

1 Fotolithographie

1.1 Fotolacke

Sind als Grundlage für viele Techniken in der Mikroelektronik (Sputtern, Ätzen, Implantieren,...) unbedingt erforderlich, da sie die entsprechenden **Prozesse lokal** auf ausgewählte Gebiete des Wafers **beschränken**.

Man unterscheidet prinzipiell zwischen Positiv- und Negativlacken. Bei Positivlacken erhält man das Positivbild der Maske (unbelichtete Bereiche des Lacks sind im Entwickler unlöslich → Chromschichten auf der Maske werden auf Formgleiche Lackstrukturen abgebildet.

Fotolacke, die man in Ein- oder Mehrkomponentenlacke einteilen kann, sind aus strahlungsempfindlichen (**photosensitiven**) **organischen Polymeren** aufgebaut.

1.1.1 Wirkungsweise der unterschiedlichen Lacke

Mehrkomp.-Positiv-Lack: Umwandlung des Sensitizers

Einkomp.-Positiv-Lack: Spaltung der Polymerketten

Negativ-Lacke: Strahlungsinduziertes Vernetzen der Polymere.

1.1.2 Einkomponentenlacke

Alle gewünschten Eigenschaften (Strahlungsempfindlichkeit, Schichtbildungseigenschaften, chem. Beständigkeit gegenüber Ätzprozesse,...) werden durch ein **einziges homogenes Polymersystem** realisiert.

1.1.3 Zweikomponentenlacke

Bestehen aus strahlungsunempfindlichen **Matrixmaterial(Harz)**, das für die gewünschten Schichtbildungseigenschaften und die Ätzbeständigkeit sorgt, sowie aus einem strahlungsempfindlichen **Sensitizer(Monomer)**.

Durch Bestrahlung ändert sich der Sensitizer und macht das Matrixmaterial im Entwickler löslich. Empfindlichkeit eines Lackes ist umso größer, je kleiner die erforderliche Dosis der Bestrahlung ist.

Einheit der Dosis: mJ/cm^2 oder $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ (Elektronenlitho)

1.1.4 Positiv-Lacke

Heute verwendet man fast ausschließlich Positiv-Zweikomponentenlacke. Matrixmaterial kann z.B. **Novolakharz** sein und als Sensitizer verwendet man z.B. **Diazonaphthalinon-Derivate**.

Vorteile der Lacke auf Novolakbasis: gute Adhäsion, hohe Auflösung, gute Beständigkeit in Plasmaätzprozessen, gute Empfindlichkeit im langwelligen UV, vernachlässigbares Quellen usw.

Nachteil: nicht im kurzwelligen UV anwendbar (starke Absorption des Novolakharzes)

Für kleinere Strukturen erzeugen zu können, sind kleinere Wellenlängen erforderlich. Man braucht deshalb auch einen neuen Lack, der im kurzwelligen Bereich eine ausreichende Empfindlichkeit hat.

Oder Belichtung mit Excimer-Laser, deren Wellenlänge mit dem Absorptionsminimum des Lackes übereinstimmt.

1.1.5 Negativ-Lacke

Die Wirkungsweise ist durch **strahlungsinduziertes Vernetzen** der Polymerketten oder des Sensitizers erklärt.

Nachteil: es können nur organische Lösungsmittel als Entwickler verwendet werden → **starkes Quellen des Lackes** → **beschränkte Auflösung** ($>1.5\mu\text{m}$)

1.2 Verarbeitung von Lacken

Der erste Schritt bei der Herstellung einer Photolackstruktur ist das sogenannte **Aufspinnen**. Durch unterschiedliche Drehzahlen bzw. Verdünnungsverhältnissen des Lackes mit einem organischem Lösungsmittel können **unterschiedliche Schichtdicken** erzeugt werden. Am Rand des Wafers entsteht ein **Wulst**, der ca. 2-3 mal so dick ist. Es besteht beeinflusst vom Lack/Lösungsmittelsystem durch Entgasungseigenschaften beim Aufspinnen die Gefahr der Bildung von „**Lackpinholes**“.

Nach dem Aufspinnen wird der **Lack getrocknet** um die **Adhäsion** am Wafer zu erhöhen. Es gibt drei verschiedene Arten der Trocknung:

- **Konvektion** (im Ofen ; Lösungsmitteldämpfe werden abgesaugt)
- **Wärmeleitung** (Hot-Plate-Trocknung)
- **Absorption** (Mikrowellen, Infrarot oder HF)

Positiv-Photolacke sollen isothermisch getrocknet werden, da sich Temperaturschwankungen während der Trocknung auf die erreichbare Auflösung der Fotolackstrukturen auswirken. ($\diamond 5^\circ\text{C}$ → $\diamond 0.1\mu\text{m}$)

Bevorzugt wird deshalb die **Hot-Plate-Trocknung**, da diese sehr schnell eine konstante Trocknungstemperatur von ca. 100°C erreicht („Softbake“) Ein weiterer Vorteil der Hot-Plate-Trocknung ist jener, dass der Lack von unten nach oben getrocknet wird und sich somit **keine Lösungsmittelkruste** auf der Oberfläche des Wafers bilden kann (Dämpfe entweichen)

Nach dem Softbake erfolgt das eigentliche **Belichten** (z.B.: mit einer Hg-Dampf-Lampe).

Beim **Entwickeln** werden die durch das Belichten selektierten Bereiche des Fotolacks gelöst und entfernt. Die Anordnung sieht so aus wie beim Aufspinnen und der Entwickler wird von oben auf den rotierenden Wafer gesprüht. Da es sich beim Entwickeln um einen nasschemischen, **isotropen Prozess** handelt, kann die Entwicklungszeit nicht exakt festgelegt werden (kann nicht einfach abgeschaltet werden). Es entstehen auch **schräge Flanken**, die bei zu langem Entwickeln ein zu großes Gebiet vom Fotolack befreien als vorgesehen. Für ein präzises Lackprofil wird deshalb während des Prozesses die **Restdicke** zum Substrat mit Hilfe eines Laserinterferometers **gemessen**. (Vermeidung einer Überentwicklung)

1.3 Masken für die UV-Lithographie

1.3.1 Vorlagenerstellung

Folientechnik: Mylar-Doppelfolie besteht aus **durchsichtiger und undurchsichtiger Schicht**. Mit automatisch positionierbarem **Schneidemesser** wird die undurchsichtige Schicht an bestimmten Stellen geschnitten und abgehoben („Strippen“). Größe: 50x50cm; Positioniergenauigkeiten: 20µm. Geschnittene Folie wird auf **Milchglasleuchttafel** gespannt und durch Fotografieren **verkleinert** (auf die für den Repeater erforderliche Größe)

Fotoplotter: Computergesteuerter, fein fokussierter Lichtstrahl wird in vergrößertem Maßstab auf lichtempfindlichen Film geschrieben.

