

## Physik und Technologie der Halbleiterbauelemente

### 1. MOS-Transistor (8 Punkte)

1.1 Zeichnen Sie einen p-Kanal-MOSFET vom Anreicherungstyp (selbstsperrend) und seine Beschaltung. (2 Punkte)

1.2 Ein MOS-Varaktor bestehe aus der Schichtenfolge Aluminium, Siliziumdioxid und p-Substrat. Zeichnen Sie das Energiebändermodell von der Oberfläche eines p-Substrates bis in das neutrale Volumen für den Fall der starken Inversion. Markieren Sie das Volumenpotential  $\phi_B$  und die Bandverbiegung  $\Psi_s$ . Kennzeichnen Sie den Midgap-Punkt. Wie groß ist die Bandverbiegung beim Übergang von schwacher zu starker Inversion? (2 Punkte)

- 1.3 Stellen Sie die Eingangsgangskennlinien halblogarithmisch für den Subthreshold-Bereich dar. (1Punkt)
- 1.4 Tragen Sie in das Diagramm von 1.3 den Substratstromverlauf ein und diskutieren Sie den Verlauf.(2 Punkte)
- 1.5 Wie wirken sich „heiße Ladungsträger“ auf die Thresholdspannung auf. (maximal 2 Sätze, 1 Punkt)

## 2. Kennlinien (5 Punkte)

2.1 a) 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.

b) 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?  
(2 Punkte)

2.2 a) Zeichnen Sie die Stromdichte-Spannungskennlinien  $j(U)$  von zwei unterschiedlichen Metall/Halbleiterkontakten: einem gleichrichtenden Schottky-Kontakt und einem Kontakt mit ohmschen Verhalten. (1 Punkte)

2.3 Wie vereinfacht sich die Stromgleichung unter Verwendung der Quasiferminiveaus.  
(2Punkte)

### 3. Physikalische Grundlagen (3 Punkte)

3.1 Wie lauten die Bilanz- und die Stromgleichung für die Elektronen? (1 Punkt)

3.2 In einem homogen n-dotierten, kontaktlosen, feldfreien Halbleiterkristall werden mit einer stationären optischen Generationsrate  $G$  Elektron-Lochpaare generiert. Die Generation von Ladungsträgern findet oberflächennah statt und klingt in das Volumen hinein ab.

a) Was folgt in diesem Fall für die Stromgleichung und die Bilanzgleichung der Elektronen? Leiten Sie daraus die stationäre Diffusionsgleichung für die Elektronen her.

b) Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf des Energiebänderdiagramms für die vorliegende Situation unter Berücksichtigung der **Quasi-Ferminiveaus** ( $W_{Fn}, W_{Fp}$ )!

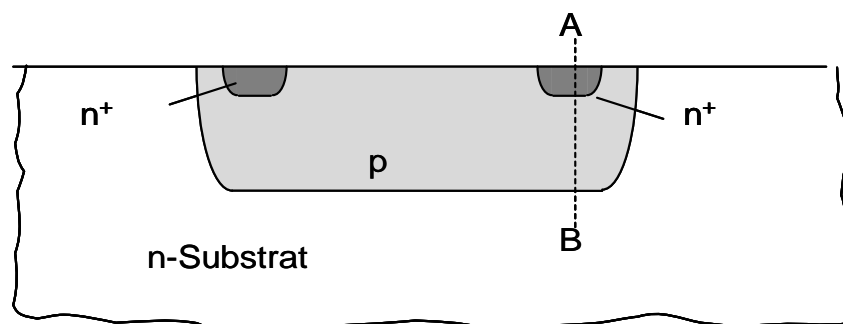
(Anmerkung: Zur Vereinfachung können gleiche Ladungsträgerbeweglichkeiten vorausgesetzt werden.)

(2 Punkte)

#### 4. Technologie (4 Punkte)

- 4.1 Ein Halbleiter werde durch Ionenimplantation dotiert.
- Zeichnen Sie das Dotierstoffprofil in die Tiefe des Halbleiters.
  - Kennzeichnen Sie in dem Profil die mittlere Eindringtiefe  $R_p$  und die mittlere Streuung  $\Delta R_p$ .
  - Wie sieht ein zweites Profil aus, das mit größerer Energie  $E_2 > E_1$  implantiert wurde? (1 Punkte)

- 4.2 Zur Herstellung eines n-Kanal-MOS-Transistors wurden in ein homogen dotiertes n-Substrat eine p-Wanne (Well) und zwei  $n^+$ -Bereiche eindiffundiert.



Die p-Wannendiffusion mit Bor-Atomen wurde aus einer dünnen Oberflächenbelegung heraus durchgeführt. Die  $n^+$ -Source- und  $n^+$ -Drain-Gebiete wurden aus der Gasphase heraus mit Phosphor-Atomen diffundiert.

Tragen Sie **qualitativ** entlang eines Längsschnittes durch das Bauelement, wie durch die gestrichelte Linie AB in der Skizze angedeutet, die Dotierstoffkonzentrationen  $N_A$ ,  $N_D$  und  $N_{Sub}$  auf (von der Halbleiteroberfläche bis in das Substrat).

Kennzeichnen Sie die Wannentiefe  $x_{n^+}$  der  $n^+$ -Gebiete und die Tiefe  $x_p$  der p-Wanne. Geben Sie an, wie die Dotierungsprofile ( $N_A$ ,  $N_D$  und  $N_{Sub}$ ) zu einem späteren Zeitpunkt des Diffusionsvorgangs  $t_2 > t_1$  aussehen würden. (3 Punkte)

