

Hier eine Ausarbeitung von Karl Dominizi.

1. Wie unterscheidet sich ein Reinraum von einem normalen Lagerraum?

- Reiner Standort
- Reine Raumluft
 - Wirbelschleuse
 - Filter
 - Entfeuchten
 - Temperieren
 - Homogene Luftverteilung à turbulenzarm!!
 - Luft aus dem Reinraum wird zu 80% wiederaufbereitet und wieder verwendet
 - Konstante Temperatur
- Reine Chemikalien
 - In HL-Technik auch keine nichtreaktiven Verunreinigungen
- Reine Gase
- Schwingungsreine Gebäude
 - Der Fotolack verschmiert sonst
- Reine Elektrotechnik
 - Keine Elektrostatik, Elektromagnetik, Spannungskonstanz
- Geräte abriebsfrei
- Reines Equipment
- Reine Operatoren
 - Schuppen
 - Staubpegel steigt linear mit Personenzahl
- Reinraum in Modulbauweise

2. LUFTREINHEITSKLASSEN

- Klasse 100
 - Nicht mehr als 100 Teilchen ($< 0,5 \mu\text{m}$) pro Kubikfluss, d.h. $< 3,5$ Teilchen pro Liter.
- Klasse 10.000
 - Nicht mehr als 10.000 Teilchen ($< 0,5 \mu\text{m}$) pro Kubikfluss, d.h. < 350 Teilchen pro Liter.
- Messmethoden:
 - Teilchen $\geq 0,5\mu\text{m}$ mittels Lichtstreuverfahren
 - Teilchen $\geq 5\mu\text{m}$ mittels mikroskopische Auszählung von Membranprobe
- Durchflussmessung mittels Rotamesser
 - Konisches Rohr à verschmutzt nicht !!

Falls Ihr weitere Fragen gesammelt habt, schickt sie mir bitte an studenten@entner.net. Danke!

3. Wasserstoffreiniger

- Paladium-Diffusionsgerät
 - Nur der Filter ist aus Paladium, der Rest nicht! Der Rest ist aus Nickel, wobei die Verbindungsfläche zwischen Rohr und Paladium aus Nickel+Silber besteht.
 - Paladium nimmt bei 400-500°C sein 100-faches von Wasserstoff auf! Auf der anderen Seite des Filters kommt reiner Wasserstoff heraus.
 - Wasserdurchgang mittels Hopping von Atom zu Atom → Dichtheitsprüfung mit Heliumgas (Kleinere Moleküle als Wasserstoffmoleküle)
 - Verdreckung der Übergangsstellen durch Ausschwemmen, sog Ausbluten

4. Wasserreinigung für Industrie

- Ionenaustauscher
 - Vorreinigen mit osmotischen Filtern:
 - OSMOSE: Schweineblaseversuch
Schweinsblase (semipermeable Wand) gefüllt mit Salzwasser, reines Wasser geht durch die Wand um die konzentrierte Lösung zu verdünnen (Herstellung gleicher Druckverhältnisse → Osmotischer Druck) → Schweinsblase reißt.
 - UMKEHROSMOSE: Von Außen größerer Druck, als der osmotische Druck → Reinwasser aus dem konzentrierten Teil durch die semipermeable Wand und hinterlässt Ionen und sonstige Verunreinigungen (Konzentrat).
Membrane muss immer abgewaschen werden (Kalkablagerungen).
 - Vorteile gegenüber der Destillation:
 - § Günstig
 - § Keine Umweltbelastung
 - § Geringer Energieverbrauch
- Das Wasser fließt durch:
 - a. Mechanischen Filter (Aktivkohle)
 - b. Organischer Filter
 - c. Behälter mit kleinen Kugeln mit Protonen und OH-Gruppen
 - d. Mechanischer Filter um Kugelreste (Kunststoff) zu entfernen (220 nm Filtergröße)

Falls Ihr weitere Fragen gesammelt habt, schickt sie mir bitte an studenten@entner.net. Danke!

