

2.5 Aufgabenpool/ Lösungen

(1) Skizzieren Sie ein Ablaufdiagramm vom Sand zum Wafer!

siehe nächste Seite

Waferherstellung - Vom Sand zum Wafer

Herstellung von techn. Silizium:

- Prozess im Lichtbogenofen bei 1460°C in Anwesenheit von Fe
- Fe als Katalysator
- $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$
- 2-4% Fremdstoffe

chem. Reinigung des techn. Si:

Trichlorsilan-Prozess

- wird bei 280-380°C in Chlorwasserstoffverbindung SiHCl_3 überführt:
(1) $\text{Si} + 3\text{HCl} \rightarrow \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2$ [300°C]
(2) $\text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{Si} + 3\text{HCl}$ [1100°C]
(3) $4\text{SiHCl}_3 \rightarrow \text{Si} + 3\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2$
- unterhalb von 31,8°C flüssig
- fraktionierte Destillation zur weiteren Reinigung
- durch Umkehrung des Prozess lässt sich Si aus dem gereinigten SiHCl_3 zurückgewinnen

Zonenreinigung:

- mit einer HF Spule wird Material lokal erhitzt
- Verunreinigungen werden ans Ende des Polysil.-Stabs geführt
- durch Wiederholung Gesamtkonzentration der Verunreinigungen $5 \cdot 10^{10}/\text{cm}^3$

Herstellung von Einkristallen:

- Kristallziehverfahren nach Czochralski
- Tiegelfreies Zonenziehen

Grinding / Flät bzw. Notch

Sägen:

- Ingot auf Träger geklebt bei Innenlochsäge, entlang Kristallorientierung
- Drahtsäge, Schnittbreite ca 100µm, ganzer Wafer auf einmal gesägt

Kristallziehen nach Czochralski:

- Prozess bei 1425°C
- Drehbarer Impfling (für Kristallorientierung) in Schmelze
- Schmelze und Impfling drehen gegenläufig
- Ø durch Ziehgeschwindigkeit bestimmt, 3-20 cm/h

Tiegelfreies Zonenziehen:

- Aufbau vergleichbar mit Zonenreinigung
- Unter Schutzgasatmo.; Poly-Si lokal geschmolzen
- durch Keim Kristallorientierung festgelegt
- extrem reines Si

Läppen:

- Gemisch aus Glycerin und Al_2O_3 bzw. Siliziumcarbit; ca. 50µm Abtrag
- Körnung Stufenweise verringert
- Oberflächenebenheit von ca. 3µm

Scheibenrand abrunden:

- dazu wird der Wafferrand entlang einer schnell rotierenden Diamantfräse geführt

Damageätzung:

- Entfernt Gitterschäden und Kontaminationen
- Gemische aus Salpeter- und Flusssäure ätzen ohne Bevorzugung einer bestimmten Kristallorientierung
- Ätzprofil elliptisch
- Laugen greifen Wafer anisotrop an; Restrauheit 10µm

Reinigung:

- Säure oder Laugengemisch + H_2O_2
- mechanisch unterstützt durch Bürsten oder Ultraschall

chem./mech. Polieren:

- Gemisch aus NaOH, H_2O , SiO_2 als Poliermittel, Körnung ca. 10nm
- Scheiben kleben an Poliertellern und werden gegen Poliertuch gedrückt

Optische Kontrolle:

- Kristallographische Kennwerte
- Geometrische Eigenschaften

Scheibenspezifikation:

- elektrische Eigenschaften mit Vierspitzenmessplatz messen

- (2) Der Durchmesser der Wafer wird ständig vergrößert, damit mehr Fläche für die Chips zur Verfügung steht.

Um wie viel Prozent nimmt die Fläche des Wafers zu, wenn der Durchmesser von 200 mm auf 300 mm erhöht wird?

Lösung

Formel:

$$\text{Kreisfläche } A = \pi \cdot r^2 = d^2 \cdot \pi / 4$$

Berechnung:

$$A_{200\text{mm}} = d^2 \cdot \pi / 4 = (200\text{mm})^2 \cdot \pi / 4 = 40.000\text{mm}^2 \cdot \pi / 4 = 31415,92 \text{ mm}^2$$

$$A_{300\text{mm}} = d^2 \cdot \pi / 4 = (300\text{mm})^2 \cdot \pi / 4 = 90.000\text{mm}^2 \cdot \pi / 4 = 70685,83 \text{ mm}^2$$

Weitere Berechnung mit dem Dreisatz:

$$\begin{array}{ll} A_{200\text{mm}} & 31415,92 \text{ mm}^2 = 100\% \\ A_{300\text{mm}} & 70685,83 \text{ mm}^2 = X \end{array}$$

$$X = 225 \text{ \%}; \text{ Die Fläche wächst um } 125\%.$$

$$[A_{200} = 31415,93 \text{ mm}^2, A_{300} = 70685,83 \text{ mm}^2; \\ \text{Zuwachs} = 39269,9 \text{ mm}^2 = 125\%]$$

Welchen Vorteil bringt die Scheibenvergrößerung für den Hersteller? Bitte begründen Sie kurz Ihre Aussage.

