

1 Lithografie

1.1 Belichten und Belacken

1.1.1 Übersicht

In der Halbleiterfertigung werden Strukturen auf Siliciumscheiben mittels lithografischer Verfahren hergestellt. Dabei wird zuerst ein strahlungsempfindlicher Film, meist eine Fotolackschicht, auf dem Wafer aufgebracht, strukturiert und mit Ätzverfahren in die darunter liegende Schicht übertragen.

Die Fototechnik beinhaltet dabei folgende Prozessschritte:

- Aufbringen eines Haftvermittlers und Entfernen von Wasser auf dem Wafer
- Belacken der Wafer
- Stabilisieren der Lackschicht
- Belichten
- Entwickeln des Lackes
- Aushärten des Lackes
- Kontrolle

Bei einigen Prozessen wie der Ionenimplantation, dient der Fotolack als Schutzschicht um bestimmte Bereiche auf dem Wafer von der Implantation auszuschließen. Eine Übertragung der Lackmaske durch einen Ätzprozess findet hier nicht statt.

1.1.2 Aufbringen eines Haftvermittlers

Zu Beginn werden die Wafer gereinigt und ausgeheizt (Pre-Bake) um anhaftende Partikel zu beseitigen und angelagertes Wasser zu entfernen. Die Oberfläche der Wafer ist

Wasser anziehend (hydrophil) und muss vor dem Aufbringen der Lackschicht hydrophob, also Wasser abstoßend und damit Lack anziehend gemacht werden. Dazu wird auf den Wafern ein Haftvermittler, meist Hexamethyldisilazan (HMDS), aufgebracht. Die Wafer werden dabei dem Dampf dieser Flüssigkeit ausgesetzt, so dass sich die Scheibenoberflächen damit benetzen.

Durch die Feuchtigkeit in der Umgebungsluft befinden sich auch nach dem Ausheizen immer Wasserstoff H oder Hydroxidionen OH^- an der Waferoberfläche. Das HMDS spaltet sich in Trimethylsiliciumgruppen $\text{Si}-3\text{CH}_3$ auf und entfernt den Wasserstoff unter Bildung von Ammoniak NH_3 .

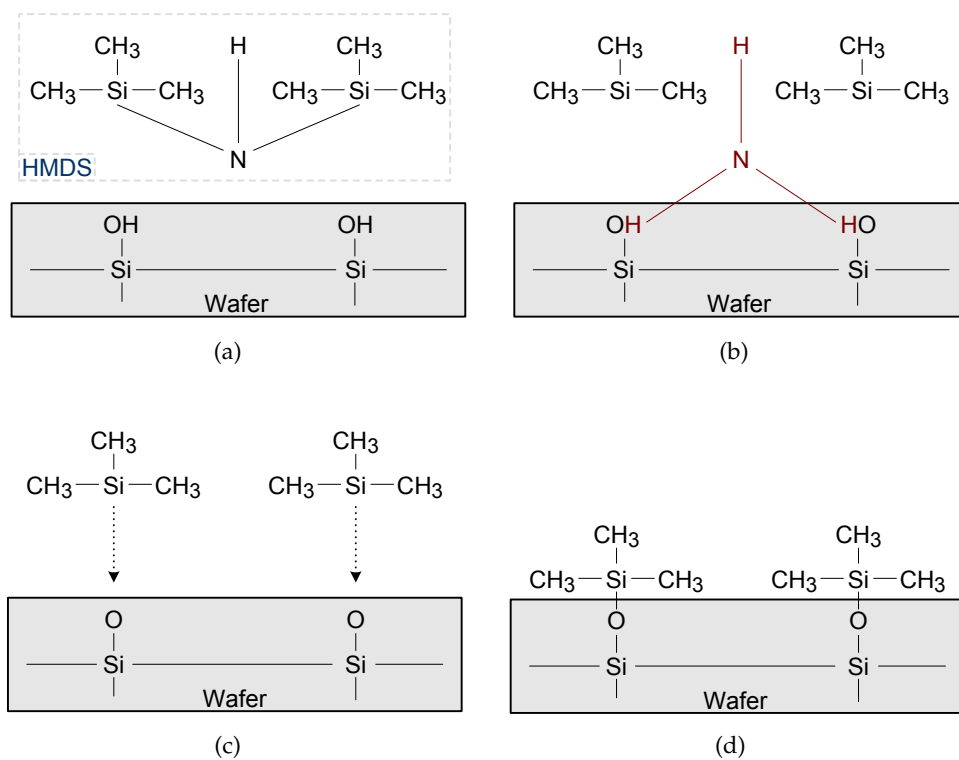


Abb. 1.1: Oberflächenmodifikation mit HMDS

1.1.3 Belacken

Die Belackung der Wafer erfolgt durch eine Schleuderbeschichtung auf einem drehbaren Teller mit Vakuumsaugung (Chuck). Bei niedriger Drehzahl wird Lack in der Mitte der Scheibe aufgespritzt und dann bei 2000-6000 Umdrehungen pro Minute

