Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Institut für Integrierte Systeme
Integrated Systems Laboratory

Halbleiterbauelemente

Übungsserie 4: *Lösungen*

18. April 2011

1. **Drift- und Diffusionsstrom im Grundzustand:**
Die gesuchte Beziehung ist die Einstein-Relation zwischen Beweglichkeit und Diffusionskonstante

$$D = \frac{k_\mathrm{B}T}{e}\mu. \tag{1}$$

Die Elektronendichte im Gleichgewicht ist:

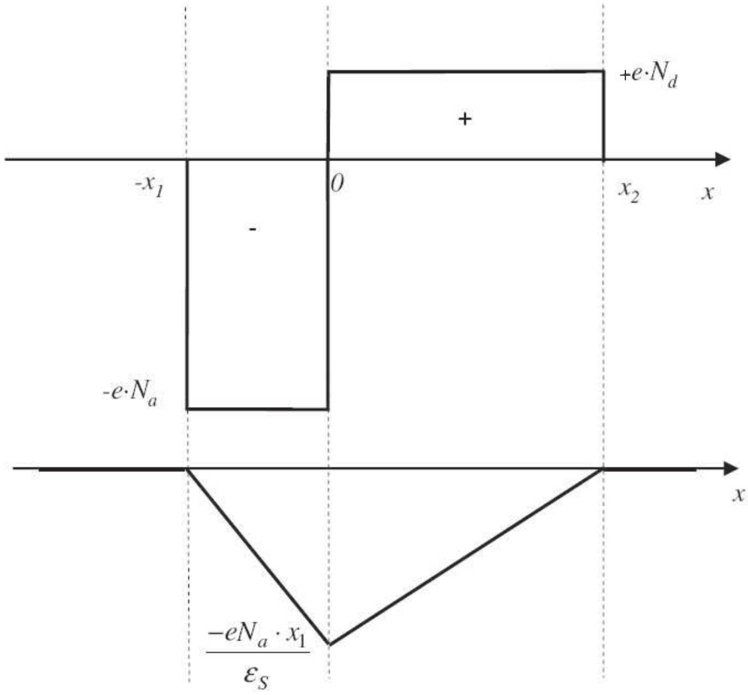
$$n = n_i \exp\left(\frac{\epsilon_\mathrm{F} - \epsilon_{\mathrm{F,\ intr}}}{k_\mathrm{B}T}\right) = n_i \exp\left(\frac{e\phi}{k_\mathrm{B}T}\right), \tag{2}$$

$$\vec{\nabla} n = \frac{en_i}{k_\mathrm{B}T}\exp\left(\frac{e\phi}{k_\mathrm{B}T}\right)\vec{\nabla}\phi = \frac{e}{k_\mathrm{B}T}n\vec{\nabla}\phi. \tag{3}$$

(Die gewählte Konvention für das elektrostatische Potential entspricht dem Buch von Neamen). Gleichsetzen von Drift- und Diffusionsstrom der Elektronen liefert

$$e\mu n\vec{\nabla}\phi \stackrel{!}{=} \frac{e^2 D}{k_\mathrm{B}T}n\vec{\nabla}\phi \Rightarrow \ \mu = \frac{e}{k_\mathrm{B}T}D. \tag{4}$$

2. **Raumlandungszonen:**
Teilgebiet 1 ist p-dotiert; Teilgebiet 2 ist n-dotiert. Aus $\frac{x_n}{x_p} = \frac{N_a}{N_d}$ folgt $N_a = 4 \cdot N_d$.



3. **Abrupte Diode:**
   Es gilt:

$$\frac{x_n}{x_p} = \frac{N_a}{N_d} = \frac{90}{10} = 9 \qquad (1)$$

und

$$V_{bi} = \frac{kT}{e} \cdot ln[\frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2}] = 0.6\,\mathrm{V} \qquad (2)$$

Aus (1) folgt $N_a = 9 \cdot N_d$. Wenn man dies in (2) einsetzt und nach N_d löst, dann kommt man zu

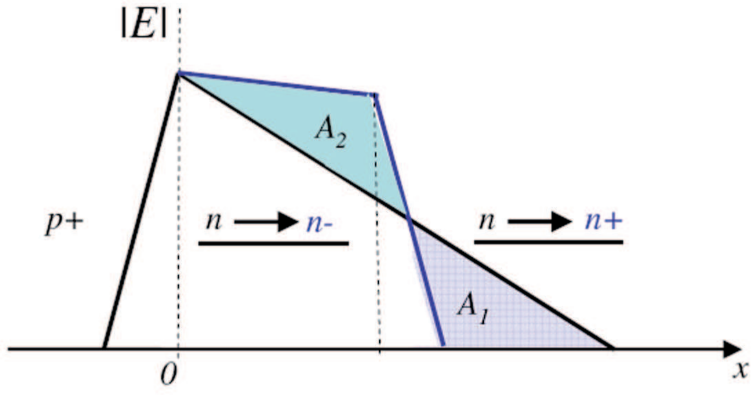
$$N_d = 3.58 \cdot 10^{14} cm^{-3} \text{ und somit } N_a = 3.22 \cdot 10^{15} cm^{-3}.$$

Mit diesen Werten erhält man bei einer Rückwärtsspannung von 18V

$$x_n = \sqrt{\frac{2\epsilon_S}{e} \cdot \frac{N_a}{N_d} \cdot \frac{V_{bi}+V_r}{N_a+N_d}} = 7.774 \cdot 10^{-4} cm$$

und $E_{MAX} = \frac{e \cdot N_d \cdot x_n}{\epsilon_S} = 4.31 \cdot 10^4\, V \cdot cm^{-1}$.

Im n-Gebiet ist $\frac{\partial E}{\partial x} \propto +e \cdot N_d$



Ziel ist es, die Dotierungsniveaus so einzustellen, dass A_1=A_2

4. **Schaltkreissimulation:**
Die Definition der Kapazität ist

$$C = \tfrac{dQ}{dV}.$$

Für die Anordnung in Abb. 2 gilt

$$Q = C_0 \cdot V_{C_0} = C_0 \cdot [V_{AB} - E(V_{AB})]$$

und somit

$$\tfrac{dQ}{dV_{AB}} = C_0 \cdot [1 - \tfrac{dE(V_{AB})}{dV_{AB}}] = \sqrt{\tfrac{e \cdot \epsilon_S}{2} \cdot \tfrac{Na \cdot Nd}{Na+Nd} \cdot \tfrac{1}{V_{bi}+V_{AB}}} = \tfrac{\alpha}{\sqrt{V_{bi}+V_{AB}}} \; .$$

Es folgt durch Integration

$$E(V_{AB}) = V_{AB} - 2 \cdot \alpha \cdot \tfrac{\sqrt{V_{bi}+V_{AB}}}{C_0} \; .$$