

## HOCHLEISTUNGS-RÖNTGENOPTIKEN FÜR DIE SPEKTROSKOPIE

### DIE AUFGABE

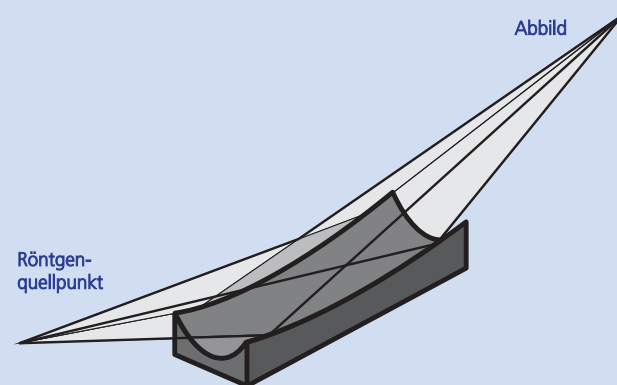
Abbildungsqualität und Effizienz von Röntgenoptiken werden maßgeblich von der Art und den Eigenschaften der eingesetzten Komponenten bestimmt. Im Wellenlängenbereich  $\lambda \approx 0,01 \dots 1$  nm können zur Strahlformung im Allgemeinen nur reflektierende Spiegel oder beugende Strukturen (wie z. B. Einkristalle, Gitter, Zonenplatten) genutzt werden. Die Bandbreiten der erlaubten Einfallswinkel bzw. Photonenenergien sind dabei relativ schmal, wodurch die Transparenz der eingesetzten Systeme limitiert wird. Abbildende oder spektroskopische Anwendungen in diesem Wellenlängenbereich sind daher stets durch einen Kompromiss zwischen Durchsatz (Transparenz) und lateralem oder energetischem Auflösungsvermögen gekennzeichnet. Zur Verbesserung von Empfindlichkeiten (Nachweisgrenzen) und Abbildungsqualitäten werden innovative Optiksyste me gebraucht, die beispielsweise durch eine Erhöhung der Eintrittsapertur eine effektivere Ausnutzung der Quellstrahlung gewährleisten können.

### UNSERE LÖSUNG

Der Einsatz von reflektierenden Multischichten auf 2-dimensional gekrümmten Spiegeloberflächen bietet eine Reihe von Vorteilen gegenüber herkömmlichen, ebenen oder 1d-gekrümmten Röntgenoptiken. Zum einen gewährleistet die Multischicht eine im Vergleich zu Kristallen oder Gittern höhere Akzeptanz an energetischer Bandbreite, respektive Divergenz des Eintrittswinkels, andererseits können größere Reflexionswinkel als beispielsweise bei Totalreflexionsspiegeln realisiert werden, was höhere Aperturen und damit bessere Strahlausbeuten sichert. Bei Verwendung von 2-dimensional gekrümmten Spiegeln kann zudem die Fokussierung des

Röntgenstrahls mit nur einer Reflexion erfolgen, womit eine Verbesserung der Transparenz des optischen Systems erreicht wird.

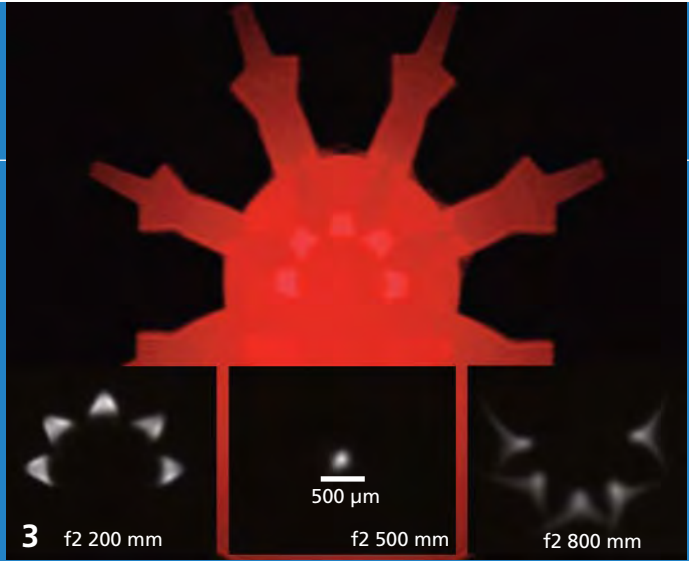
Prinzipiskizze einer 2-dimensional fokussierenden Röntgenoptik



2

Die Herstellung von 2-dimensional gekrümmten Röntgenoptiken war wegen der extremen Anforderungen an Oberflächenrauheit ( $\sigma_{\text{rms}} \approx 0,1$  nm) und Schichtdickenpräzision bisher kaum oder nur ansatzweise möglich. Die Ionenstrahltechnik hat sich als unverzichtbares Werkzeug bei der Bearbeitung der optischen Oberflächen herausgestellt. Eingesetzt wird der Ionenstrahl beim formgebenden Abtrag (Konturierung), zur Oberflächenpolitur und -reinigung und zur ionen-gestützten Beschichtung.

