

1 Lithografie

1.1 Maskentechnik

1.1.1 Maskentechnik

Die in der Fototechnik eingesetzten Masken enthalten ein Muster mit dem die jeweilige Schicht auf dem Wafer strukturiert wird. Ausgangsmaterial für die Masken sind Glasplatten, die ganzflächig mit Chrom und Lack beschichtet sind. Über den für Elektronenstrahlen empfindlichen Lack wird die Chromschicht strukturiert, welche dann die lichtundurchlässigen Bereiche auf der Glasmaske darstellt.

Mit einem Elektronenstrahl werden die Masken direkt beschrieben. Die gesamte Apparatur – die Elektronenstrahlquelle, Fokussier- und Ablenkeinheit und die Glasplatte – befindet sich im Hochvakuum (0,01-100 Pa; normaler Luftdruck ca. 100.000 Pa). Der Elektronenstrahl wird computergesteuert über die Maske gelenkt und belichtet den Lack. Bei dieser Methode lassen sich Strukturen bis weit unter 100 nm auflösen.

1.1.2 Schritte bei der Maskenherstellung

Grundsätzlich werden die Strukturen auf den Masken auf die gleiche Weise hergestellt, wie auf den Wafern. Im Gegensatz zum Belichtungsprozess in der Waferfertigung, bei dem die Strukturen der Maske durch Schattenwurf auf dem Lack abgebildet werden, werden die Masken aber mit einem Elektronenstrahl direkt beschrieben.

1. Belichten eines fotoempfindlichen Lacks zur Strukturierung einer Chromschicht auf dem Glassubstrat mittels Laser oder Elektronenstrahl

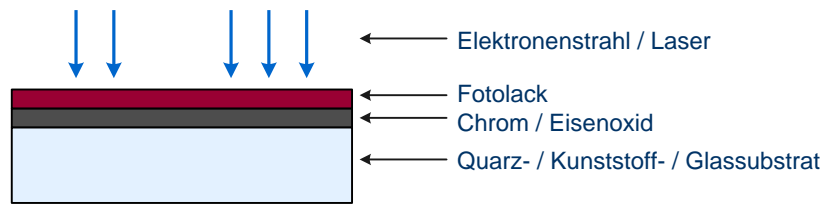


Abb. 1.1: Prinzipieller Schichtaufbau einer Chrom-on-Glass-Maske

2. Entwickeln der Lackschicht

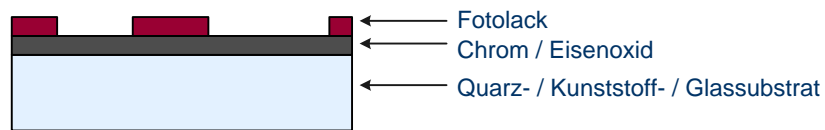


Abb. 1.2: Entwickeln der Lackschicht

3. Ätzen der Chromschicht

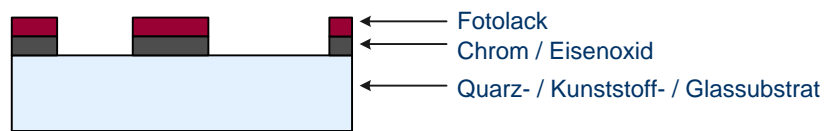


Abb. 1.3: Ätzen der Chromschicht

4. Lackentfernen



Abb. 1.4: Lackentfernen

5. Anbringen des Pellicles

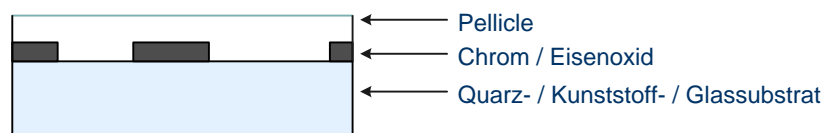


Abb. 1.5: Anbringen des Pellicles

1.1.3 Maskentypen

Neben der klassischen Chrommaske (COG, Chrome On Glass) gibt es noch weitere Maskentypen, die eine verbesserte Strukturauflösung ermöglichen. Hauptproblem der COG-Maske ist die Beugung, die das Licht an den Strukturkanten erfährt. Dadurch fällt das Licht nicht nur senkrecht auf den Wafer, sondern wird auch in den Schattenbereich abgelenkt, wo der Fotolack nicht belichtet werden soll.