Lösung

- Höhere Ausbeute (mehr Chips pro Wafer)
- Geringere Produktionskosten
- Höherer Gewinn

- (3) Erläutern Sie die Unterschiede zwischen Silizium und den Verbindungshalbleitern?

	Vorteile	Nachteile
Silizium	- günstig - hohe Verfügbarkeit - hochwertiger, elektrisch extrem belastbarer Isolator - Bandlücke 1,02 eV - hohe Temp. = geringe Leckströme - hoher Schmelzpunkt 1413 °C - hohe Temperaturbeständigkeit - einfache Herstellung - hohe Zuverlässigkeit	- Bestimmte Herstellung von Bauelementen nicht möglich: z.B.: LED's - nicht für Hochfrequenzbauelemente geeignet
III/V	- höhere Schaltgeschwindigkeit - höhere Ladungsträgerbeweglichkeit - Umwandlung von Strom in Licht	- Kristallqualität - fehlende Bruchfestigkeit - kein wirkliches arteigenes Oxid - komplizierte Herstellung

(4) Erklären Sie den Begriff amorph, polykristallin und einkristallin!

Festkörper sind **amorph**, wenn die Atome regellos angeordnet sind (z.B. Glas, Kunststoff).

Polykristalline Festkörper bestehen aus vielen kleinen ungeordneten Einkristallen (z.B. Metalle).

Einkristalline Festkörper besitzen eine regelmäßige Anordnung der Atome (z.B. Diamant, Salzkorn, Wafer).

(5) Nennen Sie die Vorteile des hochreinen Einkristalls für die Halbleitertechnik (mind. 3)!

LÖSUNG

- Dotierungen, also gewünschte Verunreinigungen, können zuverlässig reproduziert werden.
- geringe Kristallfehler; Einfluss unbekannter Fremdatome gering
- hohe Verfügbarkeit
- hochwertiger, elektrisch extrem belastbarer Isolator
- Bandlücke 1,02 eV
- hohe Temp. = geringe Leckströme
- hoher Schmelzpunkt 1413 °C
- hohe Temperaturbeständigkeit
- einfache Herstellung
- hohe Zuverlässigkeit

(6) Insbesondere bei thermischer Beanspruchung „schleichen“ sich Fehler in das Kristallgitter ein.

Erklären Sie die 3 genannten Gitterfehler und veranschaulichen Sie Ihre Ausführungen durch eine Skizze.

- Schottky-Defekte
- Stufenversetzungen
- Punktdefekte

Schottky-Defekte

Bei der Schottky-Fehlordnung (Abbildung 2.40) lagert sich aus dem Kristall das fehlende Atom an der Oberfläche des Kristalles ab. Somit fehlt im Inneren des Kristalls ein Atom und an der Oberfläche ist ein Atom zu viel.

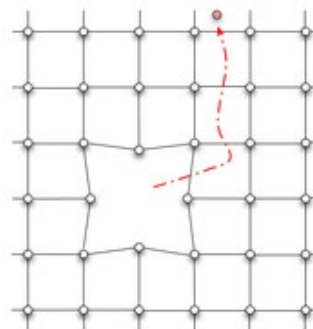


Abbildung 2.A: Schottky Fehlordnung¹

¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Schottky-Defekt>

Stufenversetzung

Bei der Stufenversetzung endet eine Gitterebene innerhalb des Kristalls. Dabei rücken die Nachbaratome unterhalb dieser Änderung näher zusammen. Durch diese entstehende Stufe treten Spannungen in der Gittergeometrie auf, die zu Problemen bei der Fertigung führen können. Zudem reichern sich in der Senke (s. roter Pfeil) vermehrt Dotierstoffe an und bewirken so lokale Änderungen in der Leitfähigkeit. Hier ist die Ausbildung parasitärer Strompfade möglich.

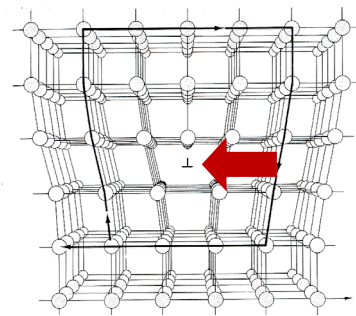


Abbildung 2.1: Stufenversetzung²

Punktdefekte:

Zu den Punktdefekten gehören alle Fehler, die im atomaren Bereich liegen. Hier werden einzelne Si-Atome durch Fremdatome ersetzt oder mögliche Fremdatome besetzen Zwischengitterplätze. Auch der Schottky- und der Frenkel-Defekt gehören zu den Punktdefekten.