Mit der am Fraunhofer IWS verfügbaren Ionenstrahlanlage »IonSys 1600« werden alle oben genannten Bearbeitungsschritte der Prozesskette in einer Anlage und wenn nötig ohne Zwischenbelüftung und der damit verbundenen unerwünschten Oberflächenveränderung durchgeführt. Aufgrund des auf linearen Ionenquellen beruhenden Anlagenkonzeptes können großflächige Substrate bis zu  $500 \times 200$  mm<sup>2</sup>

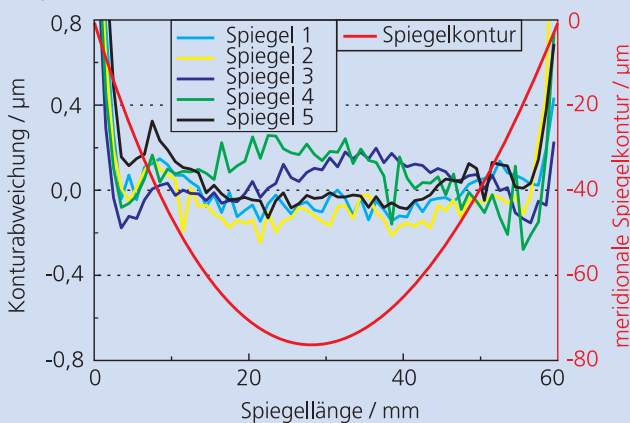


optischer Fläche oder auch mehrere kleinere Substrate gleichzeitig homogen und reproduzierbar bearbeitet und beschichtet werden.

### ERGEBNISSE

Für die Abbildung von Röntgenstrahlung einer mittels Ultrakurzpulslaser betriebenen Plasmaquelle in einer Experimentierkammer für Hochenergie-Elektronenspektroskopie (HEES) wurde ein aus fünf um die optische Achse angeordneten Einzelspiegeln bestehendes Optiksistem entwickelt (Abb. 1). Die Oberfläche jedes Spiegels besitzt dabei die Form eines elliptisch gebogenen Torus und fokussiert den Quellfleck ( $\varnothing \approx 10 \dots 20 \mu\text{m}$ ) in die 600 mm entfernte Bildebene. Die Besonderheit der 2d-gekrümmten Oberflächen liegt dabei im relativ kleinen Sagittalradius ( $r \approx 4 \dots 6 \text{ mm}$ ) bei Spiegelabmessungen von  $60 \times 2 \text{ mm}^2$ .

Abweichung der mittels Ionenstrahlabtrag konturierten 2d-gebogenen Röntgenoptiken (5 Einzeloptiken) von der elliptischen Zielkontur (rot)



4

Mittels Ionenabtrag wurden zylindrische Ausgangssubstrate elliptisch konturiert und poliert (Abtrag dabei ca.  $80 \mu\text{m}$ ) und anschließend mit einer reflektierenden Multischicht versehen ( $150 \times [\text{Ni}/\text{B}_4\text{C}]$ ;  $d_p = 2,5 \dots 3,2 \text{ nm}$ ; lateral gradiert).

Die dabei erzielte Figurtreue der fünf Einzeloptiken ist in Abbildung 4 dargestellt. Entsprechende Winkeltangentenfehler  $\Delta \Theta < 35 \mu\text{rad}$  werden von der Multischicht problemlos toleriert. Durch die Anordnung der Optik nahe am Plasmaquellpunkt ( $f_1 = 100 \text{ mm}$ ) kann ein großer Raumwinkel der in  $4 \pi$  emittierenden Röntgenquelle abgedeckt werden. Ein direkter Vergleich zu sonst standardmäßig eingesetzten 2d-gebogenen Einkristallen ergab eine Steigerung der Photonenausbeute am Probenort um mehr als eine Größenordnung.

- 1 Fokussierende Röntgenspiegelanordnung, bestehend aus fünf 2-dimensional gekrümmten Einzelspiegeln
- 3 Strahlabbildungen der justierten 5-fach Optik: oben Grobjustage mit Laserstrahlung, unten Foki der Cu-Kα-Röntgenstrahlung in verschiedenen Abständen

### KONTAKT

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