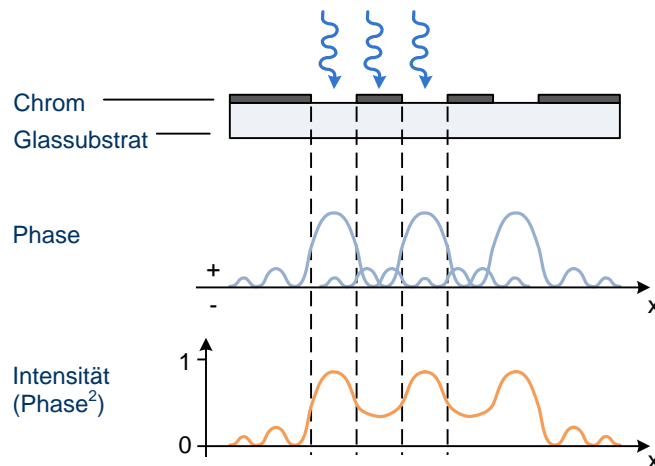
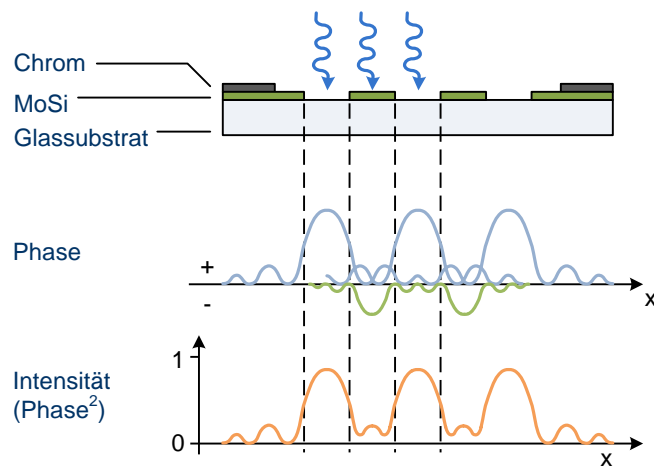


Abb. 1.6: Intensitätsprofil einer Chrom On Glass-Maske

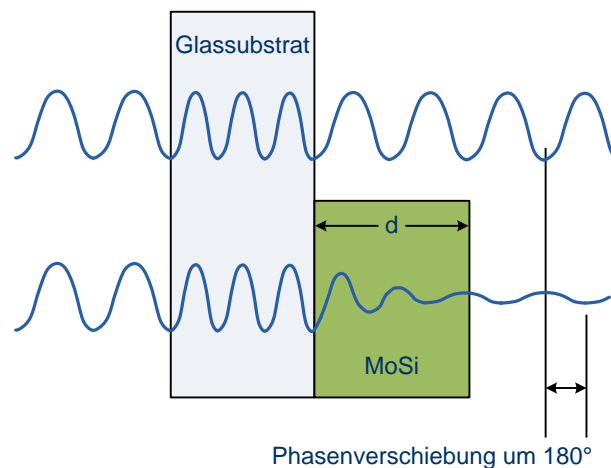
Mit verschiedenen Maßnahmen versucht man nun, die Intensität des gebeugten Lichts zu vermindern. Diese werden im Folgenden anhand der unterschiedlichen Maskentypen näher beschrieben.

Attenuated Phase Shift Mask (AttPSM):

Bei der so genannten Halbtonmaske oder weichen Phasenmaske bildet eine Schicht aus Molybdänsilicid (MoSi) den strukturgebenden Teil, eine Chromschicht gibt es hier nicht. Die Dicke der MoSi-Schicht ist so gewählt, dass das Licht beim Durchgang eine Phasenverschiebung um 180° erfährt gegenüber dem Licht, das lediglich Glas durchläuft. Gleichzeitig ist die Schicht je nach Molybdänanteil im Silicium zu 6 % oder 18 % lichtdurchlässig (bei einer Belichtungswellenlänge von 193 nm), das Licht wird also abgeschwächt (attenuate, engl.: vermindern). Die gegenläufigen Lichtwellen löschen sich so unterhalb der MoSi-Strukturen nahezu aus. Zusätzlich kann in Bereichen, die nicht zur Belichtung benötigt werden, Chrom aufgebracht werden, um Licht vollständig auszublenden. Diese Masken werden als Tritonemaske bezeichnet.



(a)



(b)

Abb. 1.7: (a) Intensitätsprofil einer Attenuated Phase Shift Mask, (b) Prinzip der Phasenschiebung mittels Molybdänsilicid

Chromfreie Phasenschiebermaske:

Die chromfreien Masken besitzen keine strukturgebende Beschichtung. Die Phasenschiebung wird durch Gräben erzeugt, die direkt in die Glasplatte geätzt sind. Die Herstellung dieser Masken gestaltet sich daher schwierig, da der Ätzvorgang mitten im Glas gestoppt werden muss. Im Gegensatz zu Ätzprozessen, bei denen eine Schicht vollständig durchgeätzt wird und Änderungen im Plasma Auskunft darüber geben, wann die darunterliegende Schicht freigelegt ist, erhält man hier keine Information, wann die benötigte Tiefe erreicht ist.

