

Halbleitertechnologie von A bis Z

Lithografie

Belichtungsverfahren	3
<i>Übersicht</i>	3
<i>Kontaktbelichtung</i>	3
<i>Abstandsbelichtung</i>	4
<i>Reduzierende Projektionsbelichtung</i>	5
<i>Elektronenstrahlithografie</i>	7
<i>Röntgenstrahlithografie</i>	7
<i>Weitere Verfahren</i>	8

Belichtungsverfahren

Übersicht

Die Fototechnik kann, je nach Art der Bestrahlung, in verschiedene Verfahren unterteilt werden: optische Lithografie (Fotolithografie), Elektronenstrahlolithografie, Röntgenstrahlolithografie und Ionenstrahlolithografie.

Bei der optischen Lithografie werden strukturierte Fotomasken (Reticle) verwendet. Die Belichtung mit UV-Licht oder Gaslasern erfolgt entweder im Maßstab 1:1 oder reduzierend, beispielsweise 4:1 oder 10:1.

Die optische Lithografie zerfällt heute in zwei technisch völlig verschiedene Zweige:

- DUV (deep ultraviolet, 248 und 193 nm): Die Maske ist transparent, abgebildet wird durch ein Linsensystem, die Anlage arbeitet an Luft oder mit einem Wasserfilm zwischen Objektiv und Wafer.
- EUV (extremes Ultraviolett, 13,5 nm): Da diese Strahlung von jedem Material absorbiert wird, arbeitet die Anlage im Vakuum, bildet über Spiegel ab und die Maske ist kein Transparent, sondern ein Spiegel.

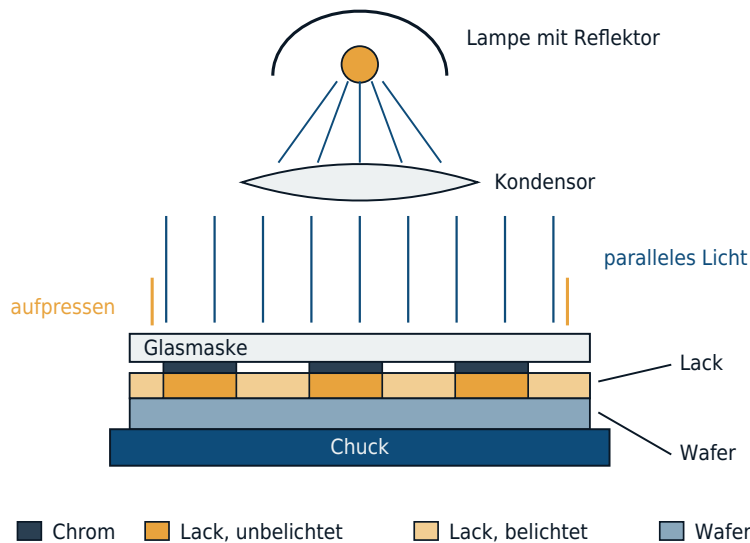
Die nachfolgend beschriebenen Belichtungsverfahren sind nach steigendem Auflösungsvermögen geordnet. Kontakt- und Abstandsbelichtung finden sich heute nur noch in der Mikromechanik, in der Forschung und in der Ausbildung; die Chipfertigung nutzt ausschließlich die reduzierende Projektionsbelichtung.

Kontaktbelichtung

Das Kontaktbelichtungsverfahren ist das älteste angewandte Verfahren. Dabei wird die Maske direkt auf die Lackschicht gepresst, die Strukturen im Maßstab 1:1 übertragen. Auflösungsbegrenzende Streu- bzw. Beugungseffekte des Lichts treten nur an den Strukturkanten auf. Die erzielten Strukturweiten sind bei diesem Verfahren jedoch gering. Da alle Chips auf einmal belichtet werden ist der Scheibendurchsatz bei dieser Technik sehr hoch, der Aufbau der Belichtungsanlagen ist relativ einfach.

Kontaktbelichtung

Die Maske liegt unmittelbar auf dem Lack, die Übertragung erfolgt 1:1



Weil Maske und Lack sich berühren, entstehen Beugungseffekte nur an den Strukturkanten. Der Aufbau ist einfach und belichtet alle Chips auf einmal. Dafür verschmutzt und verkratzt die Maske, weil sie auf den Lack gepresst wird.

