

EUV-REFLEXIONSSCHICHTEN FÜR LITHOGRAFIESPIEGEL DER ZUKUNFT

DIE AUFGABE

Für die Herstellung von integrierten Schaltkreisen werden von der Halbleiterindustrie optische Abbildungsverfahren verwendet. Die Auflösungsgrenze und die damit verbundene Feinheit der herstellbaren Strukturen werden durch die für die Belichtung verwendete Wellenlänge und die numerische Apertur des optischen Systems bestimmt. Mit dem Übergang zu EUV-Strahlung mit einer Wellenlänge von 13,5 nm wurde bereits ein wesentlicher Schritt vollzogen, um Strukturen mit Linienbreiten von < 22 nm herstellen zu können.

Eine weitere Verbesserung der Auflösung bis hinab zu Strukturbreiten im Bereich von 14 nm bringt neue Anforderungen an die Spiegel mit sich:

- Erhöhung der numerischen Apertur des optischen Systems
- weitere Verringerung des diffusen Streuuntergrundes

Die Erhöhung der numerischen Apertur hat für einige Spiegel zur Folge, dass die EUV-Strahlung unter einem breit variierenden Einfallswinkelbereich $\Delta\alpha$ auf die Spiegeloberflächen fällt. Aperiodische Multischichten mit einer höheren Winkelakzeptanz könnten in diesem Fall eine bevorzugte Lösung sein. Eine Verringerung des diffusen Streuuntergrundes erfordert die weitere Reduzierung der Rauheit der Schichten. Der bisherige Stand der Technik, bei dem auf ein ideal glattes Substrat eine Schicht mit erhöhter intrinsischer Rauheit aufgebracht wird, muss verbessert werden. Ein wesentliches Ziel ist es, Beschichtungsverfahren zu entwickeln, bei denen selbstglättende und hochreflektierende EUV-Schichten abgeschieden werden können.

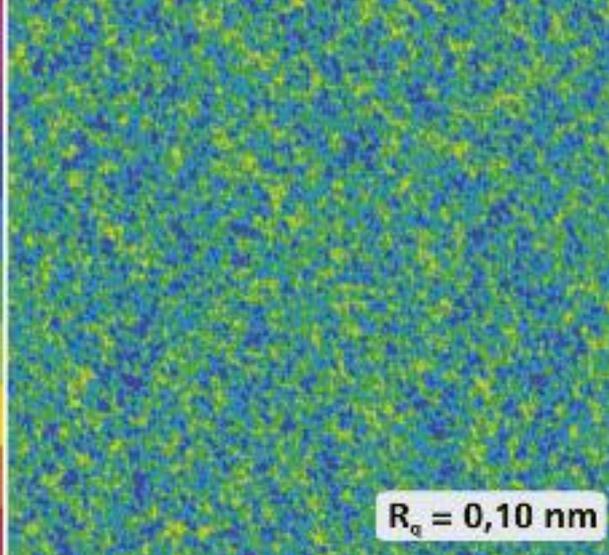
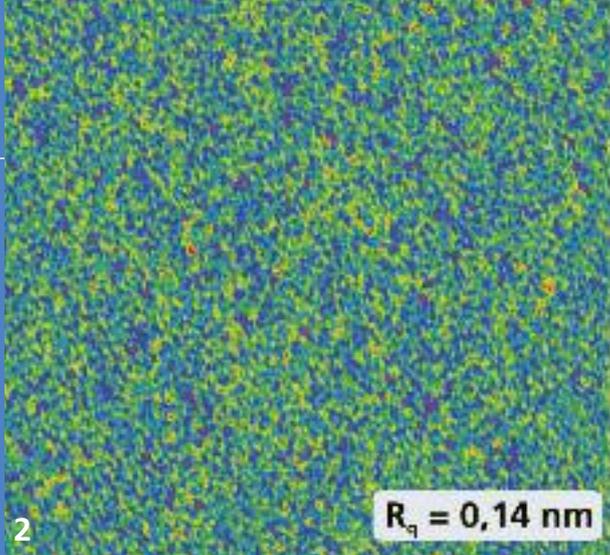
UNSERE LÖSUNG

Damit EUV-Spiegel in einem vergrößerten Winkelbereich Strahlung reflektieren, kann es hilfreich sein, vom streng periodischen Schichtaufbau zu einer Stapelfolge überzugehen, bei der sich die Schichtdicken in Wachstumsrichtung voneinander unterscheiden (Abb. 1). Typischerweise weist jede Einzelschicht eine andere Dicke auf, wobei diese mit höchster Präzision - das sind hier 2 bis 3 Pikometer - eingestellt werden muss.