Alternating Phase Shift Mask:

Bei der alternierenden Phasenmaske werden wie bei der chromfreien Maske Gräben direkt in das Glassubstrat geätzt, jedoch abwechselnd (alternierend) mit ungeätzten Bereichen. Zusätzlich werden Stellen mit Chrom beschichtet um die Lichtintensität an entsprechenden Stellen herabzusetzen.

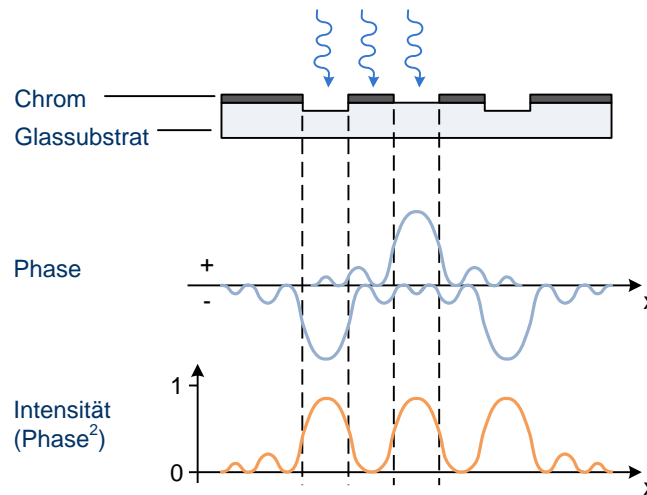


Abb. 1.8: Intensitätsprofil einer Alternating Phase Shift Mask

Dadurch ergeben sich jedoch Bereiche mit undefinierter Phasenverschiebung (Abb. 1.9), so dass bei diesem Maskentyp, der eine sehr hohe Auflösung ermöglicht, grundsätzlich zweimal belichtet werden muss. Die erste Maske enthält dabei die Strukturen die in x-Richtung verlaufen, die zweite Maske die Struktur in y-Richtung.

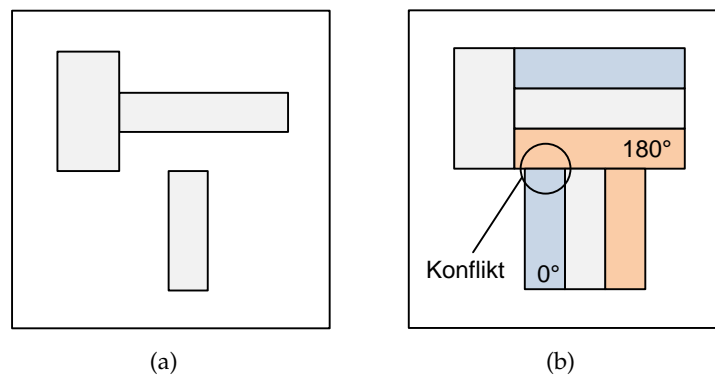


Abb. 1.9: Zielstruktur auf dem Wafer und entsprechende Maskenstruktur

1.1.4 Belichtungsverfahren der nächsten Generation

Zukünftig muss eine Umstellung der heute eingesetzten Anlagen und der transparenten Fotomasken erfolgen. Extreme UV-Strahlung (EUV, Wellenlänge 13,5 nm), wie sie voraussichtlich bei der nächsten Generation von Belichtungsverfahren eingesetzt wird, wird in normaler Atmosphäre sowie vom Glassubstrat nahezu vollständig absorbiert. Aus diesem Grund müssen die Prozesse unter Vakuum stattfinden, zur Fokussierung müssen Spiegel eingesetzt werden. Die Masken werden dann anstelle von transparenten Bereichen spiegelnde Oberfläche besitzen.

Nicht zuletzt wegen des enormen technischen wie auch finanziellen Aufwands versucht man die Lithografie mit refraktiven Optiken (z.B. Linsen) und den herkömmlichen Quarzmasken so lange wie möglich am Leben zu erhalten. Belichtungsverfahren mit phasenschiebenden Fotomasken und Immersionstechniken haben die konventionelle Lithografie schon sehr weit vorangetrieben, so können Strukturen von 32 nm noch immer mit 193 nm Wellenlänge belichtet werden.