

Halbleitertechnologie von A bis Z

Nasschemie

Scheibenreinigung	3
Der Reinraum	3
Arten der Verunreinigung	4
Mikroskopische Verunreinigungen	4
Molekulare Verunreinigungen	5
Alkalische und metallische Verunreinigungen	5
Reinigungstechniken	6

Scheibenreinigung

Der Reinraum

Die Halbleiterfertigung findet in Reinräumen statt um die hochkomplexen Schaltungen der Halbleiterbauteile vor Verunreinigungen zu schützen, die die Funktionsfähigkeit der Bauteile beeinflussen können. Die Reinräume werden nach der Größe der Partikel und deren Anzahl pro Kubikfuß (= cbf; 1 Fuß = 30,48 cm) bzw. nach DIN/ISO pro 1 m³ klassifiziert:

Zulässige Anzahl an Partikeln pro 1m³

Klasse ↓	≥ 0,1 µm	≥ 0,2 µm	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1,0 µm	≥ 5,0 µm
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1.000	237	102	35	8	
ISO 4	10.000	2.370	1.020	352	83	
ISO 5	100.000	23.700	10.200	3.520	832	29
ISO 6	1.000.000	237.000	102.000	35.200	8.320	293
ISO 7	10.000.000	2.370.000	1.020.000	352.000	83.200	2.930

So dürfen sich in einem Klasse-3-Reinraum maximal 1.000 Partikel mit einem Durchmesser ≥0,1 µm befinden, 237 Partikel ≥0,2 µm, 102 Partikel ≥0,3 µm, 35 Partikel ≥0,5 µm und 8 Partikel ≥1 µm. In einem Operationssaal beträgt die Reinraumklasse 2 oder 3, in einem Volumen von 1 m³ Stadtluft sind 400 Millionen Partikel der Größe 5 µm enthalten.

Die Luft in Reinräumen für die Mikroelektronik wird über Feinstfilter gereinigt und dann durch die Decke eingeleitet. Durch Löcher im Boden wird die Luft abgesaugt, so dass dieser Laminarstrom Partikel von oben nach unten durch den Boden abtransportiert. Damit keine Verunreinigungen von außen in den Reinraum eindringen können herrscht dort in der Regel ein leichter Überdruck. Um die Wafer bestmöglich gegen Partikel zu schützen, werden diese in Transportboxen von einer Produktionsanlage zur nächsten transportiert. In modernen Reinräumen handelt es sich dabei um so genannte FOUPs (Front Opening Unified Pod), welche direkt an die Ladestationen der Maschinen andocken und so geöffnet werden, dass die Wafer vom FOUP in die Anlage gelangen, ohne der Reinraumluft ausgesetzt zu werden.

Da die Wafer in den FOUPs vollständig von der Umgebungsluft im Reinraum abgeschottet sind, kann in den Transportboxen eine andere Reinraumklasse herrschen, als im Reinraum selbst. So ist es möglich, die großen Fertigungsbereiche mit einer relativ hohen Reinraumklasse von ISO 5 zu betreiben, während in den FOUPs eine Reinraumklasse von ISO 1 oder ISO 2

herrscht. Dadurch können enorme Kosten gespart werden, da nur ein kleines Volumen der höchsten Reinheitsklasse genügen muss.

Darstellung eines Klasse 1 Reinraums



(Anklicken für Großansicht, 700 KB · Quelle: unbekannt)

Die Fertigung im Reinraum ist in der Abbildung nur der Bereich zwischen rosafarbener Lüftungsanlage unter dem Dach und dem gelben Bodenbereich. Darunter befindet sich das Basement mit den Versorgungsanlagen (Pumpen, Chemietanks etc.). Manche Reinnräume sind von einem so genannten Grauraum umgeben in dem sich die Anlagen befinden, so dass über eine Wand getrennt nur die Bedienfelder und die Schleusen zum Einbringen der Wafer in die Anlagen vom Reinraum aus zugänglich sind.

Das Personal trägt spezielle Reinraumanzüge, die keine Partikel absondern. Dabei bedeckt der Anzug je nach Bedarf den kompletten Körper. Der Kopf wird entweder mit einem simplen Haarnetz oder einer Haube und einem Mundschutz oder mit einer kompletten Maske bedeckt. Zusätzlich gibt es besonders partikelarme Schuhe, Unterbekleidung und Handschuhe. Im Eingangsbereich des Reinraums befinden sich oft Luftduschen, die vor Betreten noch einmal Partikel vom Anzug abblasen.

