

8. Übung- Klausurvorbereitung

1. Technologie

1.1 Was versteht man unter Dotierung und welche Arten von Dotierstoffen werden genutzt?

1.2 Befindet sich ein Kristall mit einer bestimmten Grunddotierung der Konzentration N_B in einem Reaktionsraum mit einem intern Gas bei einer Temperatur zwischen 800 und 1200°C, so wandern(diffundieren) Dotieratome aus Kristall in der Gasraum aufgrund des Konzentrationsunterschiedes (Ausdiffusion). Wird in einem Ausgangskristall mit einer Grunddotierung B ein Dotierstoff A eindiffundiert, so findet gleichzeitig mit der Eindiffusion von A eine Ausdiffusion von B statt. ($D_B = D_A$)

a) Wie sieht der ortsabhängige Konzentrationsverlauf $N(x)$?

b) Wie verschiebt sich die pn-Tiefe mit Berücksichtigung von Ausdiffusionsverfahren?

1.3 Ionenimplantation ist das modernste und dominierende Verfahren zur Dotierung von Halbleiterkristallen in der Technologie der Mikroelektronik.

a) Nennen Sie drei Aufgaben des Ionenimplantationsprozesses!

b) Zeigen Sie die Verteilung der Dotierstoffatome (Konzentration N) in Abhängigkeit von der Eindringtiefe x im Halbleiter durch Ionenimplantation!

c) Welcher Schritt ist notwendig um bei einer Ionenimplantationsanlage den Prozess abzuschließen?

1.4 Eine p-Wanne wird aus einer vorbelegten Bor-Schicht in ein homogen dotiertes n-Substrat eindiffundiert. Es soll zur Herstellung eines CMOS-Inverters verwendet werden.

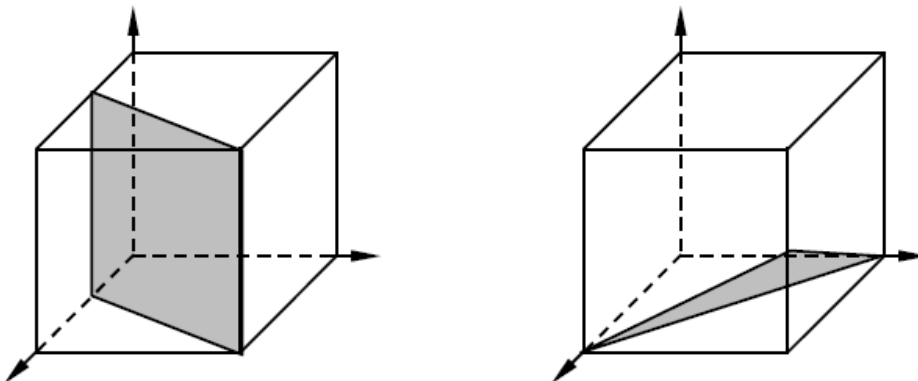
a) Zeichnen Sie den Querschnitt des planaren CMOS-Inverters!

b) Bezeichnen Sie die unterschiedlichen Materialien sowie die Gebiete unterschiedlicher Dotierung!

c) Kennzeichnen Sie n- und p-Kanal!

2. Physikalische Grundlagen

- 2.1 a) Zeichnen Sie das flächenzentrierte kubische Bravais – Gitter (face centered cubic, fcc). und zählen Sie die Anzahl der Gitteratome sowie der Zwischengitterplätze ab!
 b) Was verstehen Sie unter dem Begriff „Elementarzelle“ eines Kristallgitters?
 c) Welche Arten von Kristallfehlern sind Ihnen bekannt? (Einteilung und Fehler)
- 2.2 Ein kontaktloser, feldfreier Siliziumkristall sei homogen dotiert mit $N_A=10^{15}\text{cm}^{-3}$. Mit einer konstanten und homogenen optischen Generationsrate G_{opt} werden Ladungsträger generiert.
- a) Zeichnen Sie für diesen Fall das Bändermodell inklusive der Quasi-Ferminiveaus W_{Fn} , W_{Fp} einmal bei schwacher Injektion und einmal bei starker Injektion!
 b) Welche Formel beschreibt den Zusammenhang zwischen Quasi-Ferminiveaus und den Majoritäts- bzw. den Minoritätsträgerdichten?
- 2.3 In diesem feldfreien Halbleiterkristall (aus 2.2) werde nun die optische Generation von Ladungsträgern zum Zeitpunkt $t=0$ unterbrochen. Leiten Sie das Zeitgesetz her, nach dem die Überschussladungsträger abklingen! Geben Sie dabei auch die Überschussladungsträgerkonzentration zum Zeitpunkt $t=0$ an.
 (Tip: die Bilanzgleichung hilft weiter!)
- 2.4 a) Bestimmen Sie in den folgenden Bildern eingezeichnete Ebenen. (2)



- b) Zeichnen Sie folgende Ebenen in die kubischprimitiven Elementarzellen ein. (2 Punkt)

$$[\bar{1}10], [2\bar{2}\bar{1}]$$

3. PN-Übergang

- 3.1 Stellen Sie die $I(U)$ -Kennlinie für einen realen pn-Übergang in Flussrichtung in halblogarithmischer Darstellung dar und markieren Sie die drei wichtigen Bereiche. Nennen Sie die physikalischen Ursachen, die eine Abweichung dieser Kennlinie von der idealen Diode nach dem Shockley-Modell bewirken.
- 3.2 a) Wie muss die Diodengleichung nach Shockley ergänzt werden, damit sie nicht nur bei mittleren Strömen, sondern auch bei kleinen Strömen die reale Diode korrekt beschreibt?
- b) Wie lässt sich aus der halblogarithmischen Darstellung (s. 3.1) der Generationsstrom I_{01} ermitteln?
- c) Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild, das den Nichtidealitäten einer realen Diode für alle Strombereiche Rechnung trägt. Ordnen Sie die verwendeten Komponenten den drei Bereichen aus 3.1 zu.

4. Schottky-Diode & MOS-Varaktor

- 4.1 Zeichnen Sie die Stromdichte-Spannungskennlinie $J(U)$ von zwei unterschiedlichen Metall/Halbleiterkontakten: einem gleichrichtenden Schottky-Kontakt und einem Kontakt mit ohmschem Verhalten. Begründen Sie den Unterschied im Verlauf mit den jeweiligen Besonderheiten im Bändermodell.
- 4.2 Der Subthreshold- Bereich von MOSFETs ist wichtig für analoge Schaltungen, die mit niedriger Spannung bzw. geringer Leistung arbeiten.
- Wie wird der Subthreshold- Bereich definiert? Stellen Sie die Eingangskennlinien halblogarithmisch für den Subthreshold-Bereich dar.
 - In welchem Zustand sind die Ladungsträger in dem Kanal, wenn der Transistor im Subthreshold Bereich arbeitet und welcher Mechanismus ermöglicht den Stromfluss?
- 4.3 Die Schwellspannung des Kurzkanaltransistors kann durch diese Gleichung berechnet werden:

$$U_{TK} = U_{FB} + 2\varphi_F + \gamma \sqrt{2\varphi_F + U_{SB}} \left[1 - \frac{\alpha_1}{L} \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}}{qN_A}} \left(\sqrt{2\varphi_F + U_{SB}} + \frac{\alpha_2 U_{DS}}{\sqrt{2\varphi_F + U_{SB}}} \right) \right]$$

Erklären Sie den Einfluss der Source Bulk (U_{SB}) und Drain Source Spannung (U_{DS}) in Abhängigkeit von der Kanallänge (L) auf die Schwellspannung!