

EUV-SPIEGELSCHICHTEN FÜR DIE 7 NM LITHOGRAFIE

DIE AUFGABE

Verschiedene Halbleiterfirmen belichten mittels EUV-Lithografie bereits deutlich mehr als 1000 Wafer pro Tag. Damit wird es zunehmend nicht nur aus technischen sondern auch aus ökonomischen Gründen sinnvoll, diese »ungewohnte« Vakuumtechnologie in der Mikroelektronik einzuführen.

In allen fotolithografischen Anordnungen nimmt die jeweilige Optik eine Schlüsselrolle ein. Im Falle der EUV-Lithografie erfolgt die Abbildung der Maskenstruktur auf den Wafer mit Hilfe von Spiegeln (Abb. 1). Die darauf aufgebrachtten Reflexionsschichten müssen höchste Anforderungen hinsichtlich Reflexionsgrad, Glattheit, Präzision der lateralen Dickenverteilung und Eigenspannungsarmut aufweisen. Dabei nehmen die Anforderungen mit jeder weiteren Strukturverkleinerung zu, sodass eine kontinuierliche Verbesserung der Schichteigenschaften weiterhin notwendig ist.

Im Rahmen des von der Fa. ASML koordinierten europäischen Forschungsprojektes SeNaTe (Seven Nanometer Technology) ist das IWS für die Erforschung von EUV-Reflexionsschichten für zukünftige Lithografieoptiken verantwortlich. Die vordringlichsten Herausforderungen mit Bezug zur Schichtentwicklung sind dabei die folgenden:

- Verringerung des Streulichts der Reflexionsschichten
- Entwicklung von hochpräzisen Freiformbeschichtungen
- Reduzierung der Schichteigenspannungen bei gleichbleibender optischer Performanz

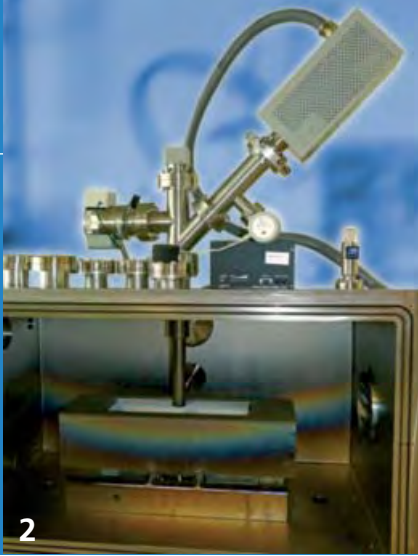
Die besondere Herausforderung ist es dabei, einen Beschichtungsprozess zu erarbeiten, der die Herstellung von EUV-Reflexionsschichten ermöglicht, die gleichzeitig hochreflektierend, streulicht- und eigenspannungsarm sind.

UNSERE LÖSUNG

Mit der Magnetron-Sputter-Deposition (MSD) steht im IWS ein industriell erprobtes Verfahren zur Verfügung, das bereits seit mehreren Jahren für die Erforschung von EUV-Reflexionsschichten genutzt wird. Die Schichteigenschaften werden dabei neben den Vakuumbedingungen vor allem von den kinetischen Energien der am Substrat auftreffenden Teilchen bestimmt. So kann eine Verringerung der Schichtrauheit z. B. durch eine Erhöhung der mittleren kinetischen Energie der schichtbildenden Teilchen erreicht werden. Diese Aktivierung muss jedoch genau dosiert erfolgen, um jegliche Durchmischung der Materialien an den Grenzflächen zu vermeiden und um eine Verstärkung der sich typischerweise ausbildenden Druckeigenspannungen zu verhindern.

Um präzise Informationen über die Verteilung der kinetischen Energien in Abhängigkeit von den Beschichtungsparametern zu erhalten, wurde ein Plasmamonitor des Typs EQP 500 am Beschichtungsort positioniert (Abb. 2). Dies ermöglicht die Vermessung der Energieverteilungen sowohl von geladenen als auch von Neutralteilchen.

Mit Standardprozessen werden Energieverteilungen nachgewiesen, wie sie typisch sind für Magnetronplasmen. Eine Schichtrauheit von $< 0,1$ nm rms lässt sich damit jedoch nicht erreichen. Darüber hinaus zeigt sich bei Oberflächen, die stärker als 30 Grad geneigt sind, eine deutliche Rauheitszunahme und eine Änderung des Eigenspannungszustandes. Daher wurde eine Aktivierung des Beschichtungsprozesses eingeführt, bei der die Energieverteilung zu höheren Energien verschoben ist.