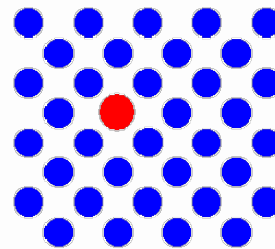


Abbildung 2.2: substitutionelles Fremdatom³

- (7) Der Si-Einkristall kann mit Hilfe des Czochralski-Verfahrens hergestellt werden. Die Skizze zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Czochralski-Anlage. Beschriften Sie die wesentlichen Anlagenteile! (siehe Zahlen von 1 bis 9 in der Abbildung rechts)
Beschreiben Sie das Prinzip des CZ-Verfahrens.

4

Das Reinstsilizium wird in einem Quarztiegel bei 1440 °C geschmolzen.

Ein Impfkristall wird in die Schmelze (1425 °C) eingetaucht und unter ständigem Drehen langsam herausgezogen. Ziehgeschwindigkeit 3cm/h bis 20cm/h

Aus der Schmelze werden einkristalline Si-Stäbe bis 300 mm Durchmesser und 100 kg gezogen.

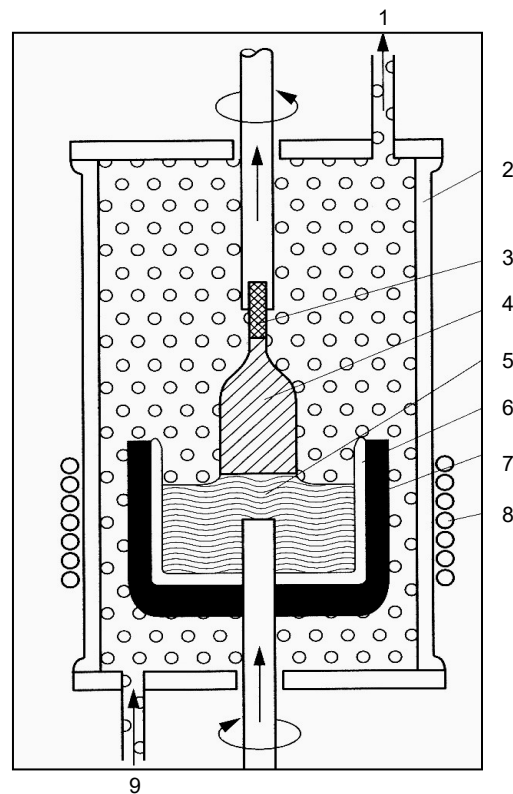
Durch die Zugabe der Gase Phosphin (PH_3) oder Diboran (B_2H_6) ist eine Grunddotierung möglich. Sie liegt bei 10^{15} Atome / cm^3 (1 Dotieratom auf 10.000.000 Siliziumatome).

² http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw1_ge/kap_4/illustr/stuf_verstzg_persp.gif

³ http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw1_ge/kap_4/backbone/r4_1_2.html

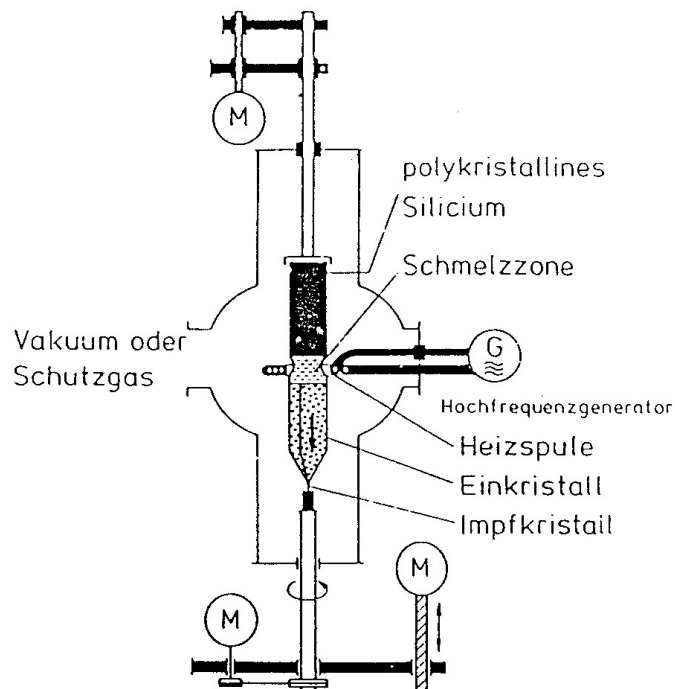
⁴ Mikroelektronik 1, Bernhard Hoppe, Seite 115