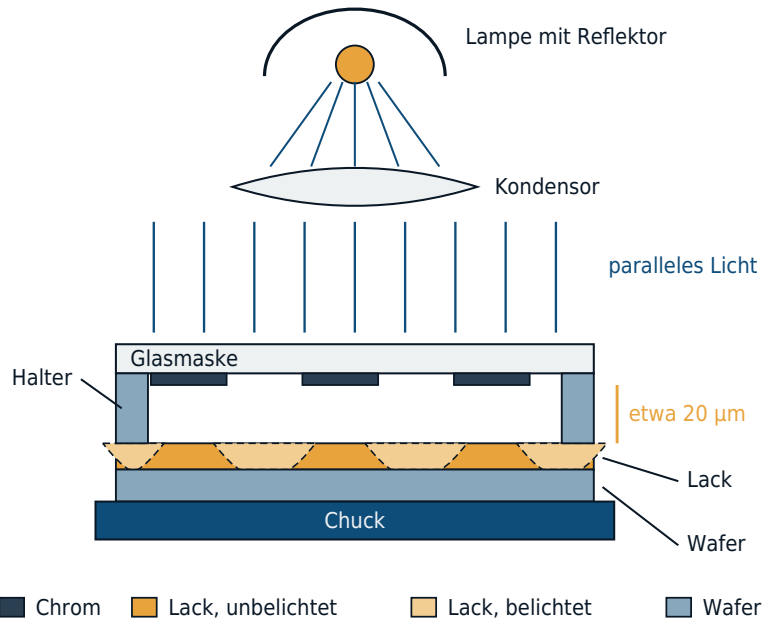
Die Nachteile liegen jedoch auf der Hand: durch die angepresste Maske auf den Lack verschmutzt diese schnell, oder kann, wie auch der Lack, dabei verkratzt werden. Befinden sich Partikel zwischen Scheibe und Maske wird die Abbildung durch den Abstand von Maske und Wafer verschlechtert.

Abstandsbelichtung

Bei der Abstands- oder Proximitybelichtung wird der Kontakt von Maske und Scheibe durch einen Abstandshalter (ca. 20 μm) vermieden. Dabei wird jedoch nur ein Schattenbild der Maske auf dem Wafer abgebildet, welches eine deutlich schlechtere Auflösung der Strukturen bietet.

Abstandsbelichtung

Abstandshalter halten die Maske über dem Lack – es entsteht ein Schattenbild



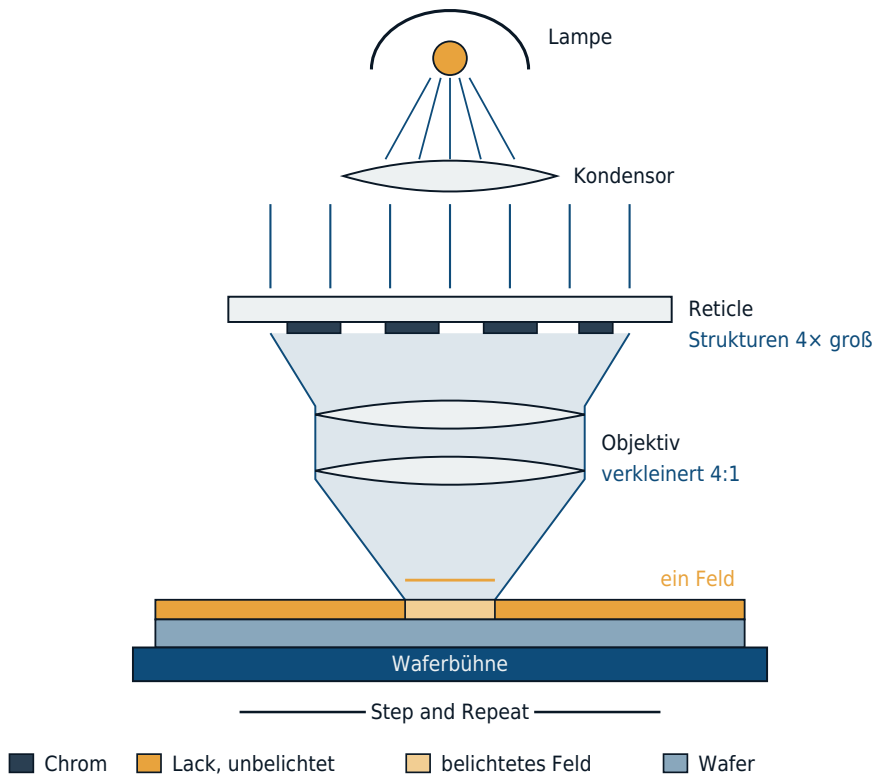
Der Spalt schützt Maske und Lack vor Kratzern und vor Partikeln dazwischen. Dafür fällt nur ein Schattenbild auf die Scheibe: Das Licht wird an den Chromkanten gebeugt, die Strukturen werden breiter und ihre Ränder unscharf.

