



NANO IM FOKUS - MULTISCHICHT-LAUE-LINSEN FOKUSSIEREN RÖNTGENSTRAHLEN

DIE AUFGABE

Die Röntgenmikroskopie ist eine für unterschiedlichste Anwendungsgebiete vielversprechende Technik, um kleinste Strukturen zerstörungsfrei zu untersuchen. Während bei der konventionellen Lichtmikroskopie die generell erreichbare Auflösung maximal 200 nm beträgt, ist bei der Röntgenmikroskopie ein großes Potenzial zu deutlich höheren Auflösungen vorhanden. Verbesserungen gegenüber dem aktuellen Stand der Technik lassen sich vor allem durch die Weiterentwicklung der Röntgen-Optiken erreichen. Multischicht-Laue-Linsen (MLL) stellen hierbei eine der vielversprechendsten Entwicklungen dar. Sie können potenziell Auflösungen im Nanometerbereich erreichen.

Bei MLL handelt es sich um zonenplattenähnliche Strukturen, welche mit Dünnschichttechnologien hergestellt werden. Am Fraunhofer IWS Dresden wurden bereits Beschichtungen für MLL hergestellt, mit denen Strahlfoki von unter 50 nm bei einer Beugungseffizienz von 11 Prozent demonstriert werden konnten. Um weitere Verbesserungen beim Strahlfokus und der Beugungseffizienz zu erreichen, ist es notwendig, das Verständnis für die Beugungsvorgänge innerhalb der Strukturen zu verbessern.

UNSERE LÖSUNG

Das Fraunhofer IWS Dresden hat eine Methode entwickelt, mit der das Verhalten des Röntgenlichtes innerhalb der Linse berechnet werden kann. Damit ist man in der Lage, Abbildungs- und Fokussierungseigenschaften bei Veränderungen der Linseneigenschaften zu simulieren. Hierdurch ist es möglich, optimale Parameter für jeden Einsatzbereich zu bestimmen und Fertigungstoleranzen zu ermitteln.

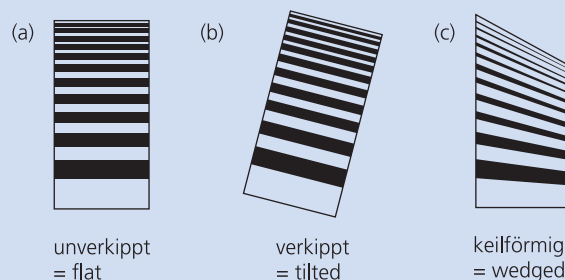
Beispielhaft wurden Fokussierungseigenschaften für folgendes MLL-Design berechnet:

- Röntgenenergie: 10,5 keV
- Brennweite: 1 mm
- Zonen: 100-500
- Gesamtdicke: 4,3 μm
- Material: WSi_2/Si

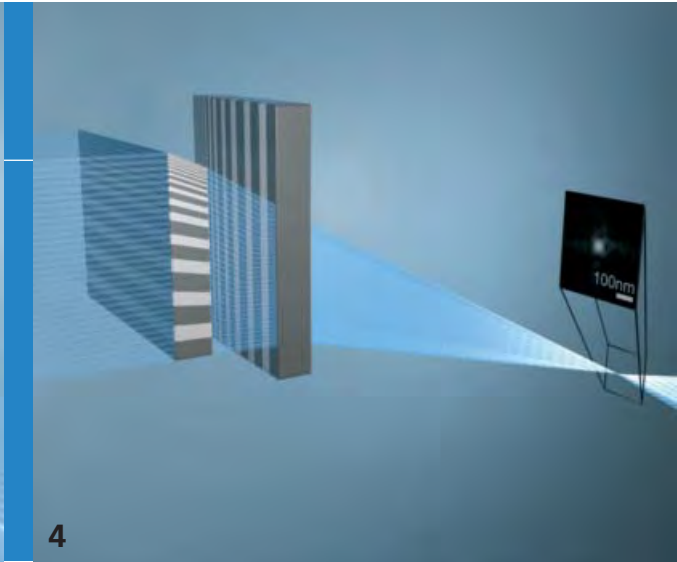
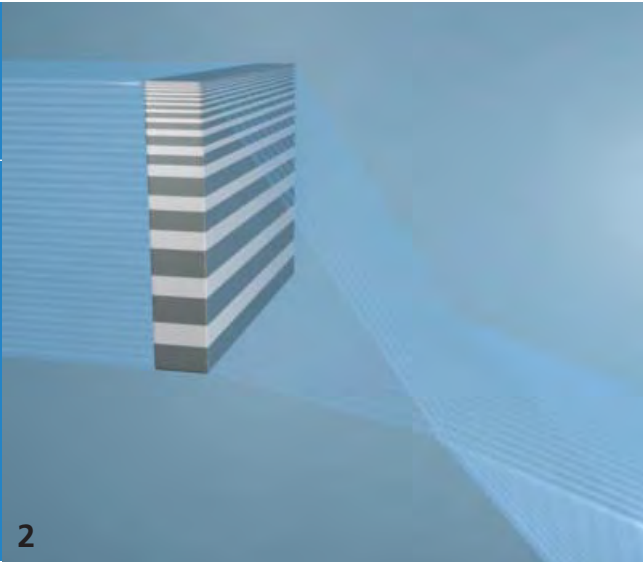
Als Materialkombination wurde WSi_2/Si gewählt, da diese den hergestellten und für die Experimente genutzten Linsen entspricht. Bei den Berechnungen werden die Eigenschaften unterschiedlicher Linsengeometrien miteinander verglichen und Effekte aufgezeigt, die auch bei einem realen Linsendesign auftreten.