Die Dicke einer Einzelschicht in einer Nanometer-Multischicht wird durch folgende Parameter bestimmt:

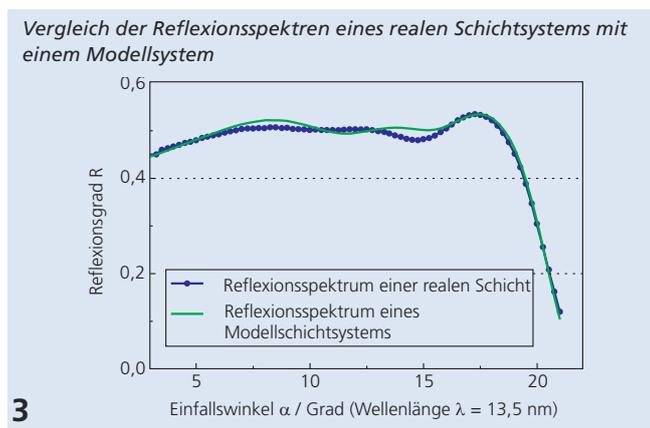
- Beschichtungsrate des Materials
- Kontraktion an den Grenzflächen aufgrund chemischer Reaktionen

Nach Ermittlung der Beschichtungsraten können beliebige Einzelschichtdicken innerhalb einer tiefengradierten Multischicht mit hoher Präzision hergestellt werden. Erste Referenzspiegel wurden so bereits mit EUV-Breitbanddesigns beschichtet.



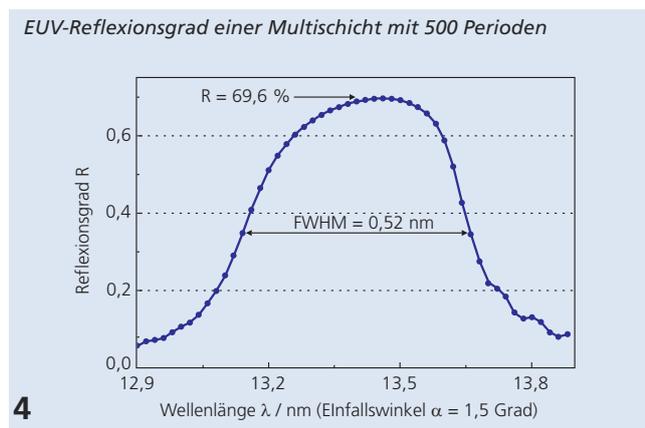
ERGEBNISSE

Das entscheidende Kriterium für die Bewertung von Breitband-Reflexionsschichten ist die Güte mit der das experimentelle Reflexionsspektrum mit der Vorgabe übereinstimmt. Da der Vorgabe ein Modellschichtsystem zugrunde liegt, lässt sich das theoretische Reflexionsspektrum voraus berechnen. In Abb. 3 ist die bereits gute Übereinstimmung der Reflexionsspektren bei fester Wellenlänge und bei festem Einfallswinkel für ein beispielhaftes Schichtdesign dargestellt.



der Schichtoberfläche während des Wachstums der Schichten wurden die Rauheiten bereits auf rund 0,10 bis 0,12 nm rms gesenkt (Abb. 2).

Demnach wurde ein Aufräumen der Oberfläche durch die Beschichtung vermieden. Infolgedessen lassen sich mit den veränderten Prozessbedingungen auch Multischichten mit mehreren Hundert Perioden mit hohen Reflexionsgraden herstellen. In Abb. 4 ist der Reflexionsgrad einer EUV-Beschichtung mit 500 Perioden dargestellt.



Um nicht nur breitbandige sondern auch streulichtarme Reflexionen der Spiegel zu erreichen, sollte die Rauheit der Schichten weiter verringert werden. Dazu müssen Oberflächendiffusionsprozesse aktiviert werden, die es den Atomen ermöglichen, energetisch günstigere Positionen auf der Oberfläche zu erreichen. Praktisch gelingt diese Aktivierung durch einen moderaten Ionenbeschuss während des Schichtwachstumsprozesses. Wichtig ist dabei, dass der zusätzliche Ionenbeschuss nicht bereits die Volumendiffusion aktiviert, die zu einer Verbreiterung der chemischen Übergänge an den Grenzflächen führt.

Bei bisherigen Standardbeschichtungen wird auf den derzeit besten verfügbaren Oberflächen mit Rauheiten von $< 0,1$ nm rms eine Schichtrauheit von 0,14 nm rms bis 0,17 nm rms erreicht. Durch einen zusätzlichen Ionenbeschuss

Der mit diesen Spiegeln erreichte Reflexionsgrad von 69,6 % bei 13,5 nm und 1,5 Grad Einfallswinkel liegt nur rund ein halbes Prozent unterhalb des bisherigen Bestwertes.

- 1 TEM-Bildausschnitt einer tiefengradierten Multischicht
- 2 AFM-Aufnahmen zum Nachweis der Rauheitsverringering
Scanlänge = 3 μ m;
Höhenskala = 1 nm

KONTAKT

Dr. Stefan Braun
Telefon: +49 351 83391-3432
stefan.braun@iws.fraunhofer.de