1	Schutzgas; Absaugung
2	Quarzrohr
3	Keim
4	Einkristall
5	Si-Schmelze
6	Quarz-Tiegel
7	Grafit-Tiegel
8	HF-Spule
9	Schutzgas; Zufuhr



(8) Erstellen Sie eine Lernkartei zum Float-Zone-Verfahren im DIN A4-Format und beschreiben bzw. erläutern Sie dabei die nachfolgenden Gliederungspunkte:

1) **Aufbau** der Anlage inklusive Beschriftung



2) Allgemeines **Funktionsprinzip** der Anlage

Das Reinstsilizium wird als Stab eingespannt und durch eine Hochfrequenzspule in einem schmalen Bereich geschmolzen.

Ein Impfkristall wird in die Schmelzzone eingetaucht und unter ständigem Drehen wird der Stab durch die Spule gezogen.

Die Schmelzzone übernimmt beim Abkühlen die Struktur des Impflings.

Durch die Zugabe der Gase Phosphin (PH_3) oder Diboran (B_2H_6) ist eine gleichmäßige Dotierung möglich.

3) Welche **Besonderheiten** gibt es?

- Verunreinigungsgrad:

Kohlenstoff: $\sim 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

Sauerstoff: bis unterhalb der Nachweisgrenze

4) **Vor- und Nachteile** des Verfahrens

Vorteile	Nachteile
- sehr homogene Dotierstoffverteilung für Leistungselemente - hohe Durchbruchsspannung - Anwendung: Leistungshalbleiter - keine Verunreinigung durch Tiegel - hochohmige Einkristalle bis zu 200 kΩcm	- teures Verfahren - Einkristalle nur mit kleinen Durchmessern (15 cm) möglich

6) **Einsatzgebiete** des Verfahrens

Leistungselemente

(9) Wofür werden die metallischen Werkstoffe in der Prozesstechnologie verwendet?

Metallische Werkstoffe werden für metallische Legierungen sowie für Metallkontakte (z.B. Aluminiumleiterbahnen) verwendet

(10) Warum wird beim Schuttschmelze–CZ–Verfahren Boroxid (B_2O_3) verwendet?

Um das Abdampfen des flüchtigen Arsens durch eine flüssige Abdeckung mit Boroxid (B_2O_3) zu verhindern.

(11) Erklären Sie die Polykondensation und skizzieren Sie diese!

Polykondensation

Bei der Polykondensation werden Monomere mit zwei funktionellen Gruppen pro Molekül eingesetzt. Dabei eignen sich funktionelle Gruppen aus Amino-Gruppen (-NH_2), Carboxyl-Gruppen (-COOH) und Hydroxyl-Gruppen (-OH).

Die Makromoleküle entstehen durch mehrere Kondensationsreaktionen. Als erstes erfolgt das Verknüpfen zu Dimeren. Dabei spaltet sich pro zwei miteinander reagierenden funktionellen Gruppen ein Wassermolekül ab.

Lineare, thermoplastische Makromoleküle entstehen durch Verwendung von bifunktionalen Monomeren (Einzelbausteine mit zwei Verknüpfungspunkten).

Dreidimensional vernetzte, duroplastische Makromoleküle entstehen durch trifunktionale Monomeren (Einzelbausteine mit drei Verknüpfungspunkten).

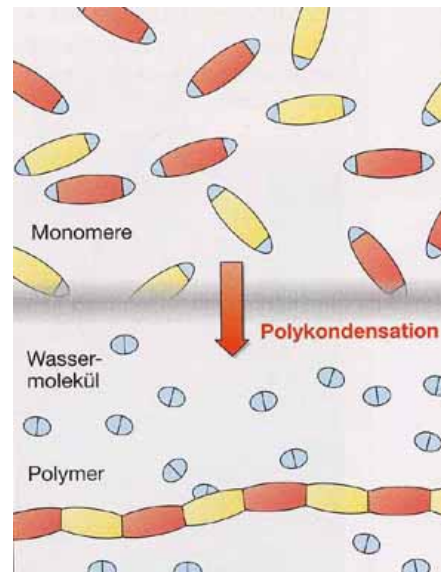


Abbildung 2.3: Polykondensation⁵

Bei der Polykondensation verknüpfen sich zwei Molekülsorten zu Makromolekülen, wobei pro Verknüpfung zweier Monomere ein Wassermolekül abgespalten wird. Die Produkte nennt man Polykondensate.

⁵ <http://www.technikatlas.de/~tb4/reaktion.htm>