

Halbleitertechnologie von A bis Z

Lithografie

Der Fotolack	3
Lacktechnik	3
Chemische Zusammensetzung	3

Der Fotolack

Lacktechnik

Es gibt Positiv- und Negativlacke, die bei unterschiedlichen Anwendungen eingesetzt werden. Während beim Positivlack die belichteten Stellen löslich werden, werden bestrahlte Bereiche beim Negativlack für die [Entwicklerlösung](#) unlöslich.

Charakteristik der Positivlacke:

- sehr gute Auflösung
- stabil in der Entwicklerlösung
- in Laugenlösungen entwickelbar
- nur bedingt resistent gegen Ätzung und Implantationsprozesse
- schlechte Haftung auf dem Wafer

Charakteristik der Negativlacke:

- sehr empfindlich (exaktere Strukturierung bei der Belichtung möglich als Positivlack)
- gute Haftung
- resistent gegen Ätzverfahren und Implantation
- billiger als Positivlack
- geringe Auflösung
- Xylol-Entwickler (giftig)

Zur Strukturierung der Wafer in der Fertigung werden fast ausschließlich Positivlacke verwendet. Negativlacke finden meist als Passivierungsschicht (Fotoimidschicht) Anwendung, die mittels UV-Licht ausgehärtet werden können. Sofern im Text keine Angaben zum Lack gemacht werden, handelt es sich um Positivlack; bei Negativlack wird dies ausdrücklich erwähnt.

Chemische Zusammensetzung

Fotolacke (auch als Fotoresist bezeichnet; resist = widerstehen) setzen sich aus einem Bindemittel, einem Sensibilisator und einem Lösemittel (Verdünner) zusammen.

- Bindemittel (Anteil ~20%): Als Bindemittel werden häufig Novolake eingesetzt. Dabei handelt es sich um Phenolharze (Kunstharz, Kunststoff), welche in erster Linie die thermischen Eigenschaften des Lackes bestimmen.
- Sensibilisator (Anteil ~10%): Der Sensibilisator bestimmt die Lichtempfindlichkeit des Lackes. Sensibilisatoren setzen sich aus Molekülen zusammen, die bei einer Belichtung mit energiereicher Strahlung die

Löslichkeit des Lackes verändern (im Positivlack entsteht aus dem Sensibilisator durch die Belichtung Carbonsäure. Mehr dazu im Kapitel [Entwickeln](#)). Damit der Lack nicht durch das Licht in den Fertigungshallen belichtet wird, finden die Fototechnikprozesse unter Gelblicht statt, gegen das der Lack unempfindlich ist.

- Lösemittel (Anteil ~70%): Die Lösemittel bestimmen die Viskosität des Lackes. Durch das Verdampfen der Lösemittel auf einer Heizplatte wird der Lack stabilisiert und resistent für nachfolgende Prozesse.

Ein vom Hersteller gelieferter Lack hat eine definierte Oberflächenspannung und Dichte, einen bestimmten Feststoffgehalt und eine bestimmte Viskosität. Somit ist bei der Belackung in der Chipfertigung die erzielte Fotolackdicke ausschließlich von der Drehzahl der Belackungsanlage abhängig.

Gelbraum

Die in der Phototechnik üblicherweise verwendeten Photolacke reagieren in erster Linie auf UV-Licht empfindlich. Sie besitzen jedoch hinauf bis zu einer Wellenlänge von ca. 500 nm eine gewisse Restempfindlichkeit. Deshalb muss beim Umgang mit diesen Lacken grundsätzlich im Gelblichtraum gearbeitet werden, da gelbes Licht mit einer Wellenlänge von mehr als etwa 560 nm zu energiearm ist, um den Photolack zu schädigen. Auch bei den Lichtmikroskopen für die optische Kontrolle darf nur Licht in diesem Wellenlängenbereich verwendet werden.

Chemisch verstärkte Lacke

Der oben beschriebene Aufbau gilt für die klassischen Lacke der i-Linie. Bei 248 nm und darunter reicht die Zahl der eintreffenden Photonen nicht mehr aus, um genügend Sensibilisatormoleküle direkt umzusetzen. Eingesetzt werden deshalb chemisch verstärkte Lacke (chemically amplified resist, CAR): Statt eines Sensibilisators enthalten sie einen Photosäurebildner (photo acid generator, PAG), der bei Belichtung eine starke Säure freisetzt. Diese spaltet in einem anschließenden Temperschnitt (post exposure bake) Schutzgruppen vom Bindemittel ab und wird dabei nicht verbraucht, sondern wirkt katalytisch weiter. Ein einzelnes Photon löst so hunderte bis tausende Reaktionen aus.

Der Verstärkungsmechanismus hat einen Preis: Die Säure diffundiert während des Temperschnitts, was die Kante der späteren Lackstruktur verschmiert. Diffusionslänge, Bake-Temperatur und -Zeit sind damit auflösungsbestimmende Prozessparameter.

Lacke für die EUV-Belichtung

Ein EUV-Photon trägt mit 92 eV rund vierzehnmal mehr Energie als ein Photon bei 193 nm. Für dieselbe eingebrachte Energie treffen also entsprechend weniger Photonen auf die Fläche, und deren Ankunft ist ein statistischer Prozess. Bei Strukturen von wenigen Nanometern schwankt die Photonenzahl pro Struktur merklich – die Folge sind zufällig fehlende oder zusätzliche Strukturen sowie eine rauere Kante. Diese stochastischen Defekte, nicht die Optik, sind heute die praktische Auflösungsgrenze der EUV-Lithografie.

Gegenmaßnahmen sind höhere Belichtungsdosen (die den Durchsatz kosten) und Lacke mit höherer Absorption. Neben weiterentwickelten CAR kommen dafür Metalloxidlacke auf Zinnbasis in Betracht, die EUV deutlich stärker absorbieren als organische Systeme. Ebenfalls in Entwicklung sind trocken aufgetragene Lacke, die aus der Gasphase abgeschieden statt aufgeschleudert werden.

Die Schichtdicken sind dabei deutlich geringer als in der klassischen Fototechnik: Bei EUV liegen sie im Bereich einiger zehn Nanometer, da hohe schmale Lackstege sonst durch die Oberflächenspannung der Entwicklerlösung umkippen (pattern collapse). Die mechanische Stabilität und die Ätzresistenz übernehmen deshalb zusätzliche Hilfsschichten unter dem Lack.