Arten der Verunreinigung

Trotz des Reinraums gibt es verschiedene Arten von Verunreinigungen, die hauptsächlich vom Personal in der Fertigungslinie, der Umgebungsluft, von Chemikalien (Gasen, Lösungen) und den Anlagen verursacht werden:

- mikroskopische Verunreinigungen: z.B. Partikel aus der Umgebungsluft oder Gasen
- molekulare Verunreinigungen: z.B. Kohlenwasserstoff aus Öl in den Pumpsystemen
- ionische Verunreinigung: z.B. Handschweiß
- atomare Verunreinigung: z.B. Schwermetalle aus Lösungen, Abrieb von Festkörpern

Mikroskopische Verunreinigungen

Mikroskopische Verunreinigungen sind Partikel, die sich an der Waferoberfläche anlagern. Quellen dieser Verunreinigungen sind die Umgebungsluft, Kleidung des Personals, Abriebe an beweglichen Teilen in Prozessanlagen, unzureichend gefilterte Flüssigkeiten, wie Ätz- und Reinigungslösungen oder [Entwickler](#), oder

Ätزرückstände nach Prozessen beim Trockenätzen.

Mikroskopische Verunreinigungen verursachen Abschattungseffekte, wenn sie an der Scheibenoberfläche die Belichtung des Fotolacks verhindern; bei der [Kontaktbelichtung](#) kommt es zu schlechten Auflösungen, wenn sich relativ große Partikel zwischen Maske und Scheibe befinden. Des Weiteren können sie bei Implantationsprozessen oder beim Trockenätzen beschleunigte Ionen von der Scheibenoberfläche fernhalten.



Partikel können auch von Schichten eingeschlossen werden, so dass Unebenheiten entstehen. Nachfolgende Schichten können an diesen Stellen aufplatzen oder es sammelt sich Fotolack an, in Folge dessen es durch die zu dicke Lackschicht zu nicht vollständig belichteten Bereichen kommt.



Molekulare Verunreinigungen

Molekulare Verunreinigungen resultieren aus Lack- und Lösemittelresten auf den Scheiben oder durch Ölnebelablagerungen aus Vakuumpumpen. Diese Verunreinigungen können sich sowohl auf der Scheibenoberfläche befinden, als auch in die Schichten eindiffundieren. Die oberflächlich anhaftenden Verunreinigungen behindern teilweise die Haftung nachfolgender Schichten, im Falle von Metallisierungen (dünne Leiterbahnen) erheblich. Durch die Diffusion in Oxide wird die elektrische Belastbarkeit dieser Schichten verschlechtert.

Alkalische und metallische Verunreinigungen

Die Hauptquelle dieser Verunreinigungen ist der Mensch, der ständig über die Haut, aber auch über die Atemluft Salze aussondert. Aber auch durch unzureichend deionisiertes Wasser gelangen (Alkali-)Ionen von Natrium oder Kalium auf die Scheiben. Schwermetalle die in Ätzlösungen vorhanden sind können zur Kontamination führen. Durch Strahlen in Anlagen (Implanter, Trockenätzen) kann Material von Wänden abgesputtert werden, das sich dann auf den Scheiben niederschlägt.

Ionische Verunreinigungen beeinflussen beispielsweise die elektrischen Eigenschaften von MOS-Transistoren, da ihre Ladung die Schwellspannung – also die Spannung ab der der Transistor leitend wird – verändert. Schwermetalle wie Eisen oder Kupfer liefern freie Elektronen, so dass die Leistungsaufnahme in Dioden steigt. Metalle können aber auch

Rekombinationszentren für freie Ladungsträger bilden, so dass in der Schaltung nicht mehr genügend freie Ladungsträger zur einwandfreien Funktion zur Verfügung stehen.