Patterngenerator: Automatisch gesteuerte Rechteckblenden beleuchten in einzelnen „Flashes“ Schritt für Schritt die entsprechenden Bereiche der lichtempfindlichen Vorlage. (Maßstab 10:1)

1.3.2 Maskenherstellung

el. Schaltung → Topgraphie → **Maskenvorlagen** → Reduktion → Step- & Repeat → Muttermasken → Kontaktkopie → **Arbeitsmasken**

Silberbromid Emulsionsmasken sind **mechanisch sehr empfindlich**. Es werden daher in Kontaktkopie Metallarbeitsmasken angefertigt:

Herstellung der Masken durch direkte Belichtung des Fotolacks auf einem „**Maskenblank**“ (Aufbau: Fotolack, Cr-Oxid(**Antireflexschicht**), dünne Chromschicht und Glas als Träger) mit Patterngenerator oder Elektronenstrahlschreiber (bevorzugte Methode). Danach wird das überschüssige Chrom weggeätzt und man erhält eine fertige Metallmaske.

Wenn das **Alignment von Hand** durchgeführt werden muss, verwendet man **Eisenoxid-Masken**, da sie nur Sperrwirkung für UV-Licht haben.

Maskenherstellung mit Ionenstrahlen: SOS (Silizium on Saphir-Substrat) wird durch fein fokussierten Ionenstrahl teilweise vom **kristallinen in den amorphen Zustand übergeführt**. Dadurch ändert sich der Absorptionskoeffizient sehr stark.

1.3.3 Reparatur von Chrommasken

Mit Hilfe der Fotolacktechnik werden die „guten“ Stellen abgedeckt, und die Fehlstellen freigelegt. Durch **Aufdampfen oder Ätzen** kann eine Korrektur erfolgen.

Durch **Ionenstrahl** kann auch überschüssiges Chrom lokal weggesputtert werden. Fehlendes Chrom kann durch **ionenunterstützte Abscheidung von Kohlenstoff** aus der Gasphase ersetzt werden.

1.4 Belichtungsmethoden

Kontaktverfahren: Maske sitzt direkt auf dem Wafer und kann deshalb mechanisch beschädigt werden. Es besteht auch die **Gefahr der Beschädigung** der Lackschicht.

Proximity-Verfahren: Es besteht zwischen Maske und Wafer ein kleiner Abstand (**10µm**) wodurch die Gefahr der mech. Beschädigung vermieden wird. Nachteil: geringere Abbildungsgenauigkeit.

Projektionsverfahren: Maske befindet sich in großem Abstand zum Wafer und ist normalerweise größer (2x, 5x oder 10x). Mit spezieller Optik wird die Struktur auf den Wafer projiziert. Wird am häufigsten angewendet in Kombination mit **Step- and Repeat-Verfahren**.

Bei allen drei Verfahren treten nichtideale **optische Effekte** auf: **Beugung** an den Strukturen der Masken erzeugt Beugungsmuster im Intensitätsverlauf. (am kleinsten bei Kontaktbelichtung) Bei kleinen Strukturen ist die Beugung nicht vernachlässigbar (verringert die Auflösung durch Überlagerung der Nebenminima). Durch am Substrat reflektierte Wellen entstehen **wellenförmige Flanken (stehende Wellen)**

1.5 Formgebung von Schichten

Ätzmethode: Gesamte Wafer wird mit gewünschter Schicht versehen (aufspütern oder aufdampfen). Danach wird eine Fotolackstruktur aufgebracht und **überschüssige Teile** der Schicht **durch Ätzen entfernt**. Das Ätzen kann nasschemisch(isotrop; NT: Unterätzung) oder trockenchemisch(anisotrop) erfolgen.

Abhebemethode: Vorher wird dicke Fotolackstruktur erzeugt (ev. Mehrschichtfotolack). Danach wird die Schicht aufgebracht. Für den nachfolgenden **Lift-off-Prozess** sind besondere Flankenneigungen wichtig. Mit Aceton oder anderem Lösungsmittel wird der Lack und somit die auf ihm befindliche Schicht entfernt.

1.6 Neue Lithographieverfahren

Mit der konventionellen Lithographie erreicht man minimale Strukturgrößen(minimum feature sizes) von $1\mu\text{m}$. Für Submikrometer – Lithographie gibt es folgende Verfahren:

- **DEEP-UV(DUV):** kleine λ durch Laser oder Speziallampen
- **Elektronenstrahl-Litho:** autom. Gesteuerter Elektronenstrahl
- **Röntgenstrahl-Litho:** Masken bestehen aus Wolfram oder Gold, das auf einer dünnen Trägerschicht aus Si aufgebracht ist.
- **Ionenstrahl-Litho:** in Entwicklung

1.6.1 Verbesserte Lithographie

Kommt man bei der konventionellen optischen Lithographie auf Strukturmaße $<2\mu\text{m}$, so erreicht den Bereich der verwendeten Wellenlänge und somit spielen Beugungsphänomene zunehmend eine große Rolle. Ein weiteres **Problem ist das Alignment:** Im Fabrikationsprozess kann sich Wafer etwas verziehen wodurch keine exaktes Alignment für die gesamte Maske möglich ist. (nur mehr in kleinen Bereichen: $1\text{cm}^2 \rightarrow$ Step and Repeat-Verfahren anwenden)

Verbesserungsmöglichkeiten:

- kürzere Wellenlängen (DUV) mit Hg-Xe oder Cd-Xe-Lampen
- Belichtung mit Laser (Excimer Laser 249nm, 193nm)
- Step- and Repeat-Verfahren
- Neue Fotolacke (für DUV)
- Genauere optische Systeme.

1.6.2 Elektronenoptische Lithographie

Das direkt schreibende Elektronenstrahlverfahren hat gegenüber dem Projektionsverfahren folgende **Vorteile**:

- Es werden keine Masken benötigt
- Hohe Flexibilität (nur Software-Daten müssen geändert werden)
→ Zeitersparnis in der Entwicklungsphase

Der Elektronenstrahl wird mit einer **W-Kathode** erzeugt und durch verschiedene **Linsensysteme (el. Spulen)** gebündelt. Mit Hilfe einer schnellen Elektronik wird er entsprechend über den Wafer abgelenkt (in **Vakuumkammer**) und bei Bedarf ausgeblendet. Daraus ergibt sich der **Nachteil**, dass für gleiche Strukturen nicht parallel gemacht werden → langsam.