MLL können mit unterschiedlichen Geometrien eingesetzt bzw. hergestellt werden. Die drei wichtigsten Geometrien werden in Abbildung 1 gezeigt und im Folgenden diskutiert. Die erste Variante entspricht der Zonenplattengeometrie, bei der alle Zonengrenzen parallel zur optischen Achse ausgerichtet sind (unverkippt bzw. »flat« Geometrie, Abb. 1a). Die Linse kann so angekippt werden, dass ein Teil der Zonen die

Schema, wie die drei Geometrien unverkippt (a), verkippt (b) und keilförmig (c) realisiert werden können.



1



Braggbedingung erfüllt und damit eine deutlich höhere Beugungseffizienz erreicht wird (verkippte bzw. »tilted« Geometrie, Abb. 1b). Eine noch höhere Beugungseffizienz kann erreicht werden, indem alle Zonen so ausgerichtet werden, dass ihre jeweilige Braggbedingung erfüllt wird (keilförmige bzw. »wedged« Geometrie, Abb. 1c).

ERGEBNISSE

Für die Berechnung wurde ein Modell angenommen, bei welchem ebene Wellen in die genannten Linsengeometrien bei optimaler Strukturdicke einfallen. Als Ergebnis der Berechnung erhält man das Strahlprofil im Fokus, welches die Intensität in Abhängigkeit von der Position senkrecht zur optischen Achse darstellt. Ein intensives Maximum bei gleichzeitig schmaler Breite ist ein Zeichen für gute Fokussierung durch die verwendete Optik.

Schema, wie die drei Geometrien unverkippt (a), verkippt (b) und keilförmig (c) realisiert werden können.

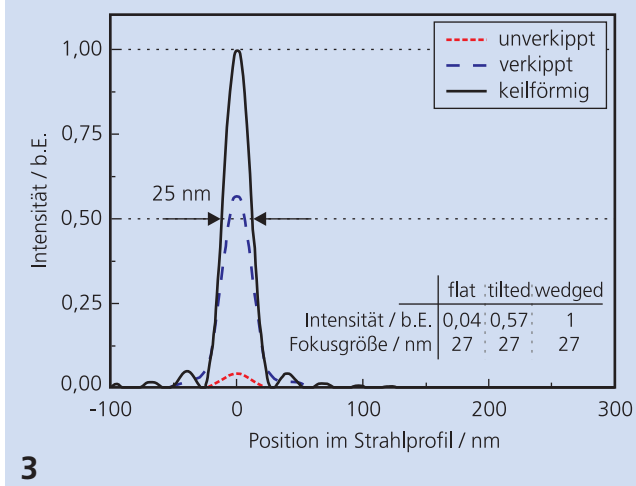


Abbildung 3 zeigt die sich aus den Berechnungen ergebenden Strahlprofile. Das Maximum für die keilförmige Geometrie hat erkennbar die höchste Intensität und weist zusätzlich die kleinste Halbwertsbreite auf. Für größere Linsen und höhere Energien wird der Unterschied noch deutlicher.

Das Beispiel zeigt, dass die Entwicklung von keilförmigen Linsen unabdingbar ist, um kleinere Strahlgrößen und höhere Intensitäten im Fokus zu erreichen.

Fokussierungsexperimente mit verkippten und keilförmiger Linsen wurden an der Strahllinie ID13 an der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) in Grenoble, Frankreich, durchgeführt. Zum ersten Mal überhaupt wurden hierbei gekreuzte keilförmige Linsen getestet (Röntgenenergie 10,5 keV, Brennweite 6,6 mm, Zonennummern 850-7850, Gesamtdicke 53 μm , Material WSi_2/Si).

Für die Fokussierungsexperimente wurde eine Apertur von 15 μm genutzt. Die Größe des Fokus wurde in beiden Richtungen mit unter 45 nm gemessen. Die Effizienz beträgt 20 Prozent. Die Effizienz ist damit deutlich größer, als für bisher vermessene verkippte Linsen und bewegt sich nahe an dem theoretisch erreichbaren Wert.

Teile der hier vorgestellten Arbeiten wurden unterstützt durch die Europäische Union (ERDF) und den Freistaat Sachsen im Rahmen des Projektes ENano (FKZ: 1000 87859). Das Fraunhofer IWS dankt dem Fraunhofer IKTS-MD und dem Lehrstuhl Strukturphysik kondensierter Materie der Technischen Universität Dresden.

- 2 Fokussierung durch eine Multi-schicht-Laue-Linse
- 4 Experimentelles Ergebnis: Intensität des Fokus für ein Paar gekreuzter keilförmiger Multi-schicht-Laue-Linsen

KONTAKT

Dipl.-Phys. Adam Kubec
 Telefon: +49 351 83391-3572
adam.kubec@iws.fraunhofer.de

