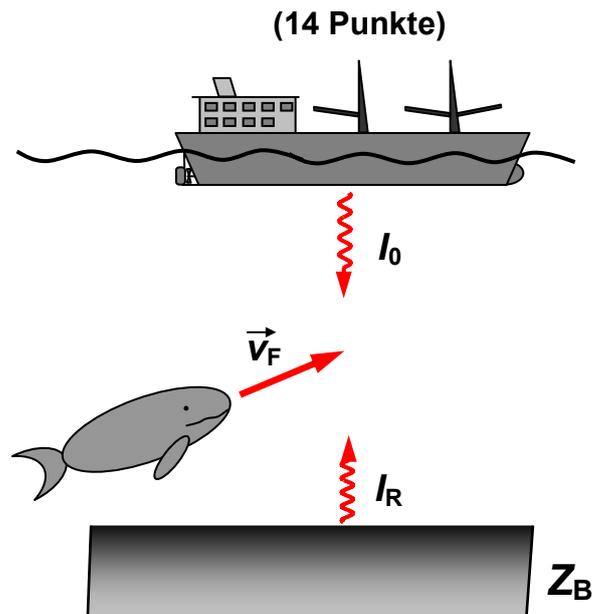


Sommersemester		Zahl der Blätter: 3 (+ Millimeterpapier)
Wintersemester	2010/11	Blatt Nr. 1
Fakultät:	Informationstechnik	Semester: KTB2, SWB2, TIB2, IEP2
Prüfungsfach:	Physik 2	Fachnummer: 2031, 2032
Hilfsmittel:	Manuskript, Literatur, Taschenrechner	Zeit: 90 min

Aufgabe 1: Sonargerät

Ein wichtiges Navigationshilfsmittel auf Schiffen ist das Sonargerät. Ein am Schiffsboden angebrachter Ultraschallwandler sendet kurze Schallpulse aus, die vom Meeresgrund oder im Wasser schwimmenden Objekten reflektiert werden. Nach dem Sendevorgang arbeitet der Wandler als Empfänger zum Nachweis reflektierter Pulse.

In seiner bekanntesten Anwendung zur Messung der Wassertiefe wird das Gerät oft als Echolot bezeichnet. Dabei sendet es einen gebündelten Schallstrahl vertikal nach unten in das Wasser.



- Wie tief ist das Wasser, wenn die Gesamtlaufzeit der Schallpulse 1,6 s beträgt ?
- Das Umschalten von Senden auf Empfangen dauert 5 ms, während dieser Totzeit kann das Gerät keine Signale aufnehmen. Was bedeutet dies für den Tiefenmessbereich ?
- Die Schallfrequenz beträgt 120 kHz. Wie groß sind Wellenzahl und Wellenlänge ?
- Der Wandler strahlt Schall mit einer Intensität von $I_0 = 500 \text{ mW/cm}^2$ ab. Wie groß sind die Effektivwerte von Schalldruck p_{eff} und Schallschnelle v_{eff} im umgebenden Meerwasser ?
- Welcher Anteil der den Meeresgrund erreichenden Schallintensität wird reflektiert und wie groß ist dort die Pegeldifferenz zwischen einfallender und reflektierter Intensität ?
- Im ungünstigsten Fall liefert der Schallwandler keinen eng begrenzten Strahl, sondern strahlt als Punktquelle gleichmäßig in den ganzen von Wasser erfüllten Raum. Welche Intensität ergibt sich bei einer abgestrahlten Leistung von 5 W dann in 1000 m Tiefe ?
- Sonargeräte werden auch als „fishfinder“ zum Orten von Fischschwärmen verwendet. Ein Physiker schlägt vor, damit auch die Frequenz f_0 des abgestrahlten Schalls mit der Frequenz f_R der reflektierten Signale zu vergleichen. Welche Information folgt daraus ?

Angaben:

Schallgeschwindigkeit in Meerwasser

$$c = 1481 \text{ m/s}$$

Dichte von Meerwasser

$$\rho = 1.02 \text{ g/cm}^3$$

Schallkennimpedanz des (sandigen) Meeresbodens

$$Z_B = 3 \cdot 10^6 \text{ kg/(m}^2\text{s)}$$

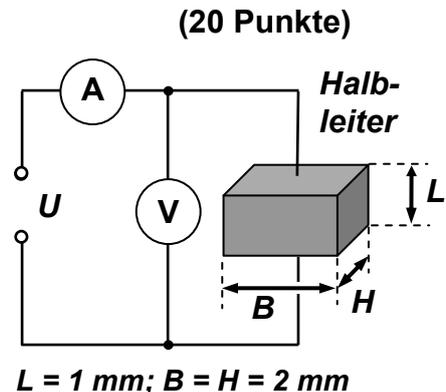
Semester: WS 2010/11	Blatt Nr. : 2
Fakultät: Informationstechnik	Semester: KTB2, SWB2, TIB2, IEP2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2031, 2032