Der Strahl kann auf zwei Arten gezielt abgelenkt werden:

- **Rasterscan**: Strahl wird mäanderförmig über gesamten Wafer bewegt und nur eingeblendet, wenn Strukturbereich betreten wird. Nachteil: es geht viel Zeit in den unbelichteten Gebieten verloren.
- **Vektorscan**: Strahl wird so gesteuert, dass er nur zu den zu belichtenden Stellen gelangt. Dort wird der Strahl wieder rasterförmig abgelenkt.

Der Elektronenstrahl kann auch eine andere Form als die des Punktes haben (z.B.: Rechteck). Diese Geometrie kann unter Umständen auch veränderlich sein. Man erreicht damit eine Verkürzung der Gesamtbelichtungszeit. Positionsabhängige Verzerrungen der Strahlform können elektronisch korrigiert werden.

2 Herstellung von Schichten

2.1 Übersicht der Verfahren

- **PVD-Verfahren:** Aufdampfen, Sputtern, Ionenplattieren
- **CVD-Verfahren:** thermisches CVD, plasma-aktiviertes CVD, laser-induziertes CVD
- **Plasmapolymerisation**
- **Sonst. chem. Verfahren:** therm. Oxidation, anodische Oxidation, galvanische Abscheidung(Elektrolyse), Sprühverfahren, Schleuderverfahren

2.2 Aufdampfverfahren

Die zu verdampfende Substanz wird im **Hochvakuum** (10^{-5} bar) in einem **Tiegel stark erhitzt**. (durch Glimmelektrode im Reaktionsraum) Die verdampften Atome und Moleküle fliegen dann geradlinig nach oben und schlagen sich am **beheizten Substrat** nieder. Durch eine **Blende** wird der Dampf solange vom Substrat ferngehalten, bis die Dampfquelle in ihrem Gleichgewichtszustand ist. Sobald die Schichtdicke erreicht ist, wird die Blende wieder vorgeschoben. Die Substratheizung (einige 100°C) ist erforderlich, um bestimmte Schichteigenschaften (Härte, Struktur) zu erreichen. Material des Verdampfers: W, Mo, Ta
Formen des Verdampfers: Schiffchen, Zylinderwendel, Konuswendel, Verdampferblock,...

2.2.1 Flashverdampfung

Feine Körner des zu verdampfenden Materials werden auf **heiße Oberfläche des Verdampfers** gebracht und verdampfen sofort. Bei einer kontinuierlichen Verdampfung würde sich der Anteil (einer Legierung) mit höherem Dampfdruck früher verflüchtigen.
→ **Vorteil:** alle Anteile einer Legierung verdampfen gleichzeitig, sodass diese Legierung auch am zu bedampfenden Substrat erhalten bleibt.
Anwendung: Herstellung von CERMET-Schichten (Gemisch aus Metallen und Nichtmetallen)

2.2.2 Verdampfen mit Elektronenstrahl

Das zu verdampfende Material wird mit Elektronen aus einer Glühkathode beschossen und dadurch **lokal sehr stark erhitzt**.

Dies hat den Vorteil, dass das Verdampfungsgut nicht mit dem wassergekühlten Tiegel chemisch reagiert (nur lokal im Gut hohe Temp.) und **quasi jedes Material verdampfbar** ist (auch Quarz oder Ta wegen der hohen Temp.)

Die Elektronen werden auf einer kurzen Strecke stark beschleunigt (-2kV) und durch einen **Wehnelt-Zylinder** fokussiert. In einem Magnetfeld werden sie um 270° umgelenkt und treffen auf das Verdampfungsgut. Die **Umlenkung** hat die Aufgabe, die Elektronenquelle weit vom verdampfenden Material fernzuhalten, um die Lebensdauer der Quelle zu erhöhen.

Erklärung: Elektronen erzeugen bei der Durchquerung des Dampfstrahls auf Ionen, die wegen ihrer größeren Masse nicht dem umgelenkten Elektronenstrahl folgen können. Sie prallen deshalb nicht auf die Glühkathode (das erhöht die Lebensdauer; kein Sputtereffekt)

2.2.3 Reaktives Aufdampfen

Das verdampften Atome und Moleküle fliegen geradlinig auf das Substrat zu. Im Rezipienten reagieren sie mit dem **eingebrachten Reaktionsgas** (z.B.: O_2 für Oxide, N_2 für Nitride, C_2H_2 für Carbide). Es entsteht eine entsprechende Verbindung auf der Substratoberfläche. Die Reaktion kann **durch eine Gasentladung** (Plasma) auch noch **besonders aktiviert** werden. Dieses Plasma kann z.B.: als eine magnetisch fokussierte horizontale Plasmasäule realisiert sein. Der Verdampfer kann widerstandsbeheizt sein oder als Elektronenstrahlverdampfer ausgeführt sein.

2.2.4 Allgemeines zum Aufdampfen

Das **Haftvermögen** einer aufgedampften Schicht wird durch ein verunreinigtes Substrat stark herabgesetzt → **Ausheizen** im Vakuum bei $300^\circ C$ vor dem Aufdampf-Prozess.

Bei der physikalischen Adsorption wirken Van der Waal'sche Kräfte als Anziehungskräfte zwischen den Molekülen. Chemische Bindungskräfte treten zwischen der ersten Schicht und dem Substrat auf, wenn die Atome des Aufdampfgutes mit der Substratoberfläche eine chemische Verbindung eingehen. Wenn die Atome beim Auftreten mit dem Substrat kristallisieren, so treten die atomaren Bindungskräfte auf.

Für schlecht haftende Materialien verwendet man eine Cr oder NiCr – **Zwischenschicht als Haftvermittler**.

Es gibt unterschiedliche **Formen von Aufdampfanlagen**:

- Anlagen mit vertikalem Rezipienten
- Anlagen mit horizontalem Rezipienten
- Bandbedampfungsanlage
- Durchlaufanlage mit Druckstufen für kontinuierlichen Betrieb (besteht aus mehreren Kammern)

Problem der Stufenabdeckung beim Aufdampfen einer Schicht:

Wenn die Atome normal zum Substrat auftreffen, so werden senkrechte Stufen nicht beschichtet. Durch einen **rotierenden Substrathalter** erhält man eine Verbesserung dieses Problems, da der Auftreffwinkel der Atome kontinuierlich in einem kleinen Bereich variiert wird.