5. Unterschied Kristalle und Einkristalle

- Einkristall: Ist der kleinste Teil eines polykristallinen Materials. Perfekter Kristall und dient als Vorlage für die Einkristallherstellung.
- Die Bindeebenen zwischen den Einkristallen im Polykristall nennt man Korngrenzen

6. Siliziumherstellung

- → Aufbereitung und Reinigung des Rohmaterials → Quarz → Reduktion, Destillation →
- Polykristallines Si → Kristallziehen →
- Einkristallines Si → Schleifen, Sägen, Polieren →
- Wafer
- Herstellung von polykristallinem Si:
Aus flüssigem Trichlorsilan und unter Zugabe von Wasserstoff wird in einem CVD (Chemical Vapour Deposition) – Prozess polykristallines Silizium auf einem U-förmigen Dünnstab (Seele aus Reinst-Si) abgeschieden.

7. Wie macht man einkristallines Si (TIEGELFREIES ZONENZIEHEN)

- Besteht aus einem Rohr und zwei Zugstangen (1. Polykristallines Ausgangsmaterial; 2. drehbar mit Keim), einem HF-Ring, Schutzgas
- Der Keim gibt die Kristallstruktur vor
- Zwischen dem HF-Ring befindet sich die Schmelzzone
- Für das Anbinden an den Keim muss thermisch auf $\sim 600^\circ\text{C}$ aufgeheizt werden. ($E=h \cdot T$)

8. Zonenreinigung

- Wird für die Reinigung des Ausgangsmaterials verwendet.
- Verteilungskoeffizient $k = \frac{c_s}{c_l}$
 - c_s ... solid
 - c_l ... liquid

§ $k > 1$: Fremdstoff beim langsamen Erstarren im festen Material

§ $k < 1$: Fremdstoff beim langsamen Erstarren im flüssigen Material

 - $k \approx 1$: Keine Trennung z.B. Bor

Falls Ihr weitere Fragen gesammelt habt, schickt sie mir bitte an studenten@entner.net. Danke!

9. Wie macht man einkristallines Si (TIEGELZIEHVERFAHREN)

- Tiegel mit flüssiger Schmelze (GaAs; Temp. leicht über dem Schmelzpunkt, da sonst flüssig und fest) und Einkapselungsschmelze (Bor).
- Der Tiegel besteht aus Graphit. Daher benötigt man kein Vorwärmen und die Elektronen können leicht am Kristallkeim ankoppeln.
- Tiegelwand mit Quarz ausgekleidet, damit keine Kohlenstoffe in die Schmelze kommt.
- Wärmebilanz:
 - Verluste: Konvektion → Schutzgas
Wärmeleitung → Stab und Getriebe
Wärmestrahlung vernachlässigbar
 - Zufuhr: Bewusst zugeführte Energie zum Schmelzen des Materials.
Unbewusste Zufuhr:
 - Festkörper hat einen höheren Ordnungsgrad als die Schmelze!
Schwach geordnete Schmelze → geordnetes Material
Hohe Energie → niedrige Energie
→ Differenzenergie $E=k*T$ trägt zur Erwärmung bei.

10. WAFERSCHNEIDEN

- Diamantschneiden : Innenlochsäge mit Diamantbesatz (Viel Verschnitt)
- Drahtschneider: Schleifmittel wird vom Draht immer mitgenommen. (Drähte sind teuer und reißen leicht → müssen dann geschweißt werden und die Schweißstellen müssen dann entfernt werden.
- Ätzsäge: Für feine Strukturen! Der Nylonfaden wird durch eine Ätzflüssigkeit gezogen
- Elektrolytische Säge
- Ultraschallstanze: HF-Generator. Auch für gekrümmte Formen möglich. Verbindung mittels Keksansteckers, der sich mit Ultraschallbewegungen hineinfrisst.

11. Wo beginnt der Lithographieprozess?

- Startet beim Aufbringen vom Photolack:
 - Scheibe auf 900°C aufheizen → keine Wasserreste mehr
 - Tropfen des flüssigen und gefilterten Lacks auf die Mitte der Si-Scheibe
 - Aufschleudern → Dicke vom Aufgebrachten Lack abhängig von:
 - a. Viskosität und Oberflächenspg. des Lacks
 - b. Anzugsgeschwindigkeit des Drehtellers
 - c. Umdrehungsgeschwindigkeit
 - d. Dauer der Rotation

Falls Ihr weitere Fragen gesammelt habt, schickt sie mir bitte an studenten@entner.net. Danke!

