

MULTISCHICHT-LAUE-LINSEN FÜR HOCH AUFGELÖSTE MATERIALUNTERSUCHUNGEN

DIE AUFGABE

Materialuntersuchungen mit harter Röntgenstrahlung versprechen höchste Ortsauflösungen bei gleichzeitig hohem Durchdringungsvermögen. Hinsichtlich Kohärenz, Parallelität und Intensität der Röntgenstrahlung bieten Synchrotronstrahlquellen exzellente Bedingungen. Das räumliche Auflösungsvermögen an diesen Quellen wird vor allem durch die verfügbaren Optiken begrenzt. Durch den Einsatz von zwei Multischicht-Laue-Linsen (MLL) gemäß der schematischen Darstellung in Abbildung 1 wurde bereits eine Punktfokussierung im Bereich von 10 nm realisiert.

Zielstellung laufender Forschungsarbeiten am Fraunhofer IWS ist es, MLL für den Einsatz in Laboranwendungen zu qualifizieren und damit das laterale Auflösungsvermögen von Diffraktometrie, Fluoreszenzanalysen und Reflektometrie von derzeit etwa 20 µm bis in den sub-µm-Bereich zu verbessern. Die Strahlungseigenschaften von Synchrotronstrahlquellen und Laborgeräten unterscheiden sich deutlich, was bereits beim Design eines Laboraufbaus mit MLL berücksichtigt werden muss und dazu führt, dass Strahlgrößen im Bereich von 1 µm realistisch erscheinen.

UNSERE LÖSUNG

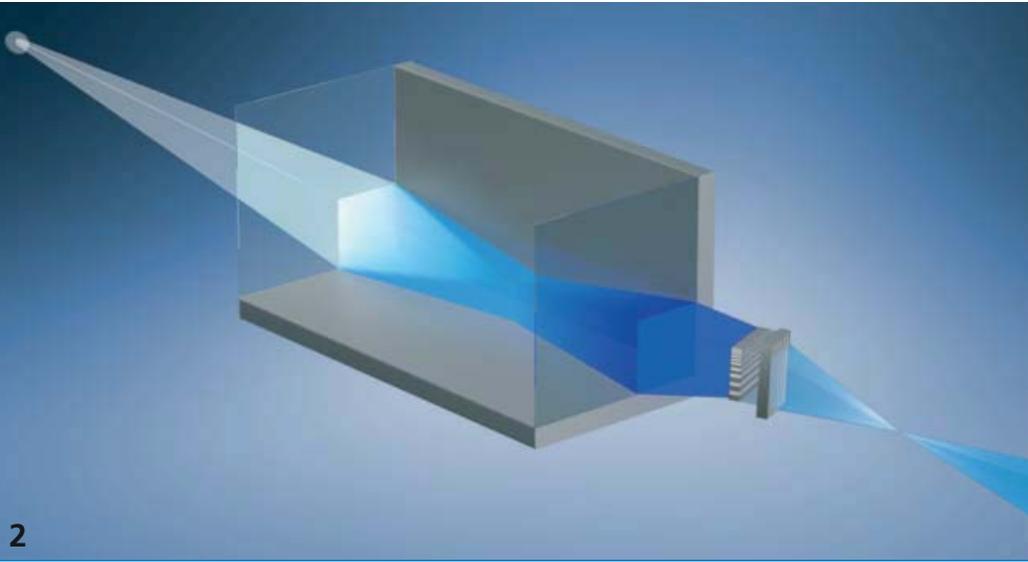
Um einen möglichst großen Anteil der Strahlung einzufangen, ist die Herstellung von Linsen mit einer großen Apertur notwendig. Sie wird bei MLL durch große Beschichtungsdicken erreicht. Große Schichtdicken können infolge von Eigenspannungen der verwendeten Materialien zu einer starken Verbiegung und ggf. zu einer Zerstörung der Schicht bereits im Herstellungsprozess führen.

Um die Auswirkungen der von Synchrotronstrahlquellen abweichenden Strahleigenschaften auf die Fokussierung der Optik zu ermitteln, wurde am Fraunhofer IWS ein Programm, basierend auf der sogenannten »Beam Propagation Method« entwickelt. Die Modellrechnungen zeigen, dass in Abhängigkeit vom realen Strahlengang und vom MLL-Design die wesentlichen Einflussfaktoren auf die zu erwartende Fokussiergrößerung bestimmt werden können. Abbildung 2 stellt den für die Modellrechnung angenommenen Aufbau schematisch dar. Eine Spiegeloptik sorgt dabei für eine Vorfokussierung der von der Quelle kommenden Strahlung auf die MLL.

Am Fraunhofer IWS Dresden werden die Eigenspannungen der MLL durch ein spezielles Multischichtsystem aus vier einzelnen Schichten pro Periode reduziert. Zusätzlich zu je einem Absorber- und Spacermaterial mit gegenläufigen Eigenspannungen wird zwischen den Grenzflächen eine trennende Barrierschicht eingebracht (Abb. 3). Bei geeigneten Dickenverhältnissen der drei beteiligten Materialien ist dieses Materialsystem spannungsfrei und erlaubt damit die Herstellung von Schichtsystemen mit etwa 100 µm Dicke.