Bedampfung mit **Substratheizung** bringt eine weitere Verbesserung der Stufenabdeckung (bei senkrechten Stufen aber immer noch nicht absolut gleichmäßige Schichtdicke)

Messung der Schichtdicke: Zur Messung der aufgedampften Schichtdicke gibt es prinzipiell drei Verfahren:

- **Schwingquarz-Methode**: Beruht auf der Änderung der Resonanzfrequenz eines Schwingquarzes der mit einer bestimmten Masse bedampft wurde. (Frequenzkonstante: 1.67mm MHz). Diese Methode kann auch während des Verdampfungsvorgangs eingesetzt werden.
- **Abtastung einer Schichtstufe(Profilometer)**: Nach der **Bedampfung** kann mit einer Diamantspitze beim Überstreichen einer **Stufe** diese Höhendifferenz mit einem empfindlichen induktiven Sensor in ein elektrisches Signal umgewandelt werden.
- **Optische Methoden**: Beruhen auf Reflexions- bzw. Transmissionsmessungen oder auf der Ausnützung von Interferenzeffekten.

2.3 Aufstäuben von Schichten(Sputtern)

Bei der **Diodenanlage** befinden sich Anode und Kathode im Abstand von einigen cm. Die Kathode hat eine Spannung von z.B.: -2kV(im einfachsten Fall eine Gleichspannung), die Anode liegt auf Masse. Im Vakuum wird Argon eingelassen. Die hohe Gleichspannung verursacht eine Gasentladung und führt zu einem **Argon-Plasma**(ionisiertes Argon: Ar^+ -Ionen)

Bei **Triodenanlagen** wird die Gasentladung durch thermische, aus einer **dritten Elektrode** emittierten Elektronen unterstützt.

Die Ionen werden im el. Feld beschleunigt und prallen mit großer Wucht auf das Target (Kathode). Es werden ungeladene Atome des

Targets herausgeschlagen und lagern sich am gegenüberliegenden Substrat an. Es bildet sich eine **gut haftende, homogene Schicht**. Wenn das Target-Material leitfähig ist, so werden die positiven Argon-Ionen beim Auftreffen entladen. **Bei dielektrischen Targets** würde dies zu einem **Abbau des Feldes** zwischen Kathode und Anode führen, wodurch der Sputtervorgang negativ beeinflusst wird.

Die **Zerstäubungsausbeute Y** steht für den Quotienten aus der Anzahl der freigemachten Festkörperatome und der Anzahl der Initialteilchen.

Y ist abhängig vom Targetmaterial(Masse), den Plasmaionen(Masse), der Energie(max. bei ca. $5 \cdot 10^4 \text{eV}$) dieser Ionen und vom Einfallswinkel(max. bei ca. 70°).

Beim Auftreffen der positiv geladenen Ar-Ionen am Target entstehen durch Stoßprozesse abgesputterte Atome des Targets und reflektierte neutrale Ar-Atome.

Ein Problem ergibt sich durch den Einbau einer geringen Anzahl von Ar^+ -Ionen und Verunreinigungen in den entstehenden Film. Dadurch werden die elektrischen Eigenschaften in unkontrollierter Weise verändert. Es ist deshalb eine saubere Reaktionskammer erforderlich. Kammer mit oberliegendem Substrat und unten angeordnetem Target bietet den Vorteil, dass sich keine Staubpartikel am Substrat anlagern können.

Die **Schichtwachstumsgeschwindigkeit** wird in $\text{\AA}/\text{min}$ angegeben. Es ergeben sich Werte zwischen 100 und $2200 \text{\AA}/\text{min}$ (10 bis $220 \text{nm}/\text{min}$)

Vorteil des Sputterns gegenüber des Aufdampfens:

- verbesserte Haftfähigkeit (Atome treffen mit hoher Energie auf)
- bei Legierungen → Schicht hat selbe Zusammensetzung wie Target
- gleichmäßige Schichtdicke
- Schichtwachstum gut kontrollierbar durch Targetspannung

Nachteil:

- Arbeitsgas(Ar) muss hohe Reinheit haben.

2.3.1 Diverse Sputterverfahren

Trioden-Sputtern: Target(-1kV) mit Blende wird als dritte Elektrode in ein fremderregtes Plasma eingeführt. Die Entladung wird mit Hilfe einer Glühkathode(0V) bei einem niedrigen Argon-Druck ($0.05 \dots 0.1 \text{Pa}$) aufrechterhalten. Radiale Plasmaverluste werden durch ein axiales Magnetfeld reduziert. Die Anode liegt auf 50V und der Substratträger auf Erdpotential(0V). (Anode und Kathode werden nicht mehr durch Target und Substrat gebildet)

Vorteil: hohe Sputterraten, kleine Unterdrücke

Nachteil: Glühkathode empfindlich gegen reaktive Gase

$U_s < 0$ → auch Substrat mit Ar^+ -Ionen bombardiert

Bias-Sputtering: vermeidet den letzten Nachteil der Triodenanlage durch positives Vorspannen des Substrates gegenüber die Anode → Verunreinigungen durch Einbau von Ar-Ionen in die Schicht werden vermieden und Absputtern der bereits aufgebauten Schicht wird minimiert. Sputtergeschwindigkeit wird für negativer werdendes U_s ab. Negatives Vorspannen hat aber auch eine gewisse Reinigungswirkung des Substrats durch Ar-Beschuss → positives Vorspannen eher selten angewendet? (im Reinraum: +130V).

Reaktives Sputtern: Durch Einbringen von reaktiven Gasen anstelle des inerten Argons können Oxide, Nitride usw. aufgesputtert werden. Beispiel: Al-Target mit Sauerstoff als Arbeitsgas ergibt Al_2O_3 -Schicht.

Sputterätzen: Durch ändern der Spannungsverhältnisse (Target auf Erdpotential und Substrat stark negativ) → Ar-Atome bombardieren das Substrat und Sputtern Verunreinigungen ab. Anwendung: zur Reinigung vor dem richtigen Sputtervorgang.

Sputtern mit Magnetron-Target: Hinter dem Target werden Dauermagnete derart angebracht, dass die magnetischen Feldlinien nahezu senkrecht zu den elektrischen Feldlinien stehen. Die Elektronen fliegen daher spiralförmig und ionisieren das Arbeitsgas in Targetnähe stärker. Es ergeben sich dadurch höhere Sputterraten. Weiterer Vorteil: kleinerer Elektronenstrom zum Substrat → wird weniger erwärmt → besserer Schutz für Fotolackschicht.

