

Klausur „Physik und Technologie der Halbleiterbauelemente“, 02.03.2009

1. Technologie (25 Punkte)

- 1.1 Zeichnen Sie einen planaren n-Kanal-MOS-Transistor im Querschnitt.
- Bezeichnen Sie die unterschiedlichen Materialien und die vier Anschlüsse des Transistors! (5 Punkte)
 - Nennen Sie die Materialien die als Dotierstoffe für den Einsatz im MOS-Transistor bzw. für dessen Herstellung von Bedeutung sind! (2 Punkte)
 - Welche Voraussetzungen müssen Dotierstoffe für Silizium erfüllen? (4 Punkte)
- 1.2 Ein Halbleiter werde durch Ionenimplantation dotiert.
- Zeichnen Sie die Verteilungskurve $N(x)$ für zwei verschiedene Energien $E_2 < E_1$ in die Tiefe eines Halbleiters! Kennzeichnen Sie in dem Profil die mittlere projizierte Reichweite R_p und die Standardabweichung ΔR_p ! (5 Punkte)
 - Nach der Ionenimplantation ist ein Temperaturschritt von ca. 900°C notwendig. Wieso ist wird dieser Schritt benötigt? (2 Punkte)
- 1.3 Um einen Halbleiter zu dotieren wird z. B. Das Diffusionsverfahren eingesetzt. Die Diffusion lässt sich über die Fick'schen Gesetze beschreiben. Leiten Sie aus diesen die Diffusionsgleichungen für den eindimensionalen Fall her! Benennen Sie die verwendeten Größen! (7 Punkte)

2. Physikalische Grundlagen (25 Punkte)

- 2.1 Ein Halbleiter wird mit einer durchdringenden Strahlung bestrahlt, so dass sich im Halbleiter überall die konstante Überschussgenerationsrate G einstellt
- Welche Voraussetzungen müssen für die Anregung in einem homogenen Halbleiter erfüllt sein? (4 Punkte)
 - Was hat die homogene Anregung für die Stromgleichungen zur Folge? (2 Punkte)
- 2.2 Zeitliches Abklingen der Elektronenüberschussdichte:
- Wie lautet die vollständige Bilanzgleichung für die Elektronendichte n bzw. die Überschussladungsdichte Δn ? (2 Punkte)
 - In einem feldfreien Halbleiterkristall, der homogen mit $N_D = 10^{15} \text{cm}^{-3}$ dotiert ist, werde die optische Generation von Ladungsträgern zum Zeitpunkt $t=0$ unterbrochen. Welche Terme aus a) sind vernachlässigbar? (2 Punkte)
 - Leiten Sie aus den vereinfachten Bilanzgleichungen das Zeitgesetz her, nach dem die Überschussladungsträger abklingen! Geben Sie dabei auch die Überschussladungsträger-Konzentrationen zum Zeitpunkt $t=0$ an! (3 Punkte)
- 2.3 Skizzieren Sie in das vorliegende kubische Kristallgitter folgende Gitterebenen ein!
- (2 1 1), b) [diese Vorgabe weiß ich nichtmehr]: (jew. 3 Punkte)
- [hier waren zwei kubisches Kristallgitter gegeben („Eckpunkte eines Würfels“)]

- 2.4 a) Welche Rekombinationsprozesse gibt es in einem Halbleiter? (3 Punkte)
b) Welcher dominiert in Silizium bei kleiner Dotierungsdichte und warum? (3 Punkte)

3. PN-Übergang (25 Punkte)

- a) Welche sind die drei wichtigsten Voraussetzungen des Shockley-Modells? (6 Punkte)
b) Wie lautet der allgemeine Ansatz, um den Einfluss von Rekombinationen oder Generation in der Raumladungszone auf die Kennlinie zu beschreiben? (4 Punkte)
- 3.2 a) Stellen Sie die $U(I)$ -Kennlinie für einen realen pn-Übergang in Flussrichtung in halblogarithmischer Darstellung dar und markieren Sie die Bereiche, in denen das Shockley-Modell erfüllt ist und die Bereiche in denen es nicht gilt! (11 Punkte)
b) Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild, das den Nichtidealitäten einer realen Diode für alle Strombereiche Rechnung trägt! (4 Punkte)

4. MOS-Transistor (25 Punkte)

- 4.1 Ein MOS-Varaktor besteht aus der Schichtenfolge Aluminium, Siliziumoxide und p-Substrat. Zeichnen Sie das Energiebändermodell von der Oberfläche eines p-Substrates bis in das neutrale Volumen für den Fall:

- a) der Akkumulation (2,5 Punkte)
b) der starken Inversion (2,5 Punkte)

Markieren Sie das Volumenpotenzial ϕ_B und die Bandverbiegung ψ_s ! (2 Punkte)
Kennzeichnen Sie den Midgap-Punkt für den Fall b. (1 Punkte) Wie groß ist die Bandverbiegung beim Übergang von schwacher zu starker Inversion? (2 Punkte)

- 4.2 Der Subthreshold-Bereich von MOSFETs ist wichtig für analoge Schaltungen, die mit niedriger Spannung bzw. geringer Leistung arbeiten.

a) Wie wird der Subthreshold-Bereich definiert? Stellen Sie die Eingangskennlinien halblogarithmisch für den Subthreshold-Bereich dar! (5 Punkte)

b) In welchem Zustand sind die Ladungsträger in dem Kanal, wenn der Transistor im Subthreshold Bereich arbeitet? Und welcher Mechanismus ermöglicht den Stromfluss? (2 Punkte)

- 4.3 Zeichnen Sie die Stromdichte-Spannungskennlinie $J(U)$ von zwei unterschiedlichen Metall/Halbleiterkontakten: einem gleichrichtenden Schottky-Kontakt und einem Kontakt mit ohmschen Verhalten. (4 Punkte)

Wie lautet die Kennliniengleichung eines Schottky-Kontaktes? Woraus setzt sich der Sperrsättigungsstrom zusammen? (4 Punkte)