Reinigungstechniken

Die Scheiben werden nach jedem nasschemischen Prozessschritt in Reinstwasser gespült, aber auch nach anderen Prozessen werden die Scheiben von Verunreinigungen befreit. Dabei gibt es verschiedene Reinigungstechniken, die die unterschiedlichen Verschmutzungen beseitigen. Der Verbrauch an Reinstwasser in einer Halbleiterfertigung ist dabei extrem hoch und beträgt mehrere Millionen Liter im Jahr. Dabei befinden sich im Reinstwasser fast keine Verunreinigungen mehr, 1-2 ppm (parts per million = Anzahl an Verunreinigungen pro Millionen Wasserteilchen) sind erlaubt (Beispiel, Stand 2002). Das Wasser wird meist direkt vor Ort in Aufbereitungsanlagen gereinigt.

Eine Möglichkeit der Scheibenreinigung ist das Ultraschallbad, bei dem die Wafer in eine Lösung aus Wasser und Ultraschallreinigungs- und Netzmitteln gegeben werden. Durch die Ultraschallanregung lösen sich Partikel von der Oberfläche, Metalle und molekulare Verunreinigungen werden vom Reinigungsmittel teilweise gebunden. Nicht stark anhaftende Partikel können auch mit Stickstoff abgeblasen werden.

Zum Entfernen organischer Verunreinigungen wie Fett, Öl oder Hautschuppen eignen sich Lösungsmittel wie Aceton oder Ethanol. Diese können jedoch Kohlenstoffrückstände hinterlassen.

Ionische Verunreinigungen (Ionen von Kalium, Natrium etc.) werden durch Spülen mit deionisiertem Wasser entfernt. Auch die Reinigung mit rotierenden Bürsten und einer Reinigungsflüssigkeit ist möglich. Jedoch werden bei strukturierten Scheiben die Partikel an den Kanten angelagert, die Bürsten können die Scheibenoberfläche beschädigen. Kontaktlöcher oder andere Vertiefungen können mit einer Hochdruckreinigung bei ca. 50 bar ausgespült werden. Hierbei werden jedoch keine ionischen oder metallischen Verunreinigungen entfernt.

Die Reinigung mit Wasser und verschiedenen Reinigungsmitteln reicht jedoch oft nicht aus. Oftmals werden die Verunreinigungen mit aggressiven Ätzlösungen entfernt, oder Oberflächen gezielt minimal abgetragen. Gemische aus Wasserstoffperoxid und Schwefelsäure oder Ammoniak oder die Carosche Säure/Piranha-Lösung (Schwefelsäure mit Wasserstoffperoxid) lösen organische Verunreinigungen bei ca. 90 °C durch Oxidation ab.

Ein Gemisch aus Salzsäure und Wasserstoffperoxid bildet Alkalimetalle zu leicht löslichen Chloriden (Salzen) aus, Schwermetalle bilden Komplexe und gehen in

Lösung. Mit Flusssäure kann natürliches Oxid entfernt werden, mit einer gezielt aufgetragenen Schicht Oxid mit Wasserstoffperoxid lässt sich die Oberfläche dagegen auch schützen.

Neben der Spülung der Scheiben nach jedem nasschemischen Prozessschritt, durchlaufen die Wafer bei einer vollständigen Reinigung eine Reihe von Reinigungsschritten nacheinander. Dabei ist die Reihenfolge der Reinigungsverfahren wichtig, da sich diese teilweise gegenseitig in der Reinigungswirkung behindern. Eine Reinigungssequenz kann beispielsweise wie folgt ablaufen:

- Abblasen von Partikeln mit Stickstoff
- Reinigung im Ultraschallbad
- Entfernen von organischen Verunreinigungen mit Caroscher Säure ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$)
- Entfernen feinerer organischer Verunreinigungen mit einer $\text{NH}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ -Lösung
- Entfernen von metallischen Verunreinigungen mit Salzsäure und Wasserstoffperoxid
- Trocknen der Scheiben in der Trockenschleuder unter heißer Stickstoffatmosphäre

Nach jedem Reinigungsschritt werden die Scheiben in Reinstwasser gespült, gegebenenfalls natürliches Oxid mit Flusssäure entfernt. Je nach aktueller Scheibenoberfläche sehen die Reinigungssequenzen unterschiedlich aus, da die Lösungen manche Schichten angreifen. Bei den immer kleiner werdenden Strukturen wird auch die Reinigung mehr und mehr erschwert. Nicht nur, dass sich kleine Öffnungen nicht so leicht erreichen lassen. Die Oberflächenspannung und Kapillarkräfte können Strukturen umkippen lassen und so die Schaltung zerstören.