HF-Sputtern: Während der negativen Halbwelle treffen Ionen auf das Target (Funktion wie DC-Sputtern). Während der positiven Halbwelle wird das Target durch Elektronen neutralisiert → Anwendung auch für Dielektrika als Target (Kupferplatte als Rückelektrode hinter dem Target auf HF-Spg. von +2kVss). Arbeitsfrequenz: 13.57MHz. Substrat auf Erdpotential. Da die Beweglichkeit der Elektronen größer als die der Ionen ist, werden mehr Elektronen in der positiven Halbwelle am Target landen als Ionen während der Negativen. → Target lädt sich negativ (ähnliche Verhältnisse wie beim DC-Sputtern) auf bis Gleichgewicht zwischen Elektronen- und Ionenstrom hergestellt ist (self-biasing).

Durch ein Anpassungsnetzwerk vor den Elektodenanschlüssen zur Erzeugung des Plasmas wird eine optimale Energieübertragung ins Plasma erreicht (Innenwiderstand der HF-Spannungsquelle = der Impedanz des Plasmas)

HF-Sputtern wird überwiegend zur Herstellung von dielektrischen Schichten verwendet (SiO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3) ist aber auch zum Aufputtern von Metallen geeignet. Die HF-Entladung hat aber generell den Vorteil

einer stärkeren Ionisierung des Argons. Es ist unbedingt eine HF-Spannung mit mehr als 1MHz-Frequenz erforderlich, da ab dieser Frequenz nicht alle Elektronen direkt von der Anode(Substrat) zur Kathode(Target) fliegen, sondern im Plasma oszillieren und dadurch viele Ar-Atome ionisieren. Daher kann beim HF-Sputtern mit einem tieferen Argon-Druck gearbeitet werden (nur 10^{-2} mbar).

Die Kathodenkonstruktion ist relativ aufwändig, da die Rückelektrode wassergekühlt ist und eine geerdete Abschirmung erforderlich ist. Das dielektrische Target ist auf die Rückelektrode gebondet.

Es gibt auch die Möglichkeit der zusätzlichen Vorspannung des Substrates mit HF- oder DC-Spannung(negativ gegenüber dem Plasma).

Für industriellen Einsatz werden auch Dreikammer-HF-Sputteranlagen verwendet. Die eine automatische Beschicken und Abtransportieren des Wafers ermöglichen.

Da die Fläche des Targets viel kleiner als jene der Substratelektrode ist, wird der Substrathalter viel weniger abgesputtert als das Target (Spannungen vom Rand des Plasmas zur jeweiligen Elektrode ist umgekehrt proportional zur Elektrodenfläche: $U_1/U_2=(A_2/A_1)^2$)

2.4 Ionenplattieren (Ionplating)

Im Vakuum befinden sich eine Anode(Verdampfungsquelle: Schiffchen oder Elektronenstrahl-Verdampfer) und eine negativ vorgespannte Kathode(Substrathalter).

Der Dampf wird zwischen Anode und Kathode ionisiert und die positiven Ionen werden zur Kathode gezogen und bilden dort eine Schicht.

Vorteile: hohe Haftfähigkeit durch hohe Auftreffenergie der Ionen, sehr dichte Schichten, hohe Aufwachs geschwindigkeit

Auch reaktives Ionplating ist möglich (Herstellung von Nitriden, Carbiden, Boriden usw.)

Beim Ionenplattieren mit HF-Spannung befindet sich eine HF-Spule zwischen Anode und Kathode → stärkere Ionisierung → größere Aufwachsrate.

2.5 Chemische Verfahren zur Schichtherstellung

2.5.1 CVD-Verfahren

Bei höheren Temperaturen zersetzt sich ein über das Substrat geleitetes Gas und bildet dort eine Schicht (Pyrolyse). Bei Aufwachsen unter Atmosphärendruck bezeichnet man dieses Verfahren als HPCVD.

Schwierigkeit: Schaffung von gleichmäßigen Reaktionsbedingungen bei relativ hohen Temperaturen (bis zu 1000°C)

z.B.: $\text{SiH}_4(\text{Silan}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2$

2.5.2 LPCVD-Verfahren

Es wird bei niedrigem Druck (60Pa) ein Gas eingelassen. Bei diesem Verfahren sind niedrigere Temperaturen möglich(z.B.: 630°C). Es kann auch eine Dotierung der Schichten durch Beigabe von Diboran oder Phosphin zum Silan erfolgen.

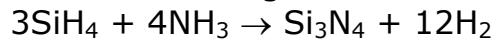
Vorteil gegenüber HPCVD: gleichmäßigere Beschichtung, viel mehr Wafer gleichzeitig im Ofen, kleinere Temperatur.

Anwendung: Herstellung von Polysilizium-Schichten
z.B.: SiH_4 (Silan) \rightarrow Si + 2H_2

2.5.3 PACVD-Verfahren

Beim Plasma-Assisted-CVD wird das Reaktionsgas durch eine HF-Spannung ionisiert. Dadurch laufen die chemischen Reaktionen schon bei niedrigeren Temperaturen ab. (z.B.: 300°C). Drücke: 30Pa

z.B.: Herstellung von Siliziumnitridschichten:



Substrat liegt auf einer beheizten Platte die gleichzeitig eine Elektrode bildet. Das Gas strömt von unten in den Reaktionsraum ein.

2.5.4 RACVD-Verfahren

Beim Radiation-Assisted-CVD erfolgt die Plasmaanregung nicht durch HF(MHz), sondern durch Mikrowellenfrequenz(GHz). Durch diese intensive Anregung kann die Substrattemperatur bis auf unter 100°C gesenkt werden.

3 Ätzen von Schichten

3.1 Nasschemisches Ätzen

Die verwendeten flüssigen Ätzmittel sind stark mit Wasser verdünnt, um die Ätzzeit hinaufzusetzen (wegen Unsicherheiten in der Dauer durch Herausnehmen und Eintauchen des Wafers in die Ätzlösung) und um den Fotolack weniger zu schädigen.

Beim Nassätzen handelt es sich um ein isotropes Ätzverfahren (Ätzwirkung in allen Richtungen gleich) → Unterätzung bei Masken
Ausnahme: Bei Einkristallen (z.B.: Si) ist die Ätzgeschwindigkeit abhängig von der Richtung und der Dotierung.

SiO₂ kann z.B.: mit gepufferter Flusssäure (HF + NH₄F) geätzt werden wobei der Fotolack und das Si nicht angegriffen werden.