ERGEBNISSE

In ersten Versuchen konnte das in Abbildung 3 dargestellte Materialsystem mit einer Dicke von etwa 65 µm hergestellt werden. Für den vorgeschlagenen Aufbau haben Berechnungen gezeigt, dass ein vorfokussierender Spiegel mit kurzer Brennweite und damit stark gekrümmter Wellenfront von Nachteil für die geometrische Trennung der Ordnungen hinter der MLL ist. Als sinnvoll nutzbar erscheinen die Ergebnisse einer Konfiguration mit einem Spiegel einer moderaten Brennweite von 28 cm, wenn die MLL etwa 3,5 cm vom Fokus entfernt platziert wird. Dieser Aufbau ergibt, bei idealen



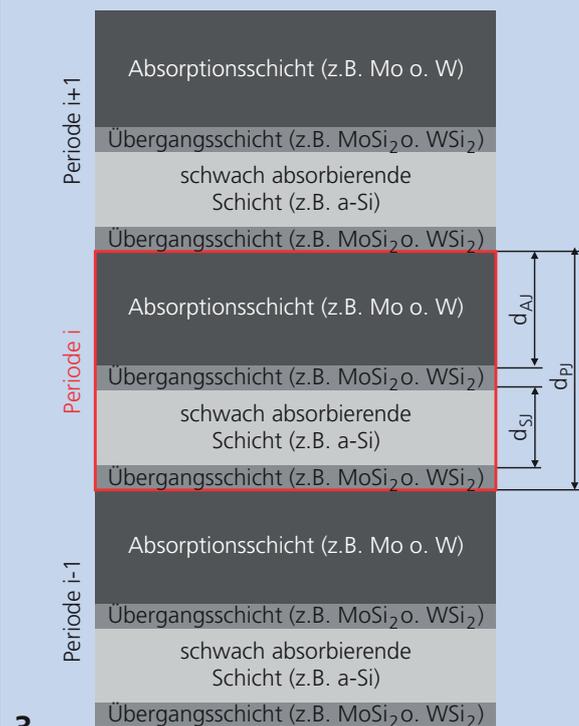
Strahleigenschaften für eine beispielhafte Linsenkonfiguration, eine Fokusgröße von etwa 40 nm. Bei einer Kupferröntgenröhre mit einem Ni-Absorber beherrschen die Spektrallinien $K_{\alpha 1}$ und $K_{\alpha 2}$ die Wellenlängenverteilung. Wenn diese beiden Linien berücksichtigt werden, ergeben die Berechnungen im Wesentlichen zwei getrennte Fokusse, deren Abstand etwa 25 μm in Ausbreitungsrichtung und 150 nm senkrecht dazu beträgt.

Bei Kohärenzlängen, die kleiner sind als die Apertur der Linse, trägt jeweils nur der entsprechende Teil der Linse zur Bildung des Fokus bei, der dadurch vergrößert wird; sie führen jedoch zu keiner nennenswerten Reduktion des Flusses im Fokus. So ergibt sich bei einer Linsengröße von 100 μm und einer Kohärenzlänge von 10 μm , entsprechend dem vorgenannten Beispiel, eine Fokusgröße von 400 nm, während eine Kohärenzlänge von 1 μm in einer Fokusgröße von etwa 4 μm resultiert.

Berechnungen zur Abschätzung des Einflusses der Divergenz des einfallenden Strahls zeigen für einen typischen Wert von $0,02^\circ$ eine Verschiebung des Fokus von bis zu 5 μm senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Daraus resultiert eine entsprechende Vergrößerung des Fokus der MLL. Eine geringere Winkeldivergenz am Eingang der Linse wird erreicht, wenn ein schmalbandiger Spiegel genutzt wird. Weitere Verbesserungen können zudem erreicht werden, wenn MLL mit stärkerer Winkelselektivität, d. h. angepasster Lamellendicke, hergestellt werden.

Insgesamt zeigen die Modellierungsergebnisse, dass sich durch den Einsatz von MLL auch an Laborquellen Fokusgrößen von 1 μm erreichen lassen, wenn entsprechend angepasste und optimierte Optiken eingesetzt werden. Das laterale Auflösungsvermögen von Diffraktometrie, Fluoreszenzanalysen und Reflektometrie lässt sich somit extrem verbessern.

Multischichtsystem aus vier einzelnen Schichten pro Periode



- 1 *Gekreuzte MLL für die Punkt-fokussierung*
- 2 *Schematische Darstellung des für Modellrechnungen angenommenen Aufbaus von Laboranwendungen mit MLL*

KONTAKT

Dipl.-Phys. Adam Kubec

+49 351 83391-3572

adam.kubec@iws.fraunhofer.de