durch die Zentrifugalkraft zu einer homogenen Lackschicht auseinander gezogen. Deren Dicke beträgt je nach anschließendem Prozess bis zu $2\ \mu\text{m}$. Die Dicke hängt dabei von der Drehzahl und der Zähigkeit (Viskosität) des Lackes ab.

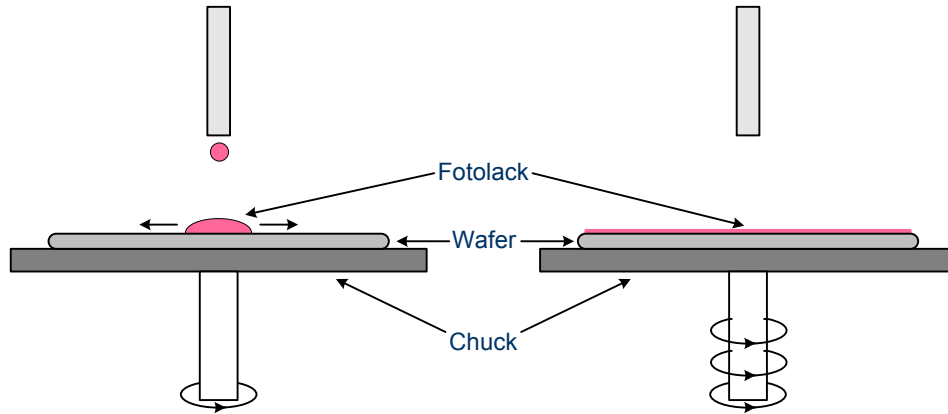


Abb. 1.2: Schleuderbelackung

Damit der Lack auf der Scheibe gleichmäßig verfließen kann enthält er Wasser und Lösungsmittel, die ihn weich machen. Zur Stabilisierung der Lackschicht wird der Wafer danach bei ca. $100\ ^\circ\text{C}$ ausgeheizt (Post-Bake bzw. Soft-Bake). Wasser und Lösungsmittel werden teilweise verdampft, eine Restfeuchtigkeit muss für die Belichtung erhalten bleiben.

1.1.4 Belichtung

In einer Belichtungsanlage befindet sich eine Glasmaske die teilweise mit Chrom beschichtet ist, dadurch werden partiell Bereiche des belackten Wafers belichtet und andere nicht.

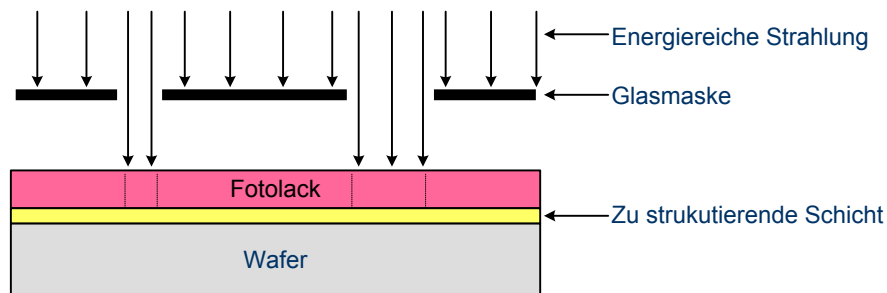


Abb. 1.3: Prinzip der optischen Fotolithografie

Je nach Art des Lackes werden belichtete Teile löslich oder unlöslich. Mit Hilfe einer Entwicklerlösung werden die löslichen Bereiche entfernt, so dass eine strukturierte Lackschicht erhalten bleibt. Bei Positivlack spaltet sich ein Stickstoffmolekül (N_2) durch das energiereiche UV-Licht ab. Zurück bleibt ein so genanntes Keto-Karben, das sich aus energetischen Gründen zu Keten (Strukturformel $CH_2=C=O$) umwandelt. Unter Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft bildet sich aus dem Keten eine Carbonsäure.

Die Belichtungszeit ist sehr wichtig damit die Strukturen die exakte Größe erhalten. Je länger die Scheibe den Strahlen der Belichtungsanlage ausgesetzt wird, desto größer werden dabei die belichteten Bereiche. Eine exakte Bestimmung der korrekten Belichtungsdauer zum Erreichen der vorgegebenen Strukturweiten mit einem oder mehreren Testwafern (Vorläufern) ist notwendig, da sich der Lack je nach Umgebungstemperatur auch unterschiedlich verhalten kann.