Für jedes Schichtmaterial stehen bestimmte Ätzmittel zur Verfügung (Reaktionsprodukt muss flüssig sein). Selektivität, Ätzgeschw., Ätztemperatur und Kantenschärfe sind wichtige Kenngrößen.

3.2 Trockene Ätzverfahren

Bestehen aus einer physikalischen (Sputtern, anisotrop) und chemischen Ätzkomponente (isotrop). Bei großer physikalischer Ätzkomponente erhält man steile Flanken (stark anisotrope Ätzung)

3.2.1 Plasmaätzen

Ein über das Substrat strömendes Ätzgas wird bei 0.1 bis 1 mbar mit Hilfe eines HF-Feldes ionisiert, wodurch die Ätzwirkung erhöht wird.

Beim Siliziumätzen bildet das CF₄ durch Elektronenstoßprozesse teilweise freie Fluor-Radikale, die mit Si reagieren: $\text{Si} + 4\text{F} \rightarrow \text{SiF}_4$

Häufig verwendetes Ätzgas auch für SiO₂: CF₄

z.B.: Ätzen von SiO₂: $\text{CF}_4 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiF}_4 + \text{CO}_2$

Ausführungsform der Ätzanlage: planarer Dioden-Reaktor

Weitere Anwendung: mit O₂ als Ätzgas → Strippen von schwer entfernbarem Fotolack (Negativlack)

3.2.2 Sputterätzen

Mit einem inerten Gas (z.B.: Ar) ergeben sich nur kleine Ätzgeschwindigkeiten und eine schlechte Selektivität. Für die Strukturierung verwendet man deshalb reaktive Gase (CF₆, CHF₃, SF₆). Funktionsweise wie Substratreinigung mit Argon vor Sputtern.

3.2.3 Reaktives Sputterätzen

Wird auch noch reaktives Ionenätzen genannt (RIE). Der Druck in der Reaktionskammer ist kleiner als beim Plasmaätzen (0.1 bis 0.001mbar).

Man verwendet wieder einen planaren Diodenreaktor wobei das Substrat direkt auf der HF-Elektrode liegt. Der Ionenbeschuss führt zu einer bestimmten Ätzrichtung, das er das Ätzen unterstützt (anisotropes Ätzen). Es kommt daher praktisch zu keiner Unterätzung. Mit O_2 als Ätzgas kann auch Fotolack anisotrop geätzt werden. Man bezeichnet diese Anwendung als trockene Entwicklung von Fotolack, wobei man steile Flanken der Lackstrukturen erhält.

3.2.4 Ionenätzverfahren

Magnetisch unterstütztes Ionenätzen (Magnetron Ion Etching / MIE): Dieser „sanfte“ Ätzprozess erzeugt ein dichtes Plasma bei niedriger Ionenenergie durch den sogen. Magnetron-Effekt (siehe auch 2.3.1)

ECR-Mikrowellen Ionenätzen (Electron Cyclotron Resonance): In einem gasgefüllten Rezipienten ($10^{-3} \dots 10^{-5}$ mbar) wird mit Hilfe von Mikrowellen (2.54GHz) in einer Kammer ein Plasma erzeugt. Zusätzlich wirkt ein axiales Magnetfeld (87.5mT) auf das Plasma, sodass ein dichter Ionen- oder Plasmastrom aus der Kammer in Richtung des Substrates emittiert wird. Da die Ionenenergie im Bereich von einigen 10eV liegt, handelt es sich hierbei auch um einen „sanften“ Ätzprozess.

Ionenstrahlätzen (Ion milling oder Ion Beam Etching / IBE): In einer Vakuumkammer befindet sich das Substrat schwenkbar gelagert. Als Arbeitsgas verwendet man Argon (wird in Kammer von Ionenquelle eingelassen). Die von der Ionenstrahlquelle (W - Filament) emittierten Ar-Ionen werden durch einen Neutralisierglühfaden geschossen um Aufladungseffekte zu vermeiden und treffen mit Energien < 1.5 keV auf das Substrat. Die Selektivität und die Ätzrate sind eher schlecht. Ein weiterer Nachteil ist die Ablagerung von abgesputterten Materialteilchen auf den Flanken der Ätzmaske (Redeposition). Die Ätzrate lässt sich aber durch Variation der Ionenenergie genau einstellen. Die Ätzrichtung ist auch exakt definiert (durch Schwenkwinkel des Substrates).

Reaktives Ionenstrahl-Ätzen: (RIBE): Bei Verwendung von reaktiven Ionen (z.B.: CF_4 zum Ätzen von SiO_2) ergeben sich wesentlich größere Ätzraten bei gleicher Ionenenergie als bei IBE, da zum Sputtereffekt noch der starke chemische Ätzeffekt hinzukommt. Bei diesem Verfahren tritt kein „repositions - Effekt“ auf. Zum Ätzen von Fotolack verwendet man einen Sauerstoff-Ionenstrahl.

Chemisch unterstütztes Ionenstrahlätzen (CAIBE): Dabei wird das Ätzgas seitlich in die gesamte Reaktionskammer eingelassen und über ein Gitter werden Ionen aus einem Plasma extrahiert, die dann senkrecht auf das Substrat treffen.

3.2.5 Ätzen mit Laser

Bestimmte organische Polymerschichten (z.B.: Fotolack PMMA) können durch Laserbestrahlung (Excimer Laser 193/249nm) in Monomere übergeführt werden. Die Zersetzungsprodukte sind gasförmig (Ablation).

Es können auch Metallschichten (z.B.: W, Cr, Mo) mit einem Laser geätzt werden (fotochemisches Ätzen). Dabei enthält die Reaktionskammer Cl_2 oder NF_3 bei einem Druck von 200mbar. Das Auftreffen des Laserstrahls verursacht flüchtige Halogenverbindungen und damit die gewünschte Ätzwirkung.

4 Schichten für integrierte Schaltungen

4.1 Planarisierungsprobleme

Da bei der Herstellung eines Chips viele Lithographie-Schritte (z.B.: 20) benötigt werden, wird die Oberfläche des Chips entsprechend uneben. Diese Höhenunterschiede führen zu Fokussierungsproblemen beim Belichten von nachfolgenden Strukturen. Eine Lösung dieses Problems ist der Dreischicht - Fotolackprozess: Über das unebene Substrat wird eine dicke Fotolackschicht aufgebracht, die dann durch das Aufspinnen eine annähernd ebene Oberfläche hat. Darauf kommt eine dünne Schicht SiO_2 die wiederum die neue Fotolackstruktur trägt (der dünne Lack ist nun auch eben und kann problemlos belichtet und entwickelt werden). Nach Strukturierung dieser dünnen Fotolackschicht wird das SiO_2 isotrop geätzt. Diese SiO_2 -Schicht dient nun als Maske in einem nachfolgenden anisotropen Ätzprozess (ätzt die dicke Lackschicht teilweise weg).