Reduzierende Projektionsbelichtung

Dies ist das einzige Belichtungsverfahren, das in der Chipfertigung noch eingesetzt wird. Bei diesem Verfahren ist die Step-and-Repeat-Technik gebräuchlich. Dabei wird ein einzelner Chip - bei geringer Größe auch mehrere - über ein Reticle auf dem Wafer abgebildet. So wird die gesamte Fläche der Scheibe Chip für Chip belichtet.

Reduzierende Projektionsbelichtung

Das Objektiv bildet das Reticle verkleinert auf den Wafer ab



Weil die Strukturen auf dem Reticle vier- bis zehnfach größer sind, werden auch Partikel und Maskenfehler mitverkleinert und fallen oft unter die Auflösungsgrenze. Belichtet wird Feld für Feld, dazwischen verfährt die Waferbühne.

Bei hoher Auflösung wird das Feld nicht mehr als Ganzes belichtet, sondern Maske und Wafer werden gegenläufig synchron unter einem schmalen Lichtspalt hindurchgeführt (step and scan). Nur so lässt sich das Objektiv über das ganze Feld korrigiert halten. Der Vorteil bei diesem Verfahren ist, dass die auf dem Reticle abgebildeten Strukturen um den Faktor 4 vergrößert vorliegen (bei den High-NA-EUV-Anlagen in einer Achse um den Faktor 8). Bei der verkleinerten Abbildung auf den Wafer werden neben den Strukturen auch alle Fehler, wie Partikel, verkleinert dargestellt oder fallen sogar unter die Auflösungsgrenze; die Auflösung selbst wird bei diesem Verfahren verbessert.

Da für eine Ebene nicht die komplette Maske genutzt wird, können mehrere Ebenen auf einer Glasplatte aufgebracht werden, so dass die Maskenkosten gesenkt werden.

Zusätzlich kann ein Pellicle, eine dünne Folie mit Alurahmen, auf die Maske geklebt werden, wodurch Partikel von der Maske ferngehalten werden. Diese befinden sich nun außerhalb des Schärfebereichs und werden nicht abgebildet.

Daneben gibt es noch die Spiegelprojektionsbelichtung (1:1), bei der der Wafer

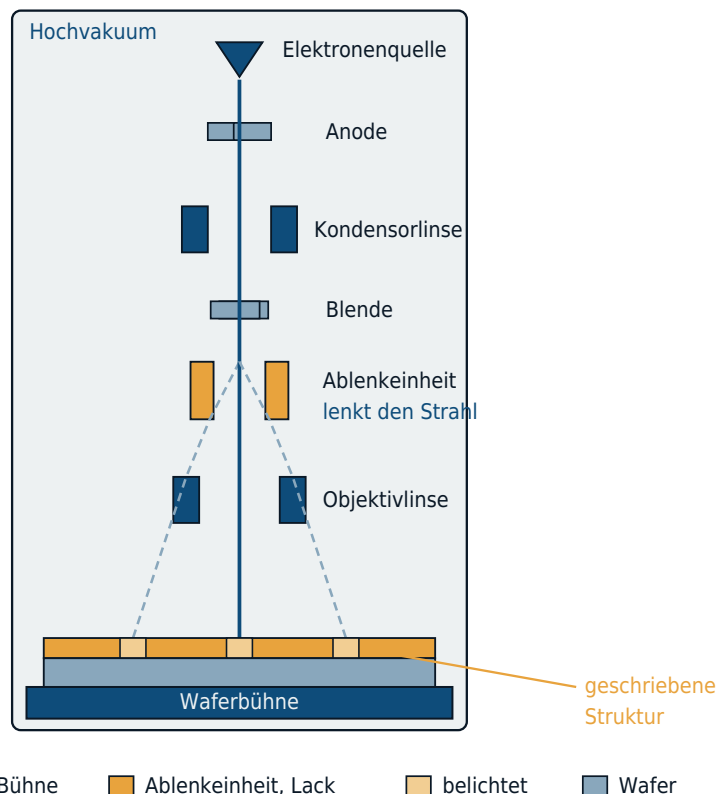
über ein komplexes System aus Spiegeln belichtet wird. Durch die Verwendung von Spiegeln entstehen keine Farbfehler, wie sie bei Linsensystem auftreten, dazu können Ausdehnungen der Scheibe durch Temperatureinfluss in Prozessen ausgeglichen werden. Jedoch werden über Spiegelsysteme Bilder verzerrt/gekrümmt dargestellt. Durch die 1:1-Abbildung ist die Auflösung außerdem stark begrenzt.