Aufgabe 2: Reengineering

Ein Temperatursensor besteht aus einem quaderförmigen Plättchen, dessen Widerstand stark temperaturabhängig ist. Es wird vermutet, dass es sich um undotiertes Halbleitermaterial handelt. Zur genaueren Charakterisierung wird der Sensor mit einfachen Messmitteln untersucht.

Messung von Spannung und Strom unter Variation der Temperatur ergibt folgende Widerstände :

$\vartheta / ^\circ\text{C}$	0	27	50	75	100	130	160
R / Ω	$6,8 \cdot 10^6$	$8,4 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$	$4,3 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$



Wenn tatsächlich ein Halbleiter vorliegt, sollte die logarithmische Auftragung des Widerstands R über der reziproken absoluten Temperatur $1/T$ eine Gerade ergeben.

- Erstellen Sie ein solches Diagramm, zeichnen Sie von Hand die Gerade ein und bestimmen Sie aus deren Steigung die Energielücke E_g . Geben Sie dabei den Wert für E_g in der Energieeinheit Elektronenvolt (eV) an. *Millimeterpapier finden Sie im Anhang !*
- Ermitteln Sie Fehlergrenzen für E_g und geben Sie das sinnvoll gerundete Endergebnis an (eine signifikante Stelle für den Fehler). Welcher Halbleiter liegt vor ?
- Welchen spezifischen Widerstand hat das Material im Experiment bei 27°C ?
- Welcher spezifische Widerstand ergibt sich nach den Materialdaten bei 27°C ?

Alternativ kann E_g aus dem optischen Absorptionsspektrum des Materials bestimmt werden.

- Skizzieren Sie, wie dieses über der Wellenlänge aufgetragene Spektrum prinzipiell aussieht und berechnen Sie die voraussichtliche Lage der Absorptionskante. In welchem Spektralbereich (UV, sichtbar, IR, ...) käme sie zu liegen ?

Materialdaten bei 300 K	Ge	Si	GaAs
Bandabstand (gap) E_g in eV	0,660	1,11	1,43
Eigenleitungsdichte n_i in cm^{-3}	$2,33 \cdot 10^{13}$	$1,02 \cdot 10^{10}$	$2,00 \cdot 10^6$
Beweglichkeit μ_n in $\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ μ_p in $\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$	3900 1900	1350 480	8500 435

Lösungsvorschlag Reengineering

Autor H Käß

a) Tabelle ergänzen ...Diagramm zeichnen ... Gerade einzeichnen ... siehe Graphik

ϑ [°C]	0	27	50	75	100	130	160
R [Ω]	$6,8 \cdot 10^6$	$8,4 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$	$4,3 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$
T [K]	273	300	323	348	373	403	433
$1/T$ [$10^{-3}/K$]	3,66	3,33	3,1	2,87	2,68	2,48	2,31
$\ln(R)$	15,73	13,64	12,10	10,67	9,39	8,19	7,00

Für den Widerstand gilt $R(T) = R_0 \cdot \exp[E_g / (2 \cdot k \cdot T)]$

$$\ln R(T) = \ln R_0 + [E_g / (2 \cdot k)] \cdot (1 / T)$$

Berechnung der Geradensteigung m_{opt} aus zwei Punkten (Steigungsdreieck)

$$m_{opt} = (\ln R_2 - \ln R_1) / (1/T_2 - 1/T_1) = 10,1 / 1,58 \cdot 10^{-3} K^{-1} = \mathbf{6392 K}$$

Da $m_{opt} = E_g / (2 \cdot k)$ $E_g = 2 \cdot k \cdot m_{opt} = 2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} J/K \cdot 6392 K = 1,7643 \cdot 10^{-19} J$
 $= \mathbf{1,101 eV}$

b) Einzeichnen der Fehlergraden (maximale / minimale Steigung) von Hand

Maximale Steigung $m_{max} = 10,1 / 1,52 \cdot 10^{-3} K^{-1} = 6645 K$

daraus $E_{g,max} = 2 \cdot k \cdot m_{max} = 1,834 \cdot 10^{-19} J = \mathbf{1,145 eV}$