4.2 Metallisierungsprobleme

Bei der CMOS - Technologie sind die Source-, Drain- und Gatebereiche zu kontaktieren, sowie viele Verbindungsleitungen in unterschiedlichen Ebenen zu legen (Multilevel - Metallization).

Schichtwiderstand: wird für ein quadratisches Element der Dicke d angegeben. (festgelegt für das Einheitsquadrat \rightarrow nur mehr von ρ und d abhängig): $R_F = \rho/d$

Umrechnung auf Leitungswiderstand: $R = R_F * l/b$

C ist prop. Zu $l * b \rightarrow R * C$ ist prop. $R_F * l^2$

Verbindungsleitungen und Kontakte: Um kleine Zeitkonstanten aus der RC - Kombination der Zuleitungen und Kontakte zu erhalten, muss ein niedriger Schichtwiderstand angestrebt werden. Die Länge l der Leitungen wird immer größer, da die Chipfläche immer zunimmt. Die Dicke d ist aus technologischen Gründen kaum veränderbar. Somit muss ein möglichst niedriger spezifischer Widerstand erzielt werden.

Schichtwiderstände verschiedener Materialien:

- Polysilizium: $R_F = 10...60 \Omega \square$
- Silizide (MoSi_2 , WSi_2 , TaSi_2 , ...): $R_F = 1...2 \Omega \square$
- W, Mo: $R_F = 0.2...0.4 \Omega \square$
- Aluminium: $R_F = 0.025 \Omega \square$

Aluminium wäre diesbezüglich optimal es gibt aber einige technologische Probleme die den Einsatz erschweren:

- Elektromigration: Materialwanderung unter Einfluss des elektrischen Stromes (kann zu Unterbrechungen führen)
- Ausbildung von Spikes an Grenzfläche zu Silizium (kann pn-Übergänge kurzschließen; entstehen beim Kontaktannealing)
- Hillocks: Aus der Oberfläche herausragende Spitzen die zu Kurzschlüssen bei Mehrlagenverdrahtung führen können.

Lösungsmöglichkeiten dieser Probleme:

- Durch Zusatz von 2-5% Cu zum Al kann die Elektromigration reduziert werden und es wird auch die Entstehung von Hillocks unterdrückt.
- Durch Zusatz von 1% Si zum Aluminium wird der Spikes-Effekt stark abgeschwächt.
- Einfügen einer Diffusionsbarrierschicht (Ti/W). Durch zusätzliche PtSi - Schicht im Kontaktbereich kann der Übergangswiderstand zum Si reduziert werden.

Als Leiterbahnschichten können Silizide (z.B.: siehe oben) oder hochschmelzende Metalle (W) verwendet werden.

Gate-Elektrode: Es wird hochdotiertes Polysilizium verwendet, da dieses Material sich leicht herstellen lässt (LPCVD), die Formgebung einfach ist (Trockenätzung) und die Kompatibilität zu allen anderen Prozessen der Si-Technologie gegeben ist. Nachteilig ist aber der hohe Widerstand (große RC-Konstante, \rightarrow z.B.: langsamer Speicher), weshalb man auch Doppelschichten aus Metallsiliziden (WSi_2) und Polysilizium herstellt (Polyzidschicht). Eine andere Möglichkeit wäre die Verwendung von hochschmelzenden Metallen als Gatematerial (W).

5 Mikromechanik

5.1 Herstellung von Si-Membranen

Membranen können durch anisotropes oder isotropes Ätzen in Si hergestellt werden (Micromachining).

Beim nasschemischen Ätzen gibt es bei einigen Ätzmitteln eine starke Abhängigkeit von der Kristallorientierung und der Dotierung (anisotropes Ätzen). Manche Mittel ätzen in (111)-Richtung oder in hoch Bor - dotierten Bereichen kaum, während die Ätzgeschwindigkeit in (100)-Richtung um ein vielfaches größer ist. Es können daher in einen (100) - Wafer steile Flanken nasschemisch geätzt werden.

Ausgangsmaterial für die Herstellung von Si-Membranen ist der Si - Wafer. In einem fechten Oxidationsprozess wird die gesamte Oberfläche mit einer Oxidschicht belegt. Danach wird ein kreisförmiges Fenster (Abdeckung für die nachfolgende Dotierung) an der Unterseite des Wafers durch einen Litho - Schritt entwickelt (Erhöhung und keine Vertiefung). Danach wird der gesamte Wafer Bordotiert ($10^{20}/\text{cm}^{-2}$) sodass nur der Bereich mit der Lackschicht freibleibt. Nach dem Strippen dieser Schicht wird nasschemisch in dieser (110) - Richtung das Si geätzt. Der Vorgang stoppt automatisch am hochdotierten Gebiet (Oberflächenbereich des Wafers) und liefert auch steile Flanken (Membrandicke: $2\mu\text{m}$)

5.2 Weitere Anwendungen

Minituarisierter Durchflussmesser: Ein Heizelement (Widerstand) und zwei temperaturabhängige Widerstände (Sensoren) befinden sich in kleinem Abstand voneinander auf einer Si-Membrane angeordnet. Dadurch fließt nur wenig Wärme direkt über die Membrane (kleiner Querschnitt) und die Konvektion dominiert über der Wärmeleitung. Als Träger dieser Membrane dient ein Si-Substrat, dass um den Bereich der Sensoren eine große Vertiefung in Form eines Grabens hat.

Die Flüssigkeitsströmung streicht über diese drei Elemente und transportiert die Wärme des Heizelementes je nach Strömungsrichtung zu einem der Sensoren. Über die Temperaturunterschiede lassen siech die Strömungsgeschwindigkeit und Richtung bestimmen.

Infrarotsensor zur berührungslosen Temperaturmessung: Auf einem Si-Träger befindet sich eine Si-Membrane, die in einem Rechteckförmigen Fenster die Struktur eines Balkens trägt. Auf diesem Balken befinden sich eine schwarze Absorberfläche und in Reihe geschaltete Thermoelemente. Die Absorberfläche wird durch Infrarotstrahlung der Wärmequelle erhitzt. Diese Temperaturdifferenz der Fläche zum restlichen Substrat wird mit den Dünnschicht - Thermoelementen in eine Spannung umgewandelt.

