arcsec}$). Nach einem homogenen Materialabtrag von 500 nm Silizium wurde die Mikrorauheit des Spiegels auf $R_q = 0,28 \text{ nm}$ gesenkt (Abb. 4).

Wie Abbildung 5 oben zeigt, wurde die Oberfläche homogen reproduziert. Der relative Fehler der Abtragtiefe beträgt ca. $\pm 0,4 \text{ Prozent}$ ($= 2 \text{ nm}$). Der Winkeltangentenfehler (Abb. 5 unten) bleibt in diesem Bereich mit $0,28 \mu\text{rad rms}$ nahezu unverändert. Die Abweichungen in der Nähe der Auflagekanten des Substrates sind darauf zurückzuführen, dass hier kein Abtrag erfolgte. Werden Spiegelhalterungen ohne Auflagekanten eingesetzt, können die im Innenbereich erzielten Werte auch für die komplette Spiegeloberfläche realisiert werden.

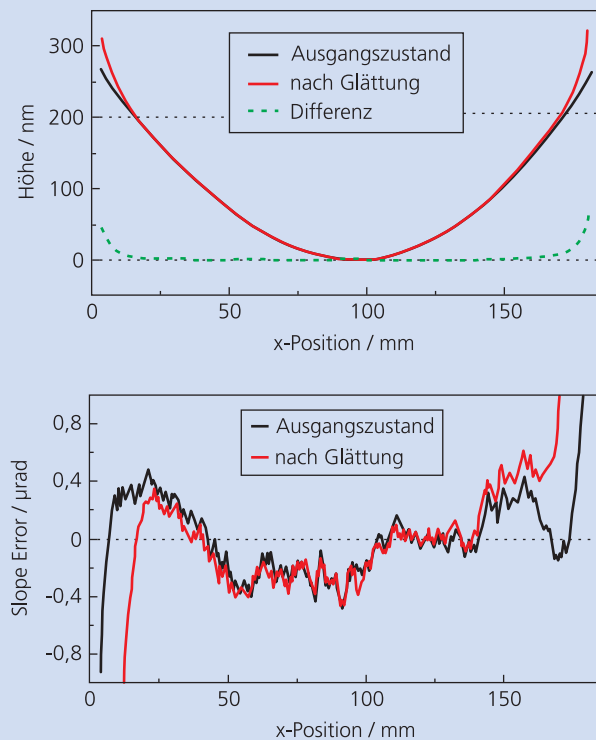
AFM-Aufnahmen der Oberfläche eines einkristallinen Silizium-Synchrotronspiegels

Oben: unbearbeitetes Substrat, Mikrorauheit $R_q = 0,57 \text{ nm}$
 Unten: ca. 500 nm Materialabtrag durch Ionenstrahlglättung, Mikrorauheit $R_q = 0,28 \text{ nm}$



4

Substratkontur (oben) und Winkeltangentenfehler (unten) einer Synchrotronoptik in meridionaler Richtung vor und nach Ionenstrahlbearbeitung. Zum besseren Vergleich wurden beide Konturen direkt übereinander gezeichnet ($0 \text{ nm} = \text{tiefster Punkt}$).



Si-Einkristall $185 \times 32 \times 40 \text{ mm}^3$; $R_{\text{meridional}} = 15,5 \text{ km}$;
 Abtragtiefe zur Glättung ca. 500 nm
 (Messungen: F. Siewert, NOM / HZB Berlin)

5

1/3 Beispielfotos von EUV- und Röntgenoptiken

KONTAKT

Dipl.-Phys. Peter Gawlitza
 Telefon: +49 351 83391-3431
 peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de