Bei einer Überbelichtung werden Lackstege und damit die darunter liegenden Strukturen zu klein, Kontaktlöcher werden zu groß. Bei einer zu kurzen Belichtungszeit sind die Kontaktlöcher nicht geöffnet, Leiterbahnen sind zu breit und stehen unter Umständen miteinander in Kontakt. Zudem führt eine schlechte Fokussierung zu unbelichteten Bereichen, so dass Kontaktlöcher bei der Entwicklung später nicht freigelegt werden und zwischen Leiterbahnen Verbindungen bestehen bleiben, die zu Kurzschlüssen führen.

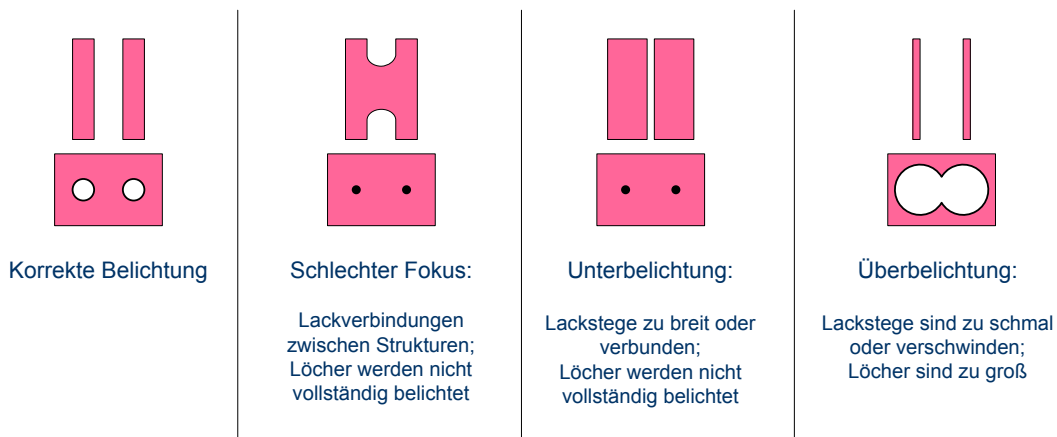


Abb. 1.4: Fehler bei der Belichtung durch falschen Fokus, Über- oder Unterbelichtung

Je nach nachfolgendem Prozess muss das Lackmaß, also die Breite der Lackstege oder der Durchmesser der Löcher angepasst werden. Bei isotropen Ätzungen (die Ätzung

geschieht sowohl in vertikaler als auch horizontaler Richtung) wird die Maskierung nicht 1:1 in die zu strukturierende Schicht übertragen.

1.1.5 Eingesetzte Belichtungsverfahren

Zur Belichtung werden je nach Anforderung energiereiche Strahlen wie UV-Licht, Elektronenstrahlen, Röntgenstrahlung und Ionenstrahlen eingesetzt. Dabei gilt, je kürzer die Wellenlänge der Strahlung, desto kleiner sind die erreichbaren Strukturbreiten.

Bei 120 nm Strukturen wird beispielsweise ein Argon-Fluorid-Laser eingesetzt (ArF-Laser), für kleinere Strukturen Stickstoff-Laser (Wellenlänge 155 nm) oder Extreme UV-Strahlung (EUV, Wellenlänge 13 nm). Röntgenstrahlen haben eine Wellenlänge von 0,2-0,4 nm, Elektronenschreiber ca. 0,02 nm und Ionenstrahler, im Falle von Wasserstoffionen 0,0001 nm.

Dass man mit der Wellenlänge von x nm kleinere Strukturen als x nm herstellen kann liegt daran, dass man sich spezieller Belichtungsmasken bedient, mit denen sich eine Phasenverschiebung des Lichts ausnutzen lässt. Zudem kann das Auflösungsvermögen mit Flüssigkeitsfilmen (u.a. Reinstwasser) im Linsensystem erhöht werden (Immersion). Durch diese Techniken können auch heutige Strukturen von nur mehr 45 nm nach wie vor mit einer Belichtungswellenlänge von 193 nm hergestellt werden.

Während UV-Strahlung (erzeugt durch Quecksilberdampflampen) und Gaslaser heutzutage bei der Belichtung von Wafern Anwendung finden, werden Röntgen- und Ionenstrahlen meist für Forschungszwecke eingesetzt. Elektronenstrahlschreiber werden zur Herstellung der Fotomasken verwendet.