Beschleunigungssensor: Auf eine „drehbar gelagerte“ (Torsionsbalken), freigeätzte Platte wirkt zufolge ihrer Masse bei Beschleunigung eine Kraft. Die beiden Anschluss pads sind mit dieser Anordnung so verbunden, dass ein Pad direkt auf die Platte geht und das andere Pad eine Verbindung mit einer unter dieser Platte liegenden Elektrode hat. Diese Anordnung entspricht einem Plattenkondensator, dessen Kapazitätsänderung bei Beschleunigung ausgewertet wird (Platte nähert oder entfernt sich von der Gegenelektrode). Als Träger für die Platte dient eine kastenförmige Siliziumstruktur. Der gesamte Sensor befindet sich direkt mit der Gegenelektrode auf einer Glasschicht. Er kann die Beschleunigung nur in einer Koordinatenrichtung messen (z.B.: z - Richtung).

Drucksensor aus Silizium: Die Sensormembrane mit gesamter Brückenschaltung und elektronischer Signalverstärkung sind im Si-Wafer integriert (siehe Skizze im Skriptum).

Mikropumpe aus Silizium: Besteht aus zwei Glas- und einer Siliziumschicht. Die beiden Ventile werden in dieser Si-Schicht realisiert. Die Pumpe ist eine piezoförmige Scheibe. Genauer Aufbau: siehe Skriptum

5.3 Galvanisch hergestellte mikromech. Strukturen

Mit der Röntgenstrahl - Lithographie können Lackstrukturen erzeugt werden, die ein Aspektverhältnis von 1:100 haben (z.B.: Wände mit Höhe 100 und Breite 1). Die Räume zwischen den Fotolackwänden werden mittels speziellen galvanischen Methoden mit Metall aufgefüllt. Nach dem Strippen des Lacks verbleiben dünne und hohe Metallbarrieren.

Anwendung: Beugungsgitter, Sensoren (z.B.: Beschleunigungssensor), Spindüsen, Bildverstärkerplatten usw.

6 SOI - Technologie

6.1 Allgemeines

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Si-Schichten auf isolierenden Unterlagen herzustellen:

- SOS-Technologie (Silizium on Saphir(Einkristall))
- Implantation von Sauerstoff (SiO_2 -Schicht) → nach dem Ausheilen gibt es drei Schichten ($2 \cdot \text{Si} + 1 \cdot \text{SiO}_2$)
- 2 Si-Schichten (stellenweise verbunden) mit dazwischenliegender SiO_2 -Schicht: Auf das Si-Substrat wird mit einem CVD-Prozess die Oxidschicht aufgebracht (hat Löcher zum Substrat). Danach wird mittels LPCVD eine Schicht Polysilizium aufgebracht, die durch einen Laser in den monokristallinen Zustand übergeführt wird(Löcher zum Substrat sind die Keimstellen)
- **rekristall. Poly-Si auf Glas oder Si-Wafer mit SiO_2 -Schicht:** nach dem LPCVD-Prozess besteht das Poly-Si aus sehr kleinen Körnern (hoher Widerstand). Nach der Temperaturbehandlung ergeben sich sehr Große Körner (ca. $1\mu\text{m}$)

6.2 Anwendungen

Folgende Anwendungen beziehen sich auf den letzten Punkt aus 6.1:

Transistoren: Mit Hilfe dieser Technik ist es möglich, laterale Transistoren zu bauen. Die Dotierung der auf dem Glas befindlichen Si-Schicht erfolgt mittels Ionenimplantation. Eine aufgebrachte Oxidschicht dient als Gate-Dielektrikum.

Flüssigkristall-Bildschirme: Pixel werden durch Polykristalline Dünnschichttransistoren (Thin Film Transistor, TFT). Die Ansteuerung der Pixel erfolgt matrixförmig mit z.B.: p-TFT. Die Signalelektrode(Spalte) ist am Drain angeschlossen und das Gate ist mit der Scanning-Elektrode(Zeile) verbunden. Die Pixelelektrode ist am Source angeschlossen und erstreckt sich rechteckförmig über das als Substrat der ganzen Anordnung dienende Quarzglas.

Eine Variante, um die Poly-Si-Transistoren zu rekristallisieren ist das sog. Mikrozonenschmelzen . Dabei wird das Substrat in ein Quarzglas geschoben, welches von einem N_2 -Strom durchsetzt wird. Die Temperaturverteilung ist aber nicht gleichmäßig, sondern an einem schmalen Streifen wird der Wafer stärker erhitzt. Durch langsames

Herausziehen des Wafers wandert der „Temperaturwulst“ über den ganzen Bereich und rekristallisiert alles (große Körner).

Poly-Si-Widerstände: Durch Implantation von Bor in durch LPCVD erzeugte Polysilizium-Schichten erhält man entweder stark temperaturabhängige Widerstände für die Sensorik (Dosis ca. $5 \cdot 10^{14} \text{cm}^{-2}$) oder temperatur**UN**abhängige Widerstände (Dosis ca. $4 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-2}$).

Drucksensor: Hat bei Ausführung in SOI-Technologie den Vorteil, dass Temperaturen über 130°C zulässig sind. (siehe Skriptum)

7 Reinraumtechnik

7.1 Allgemeines

An die Reinräume zur Fertigung mikroelektronischer Bauelemente werden große Anforderungen gestellt:

- Luftfilterung mit Hochleistungs-Schwebstofffilter (HOSCH)
- Laminare Luftströmung im Reinraum mit 0.25 bis 0.5m/s.
- Klimatisierung (Temperatur, Feuchte, Ionengehalt)
- Spezielle Einrichtung und Bekleidung (Vermeidung der Partikelemission)
- Zugang nur durch eine Schleuse

Die Reinheitsklasse eines Raumes wird durch die Restpartikel in einem festgelegten Prüfvolumen(1m³ laut VDI-Richtlinie und 28l laut US-Federal-Standard) angegeben.

Beispiel:

Reinraumklasse 1000(US-Standard) bedeutet, dass in einem Volumen von 28l 1000 Staubpartikel mit einer Größe von mindestens 5µm(Bezugskorngröße) vorhanden sind.

Reinraumklasse 4(VDI-Richtlinie) bedeutet, dass in einem Volumen von 1m³ 10000 Staubpartikel mit einer Größe von mindestens 10µm(Bezugskorngröße) vorhanden sind.

Siehe auch Summenhäufigkeitskurven im Skriptum.