Elektronenstrahlolithografie

Wie bei der **Maskenherstellung** wird ein fokussierter Elektronenstrahl über den belackten Wafer gescannt. Dabei kann das Scannen zeilenweise im Raster-Scan-Verfahren oder im Vektorscanverfahren durchgeführt werden. Jedoch muss auch hier jede Struktur einzeln geschrieben werden, was sehr zeitintensiv ist. Der Vorteil ist, dass keine Masken benötigt werden, was Kosten spart. Die gesamte Apparatur befindet sich dabei im Hochvakuum.

Elektronenstrahlolithografie

Ein fokussierter Strahl schreibt die Struktur direkt - ohne Maske



Der Strahl fährt die Struktur Punkt für Punkt ab - zeilenweise im Rasterscan oder gezielt im Vektorscan. Das kostet Zeit, spart aber die Maske und ist deshalb vor allem für Prototypen und für die Maskenherstellung selbst üblich.

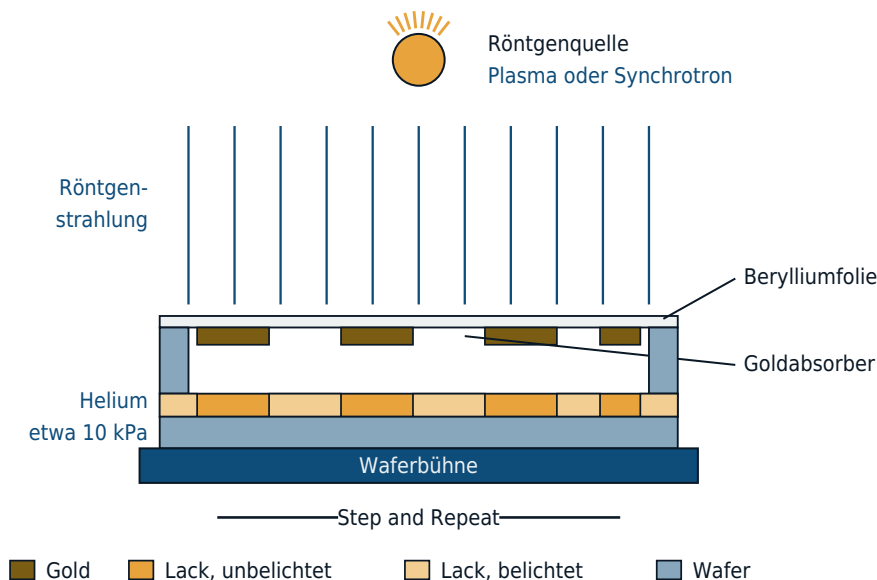
Röntgenstrahlolithografie

Die Auflösungsgrenze der Röntgenstrahlolithografie liegt bei etwa 40 nm. Die Abbildung erfolgt im 1:1 Step-and-Repeat-Verfahren durch Schattenwurf, und wird unter Atmosphärendruck in Luft oder bei leichtem Unterdruck in Heliumatmosphäre (ca. 10.000 Pa) durchgeführt. Die Röntgenquelle kann dabei eine Plasmaquelle oder Synchrotronstrahlung sein.

Anstelle der chrombeschichteten Glasmasken werden dünne, mechanisch stabile Folien aus Beryllium, teils auch aus Silicium verwendet. Um die Röntgenstrahlung zu absorbieren werden die Folien mit schweren Elementen wie Gold beschichtet. Die Anlagen sowie die Masken sind sehr teuer.

Röntgenstrahlolithografie

Schattenwurf im Maßstab 1:1 – für Röntgenstrahlen gibt es keine Linsen



Röntgenstrahlen lassen sich nicht mit Linsen bündeln, deshalb wird das Muster direkt als Schatten übertragen – eins zu eins, Feld für Feld. Die Auflösung reicht bis etwa 40 nm, doch Anlagen und Masken sind sehr teuer.

Weitere Verfahren

Eine weitere Möglichkeit der Lithografie ist die Bestrahlung der Wafer mit Ionen. Mit den Ionen kann der Wafer sowohl über eine Maske strukturiert, als auch direkt wie bei der Elektronenstrahlmethode beschrieben werden. Im Falle von Wasserstoffionen beträgt die Wellenlänge 0,0001 nm. Mit anderen Elementen ist auch eine direkte Dotierung ohne Maskierung denkbar.