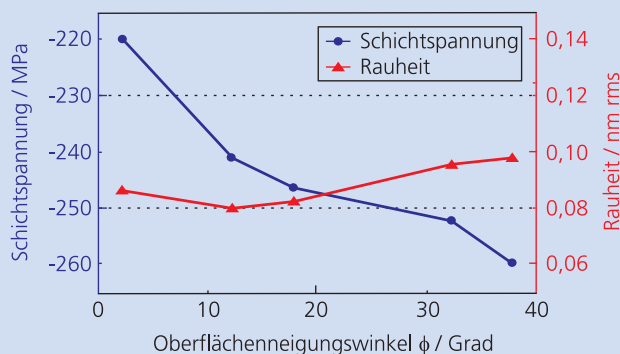
Bei Anwendung derartiger Aktivierungsprozesse besteht jedoch die Gefahr, neben der gewünschten Glättungswirkung auch eine verstärkte Durchmischung der Schichten an den Grenzflächen zu erhalten. Durch Ausbalancierung der verschiedenen oben genannten Zielkriterien ließ sich jedoch ein Parametersatz für Entladungsleistung, Sputtergasdruck und Ionenaktivierung finden, bei der eine deutliche Verbesserung der Schichteigenschaften erreicht wurde.

ERGEBNISSE

Die erhöhten kinetischen Energien der auf das Substrat treffenden Teilchen resultieren zunächst in den gewünschten glatteren Schichten: Die mittels Rasterkraftmikroskopie vermessene Rauheit liegt nun im Bereich von 0,06 – 0,10 nm rms. Die unteren Grenzwerte der Rauheit werden dabei mit ebenen Substratoberflächen erreicht. Bei konkav gekrümmten Oberflächen mit Neigungswinkeln von 40 Grad gegenüber dem einfallenden Teilchenstrom liegt die Rauheit bei rund 0,10 nm rms.

Die verringerte Rauheit führt zunächst direkt zu einer Reduzierung des diffus vom Spiegel reflektierten Lichts. Bei Abbildungsoptiken führt dies zu einem verbesserten Signal-Untergrund-Verhältnis, d. h. zu einem erhöhten Bildkontrast.

Rauheit und Eigenspannungen auf konkav gekrümmten Substratoberflächen in Abhängigkeit von der Oberflächenneigung.



3

Darüber hinaus ist es gelungen, die zunächst durch die Plasmaaktivierung verursachte stärkere Durchmischung an den Grenzflächen zu reduzieren. So konnte auch die spekulare Reflexion der Spiegel erhöht werden. Unabhängig voneinander wurden Reflexionsgrade $> 70,5$ Prozent ($\lambda = 13,5$ nm, $\alpha = 5$ Grad) sowohl von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) als auch vom Berkeley National Lab (BNL) reproduzierbar nachgewiesen. Der bisherige Rekordwert liegt bei $R = 70,7$ Prozent.

Ein möglicherweise negativer Begleiteffekt der Plasmaaktivierung kann eine ungewünschte Erhöhung der Druckeigenspannungen der Schichten sein. Diese Erwartung bestätigte sich in den ersten Untersuchungen: Die bei Standardbeschichtungen üblichen Druckeigenspannungen von -200 MPa bis -250 MPa wurden deutlich überschritten und lagen in der Region von -300 MPa bis -650 MPa. Durch gezielte Anpassung der Aktivierung sowohl hinsichtlich Intensität als auch hinsichtlich Dauer ließ sich eine verstärkte Ausbildung der Eigenschaften vermeiden ohne die gewünschte Glättungswirkung zu verringern. Mit dieser Konfiguration lassen sich Schichten mit Eigenspannungen im Bereich von -220 MPa bis -260 MPa und Rauheit $< 0,1$ nm rms herstellen. Diese Werte sind auf großen Substraten mit Durchmesser von 300 mm und auf stark gekrümmten Substraten mit lokalen Oberflächenneigungen von bis zu 40 Grad erreichbar (Abb. 3).

- 1 *Fotografie eines EUV-Spiegels*
- 2 *Aufbau zur Energiebestimmung mit dem Plasmamonitor EQP 500*

KONTAKT

Dr. Stefan Braun
 +49 351 83391-3432
 Stefan.Braun@iws.fraunhofer.de