12. Justieren und Belichten

- Mittels Maske
 - a. Direkte Auflage am Wafer 1:1
 - b. Nicht direkte Auflage ; Abstand 100 bis 200 1:1
 - c. Verkleinerungsmethode 5:1 oder 3:1
 - a. Die Maske wird über ein Spiegelsystem mit einer Linse auf den Wafer projiziert.

13. Was passiert wenn die Scheibe belichtet ist?

- Photolack: Empfindlichkeit im hohen Infrarotbereich
 - a. Positiver: durch Belichtung werden die chemischen Bindungen aufgelöst.
 - b. Negativer: durch Belichtung werden chemische Verbindungen hergestellt (sog. Crosslinking)
- Entfernen des nichtbelichteten Lacks mittels Drehtellers. Der Rest wird auf 100°C aufgewärmt wegen späterer Oxidätzung.
- Oxidätzung: Zur selektiven Ätzung der Oxidschicht wird eine Mischung aus Flusssäure und Ammoniumfluorid.
- Entfernung des restlichen Fotolacks: Kontakt-Lösungsmittel, Ultraschallreinigung, Kochen in Schwefelsäure,.....
- Zwischen den Arbeitsschritten: Spülen mit ultrareinem Wasser und trocknen

14. Diffusion

- Bei Zimmertemperatur keine Diffusion!
- Diffusion ist ein Hochtemperaturprozess → Photolack verkockelt!
- Vor dem Aufbringen und belichten des Photolacks wird im Oxidationsofen eine entsprechend dicke Oxidschicht aufgebracht!
 - Oxidationsofen: Zuerst wird erhitzt und man führt Wasserdampf über das Silizium , wobei sich bei 900°C der Wasserdampf in reinen einatomigen Sauerstoff O aufspaltet → SiO₂

15. Ionenimplantation

- Mittels Massenspektrometer-Anordnung werden ausgesonderte Ionen eines Dotierungsmaterials in einem elektrischen Feld beschleunigt und in die Halbleiterscheibe geschossen.
 - Eindringtiefe abhängig von der Beschleunigungsspannung
- Ausheilen:
 1. Das durch die Ionenimplantation beschädigte Kristallgitter wird durch Festkörperdiffusion oberhalb von 500°C reorganisiert.
 2. Mittels einer energiereichen, oberflächennah absorbierten Strahlung (Laser).
VT: mittels Rasterung auch grossflächig möglich!!

Falls Ihr weitere Fragen gesammelt habt, schickt sie mir bitte an studenten@entner.net. Danke!

16. Wie bringt man Kontakte auf den Chip

- Mittels Lithographie und Aufdampfen im Vakuum
- Aufdampfen:
 - a. Substrat wird aufgewärmt (verbessert die Qualität der Metallschicht)
 - b. Das Aufzudampfende Material befindet sich in einem Keramikschieffchen oder Hochschmelzenden Metall (1500 à 2300T), verdampft und setzt sich am kühleren Substrat als polykristalline Schicht ab.
 - c. Um Verunreinigungen an den Wänden des Rezipienten zu lösen und abzupumpen wird dieser auf 400à 500K aufgeheizt.
- Mittlere freie Weglänge (Abstand Atom/Molekülen) soll größer als der Abstand zwischen Quelle und Substrat sein!!

17. Wo ist die Kontrolle der Schichtdicke wichtig?

- Messung mittels Schwingquarz-Methode:
 - a. Beruht auf der Änderung der Resonanzfrequenz $f=N/d_q$ eines Schwingquarzes
- Wichtig bei Laserdioden (Emissionsfrequenz = Band-Gap)
- Bei der Herstellung von Kondensatoren ist es wichtig die Schichtdicke zu kontrollieren!

18. Wie verbindet man mechanisch und elektrisch?

- DIE- Bonden: Befestigung des Bauteils oder IC's auf der Unterlage oder Gehäuse.
- Thermokompressions-Bonden mit Vorgeheiztem oder ungeheiztem Substrat:
 - Nagelkopf-Bonden:
 1. Kugel anschmelzen
 - Keil-Bonden
 - Band-Bonden
- Ultraschall-Bonden:
 - Hauptsächlich Keil-Bonden von Al-Drähten ohne Wärmezufuhr

Falls Ihr weitere Fragen gesammelt habt, schickt sie mir bitte an studenten@entner.net. Danke!