Lösungshinweise zur Prüfung Physik 2 für IT, WS 2008/2009

1. a) Dichte der Majoritäten: $n_\mathrm{n} = n_\mathrm{D} = 10^{16}\mathrm{cm}^{-3}$, $p_\mathrm{p} = n_\mathrm{A} = 10^{17}\mathrm{cm}^{-3}$.

   Dichte der Minoritäten: $n_\mathrm{P} = \dfrac{n_\mathrm{i}^2}{n_\mathrm{A}} = 1{,}04 \cdot 10^3\,\mathrm{cm}^{-3}$, $p_\mathrm{n} = \dfrac{n_\mathrm{i}^2}{n_\mathrm{D}} = 1{,}04 \cdot 10^4\,\mathrm{cm}^{-3}$.

   b) Diffusionsspannung $U_\mathrm{d} = \dfrac{kT}{e} \cdot \ln \dfrac{n_\mathrm{D} \cdot n_\mathrm{A}}{n_\mathrm{i}^2} = 0{,}773\,\mathrm{V}$ für $T = 300$ K.

   c) Shockley-Gleichung: $I = I_\mathrm{S} \cdot \left(\mathrm{e}^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \approx I_\mathrm{S} \cdot \mathrm{e}^{\frac{eU}{kT}} = 0{,}502$ A.

   d) Differenzieller Widerstand $r = \dfrac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}I}$.

   Sinnvoll ist zunächst die Berechnung des Kehrwerts: $\dfrac{1}{r} = \dfrac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}U} = I_\mathrm{S} \cdot \dfrac{e}{kT} \cdot \mathrm{e}^{\frac{eU}{kT}}$;

   $r = \dfrac{kT}{I_\mathrm{S} e \cdot \mathrm{e}^{\frac{eU}{kT}}}$; $r(U = 0) = \dfrac{kT}{e \cdot I_\mathrm{S}} = 12{,}9\,\mathrm{M\Omega}$;

   $r(U = 0{,}5\,\mathrm{V}) = \dfrac{12{,}9\,\mathrm{M\Omega}}{\mathrm{e}^{\frac{eU}{kT}}} = 51{,}5\,\mathrm{m\Omega}$.

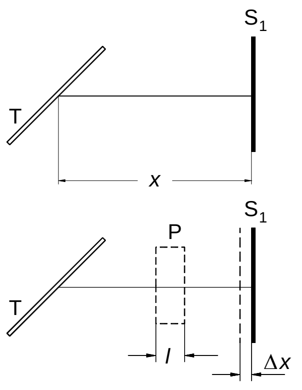
   e) Die Gleichgewichtskonzentration stellt sich in einem fünffachen Abstand von ungefähr der Diffusionslänge L ein.

   $L_\mathrm{n} = \sqrt{D_\mathrm{n} \tau_\mathrm{n}} = 83{,}7\,\mu\mathrm{m}$; $x_\mathrm{n} \approx 5 \cdot L_\mathrm{n} = 0{,}42$ mm,

   $L_\mathrm{p} = \sqrt{D_\mathrm{p} \cdot \tau_\mathrm{p}} = 49\,\mu\mathrm{m}$; $x_\mathrm{p} \approx 5 \cdot L_\mathrm{p} = 0{,}24$ mm.

2. a) Spiegelverschiebung um eine halbe Wellenlänge bringt das nächste Maximum.

   Daher gilt: $\lambda = 2\Delta s = 3{,}16$ cm. Frequenz $f = \dfrac{c}{\lambda} = 9{,}49$ GHz.



   b) Voraussetzung für das Maximum sind gleiche Laufzeiten mit und ohne Platte.
   Die Entfernung des Spiegels vom Strahlteiler sei x:

   Laufzeit in Luft: $\dfrac{x}{c_0}$;

   Laufzeit mit Platte: $\dfrac{(x - l - \Delta x)}{c_0} + \dfrac{l \cdot n}{c_0}$.

   Durch Gleichsetzen folgt $x = x - l - \Delta x + l \cdot n$ oder

   $n = 1 + \dfrac{\Delta x}{l} = 1{,}663$.

   Dadurch ist die Lichtgeschwindigkeit in der Platte

   $c = \dfrac{c_0}{n} = 1{,}803 \cdot 10^8\,\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

   c) Maxwell-Relation: $n = \sqrt{\varepsilon_\mathrm{r}}$ liefert $\varepsilon_\mathrm{r} = n^2 = 2{,}76$.

d) Phasengeschwindigkeiten:

$$\left.\begin{aligned} c_1 &= \lambda_1 \cdot f_1 = 2{,}2935 \cdot 10^8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \\ c_2 &= \lambda_2 \cdot f_2 = 2{,}2715 \cdot 10^8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \end{aligned}\right\} \bar{c} = \frac{c_1 + c_2}{2} = 2{,}28 \cdot 10^8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

Gruppengeschwindigkeit:

$$c_\mathrm{g} = \frac{\Delta\omega}{\Delta k} = \frac{2\pi(\Delta f)}{\frac{2\pi}{\lambda_1} - \frac{2\pi}{\lambda_2}} = \frac{f_1 - f_2}{\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}} = 2{,}007 \cdot 10^8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

Alternative: $c_\mathrm{g} = \bar{c} - \bar{\lambda} \cdot \frac{\Delta c}{\Delta \lambda}$.

e) $c_\mathrm{g} < c \rightarrow$ normale Dispersion

3. a) $\bar{\lambda}_\mathrm{g} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{5} \lambda_{\mathrm{g},i} = 849{,}82\,\mathrm{nm}$.

b) Standardabweichung $FS_\mathrm{min} = \sum \lambda_{i,\mathrm{g}}^2 - N \cdot \bar{\lambda}_\mathrm{g}^2 = 4{,}261\,\mathrm{nm}^2$; $s_\lambda = \sqrt{\frac{FS_\mathrm{min}}{4}} = 1{,}033\,\mathrm{nm}$.

Standardabweichung Mittelwert $\Delta\bar{\lambda}_\mathrm{g} = \frac{s_\lambda}{\sqrt{5}} 0{,}462\,\mathrm{nm} \rightarrow \lambda_\mathrm{g} = (849{,}82 \pm 0{,}46)\,\mathrm{nm}$;

$\frac{\Delta\bar{\lambda}_\mathrm{g}}{\bar{\lambda}_\mathrm{g}} = 5{,}44 \cdot 10^{-4}$.

c) Energielücke $\bar{E}_\mathrm{g} = \frac{hc}{\bar{\lambda}_\mathrm{g}} = 1{,}4591\,\mathrm{eV}$; relativer Fehler $\frac{\Delta\bar{E}_\mathrm{g}}{\bar{E}_\mathrm{g}} = \frac{\Delta\bar{\lambda}_\mathrm{g}}{\bar{\lambda}_\mathrm{g}} = 5{,}44 \cdot 10^{-4}$;

$\Delta\bar{E}_\mathrm{g} = 7{,}93 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{eV} \approx 1\,\mathrm{meV} \rightarrow E_\mathrm{g} = (1{,}459 \pm 0{,}001)\,\mathrm{eV}$.

d) $n_\mathrm{i} = a \cdot \mathrm{e}^{-\frac{E_\mathrm{g}}{2kT}} \Leftrightarrow \frac{\mathrm{d}n_\mathrm{i}}{\mathrm{d}E_\mathrm{g}} = -\frac{a}{2kT} \cdot \mathrm{e}^{-\frac{E_\mathrm{g}}{2kT}} = -\frac{n_\mathrm{i}}{2kT} \rightarrow \Delta n_\mathrm{i} \approx -\frac{n_\mathrm{i}}{2kT} \cdot \Delta E_\mathrm{g}$;

$\frac{\Delta n_\mathrm{i}}{n_\mathrm{i}} = \left| -\frac{\Delta\bar{E}_\mathrm{g}}{2kT} \right| = +1{,}53\,\%$.