Minimale Steigung $m_{min} = 10,1 / 1,63 \cdot 10^{-3} K^{-1} = 6196 K$

daraus $E_{g,min} = 2 \cdot k \cdot m_{min} = 1,710 \cdot 10^{-19} J = \mathbf{1,067 eV}$

Fehlerbereich $\Delta E_g = \frac{1}{2} (E_{g,max} - E_{g,min}) = 0,0387 eV \approx 0,04 eV$

Ergebnis für die Gap-Energie $E_g = \mathbf{(1,10 \pm 0,04) eV}$ **Silizium !!**

c) Spezifischer Widerstand $R = \rho \cdot L / A = \rho \cdot L / (B \cdot H)$

hier also bei 27°C $\rho = R \cdot B \cdot H / L = 8,4 \cdot 10^5 \Omega \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} m^2 / 1 \cdot 10^{-3} m =$
 $= \mathbf{3360 \Omega m}$

d) Spezifischer Widerstand aus Materialdaten bei 300 K ...

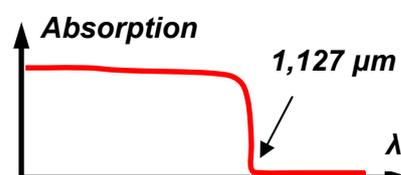
$$\kappa = e \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p) = 1,60 \cdot 10^{-19} As \cdot 1,02 \cdot 10^{10} cm^{-3} \cdot 1830 cm^2 / (Vs) = 2990 \cdot 10^{-6} 1 / (\Omega cm)$$

Spezifischer Widerstand $\rho = 1 / \kappa = 334415 \Omega cm = \mathbf{3344 \Omega m}$

e) Absorptionskante liegt bei der Photonenenergie $E_{ph} = E_g = 1,10 eV$

aus $E_{ph} = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$ folgt $\lambda = h \cdot c / E_{ph} = 1,127 \cdot 10^{-6} m = \mathbf{1,127 \mu m}$

Die Absorptionskante liegt im IR-Bereich
(Infrarot) des Spektrums



Semester: WS 2010/11	Blatt Nr. : 3
Fakultät: Informationstechnik	Semester: KTB2, SWB2, TIB2, IEP2
Prüfungsfach: Physik 2	Fachnummer: 2031

Aufgabe 3: Kurzfragen

(14 Punkte)

a) Autobahn

Der Verkehrslärm einer Autobahn hat in 50 m Abstand zur Fahrbahn den Intensitätspegel $L_{11} = 75$ dB. Welcher Pegel L_{12} liegt dann in einem Abstand von 500 m vor ?

b) Schwarzer Strahler

Der Mensch ist bezüglich seiner optischen Emissionen näherungsweise ein schwarzer Strahler der Temperatur 37°C . Bei welcher Wellenlänge liegt sein Emissionsmaximum ?

c) Hochfrequenzbehandlung

Radiofrequenz von 13,56 MHz dient in der Medizin zur lokalen Wärmebehandlung. Welche Wellenlänge haben diese Wellen in Luft ($\epsilon_r = 1$) und im Gewebe ($\epsilon_r \approx 75$) ?

d) Zyklotronresonanz

Wie groß ist die Zyklotronresonanzfrequenz der Majoritätsträger in p-dotiertem GaAs in einem Magnetfeld von 0,2 T ? Angaben: $m_n^* = 0,067 m_e$; $m_p^* = 0,46 m_e$; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg

e) Germanium

Germanium wird mit $n_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ Arsen-Atomen dotiert. Welche Dichte haben Elektronen und Löcher, wenn die Eigenleitungsdichte $n_i = 2,33 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ beträgt ?

f) Photonisches

Welchen Impuls hat ein Photon aus einer grünen LED ($\lambda = 520$ nm).

g) Sprengstoffkontrolle

Welche Energie (in eV) haben Photonen eines THz-Scanners, der bei 10 THz arbeitet ?

h) Atomkern

Wie viele Protonen, Neutronen und welche Nukleonenzahl hat das Nuklid ${}_{32}^{74}\text{Ge}$?

i) Transmissionsgitter

Rotes Laserlicht der Wellenlänge 632 nm durchstrahlt ein Gitter mit 500 Linien / mm. Wie viele Hauptmaxima treten hinter dem Gitter auf ?

Lösungsvorschlag Kurzfragen

Autor H Käß

a) Autobahn, zylindersymmetrische Schallausbreitung

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 10 \lg (r_2 / r_1) \text{ dB} = 10 \lg (500 / 50) \text{ dB} = 10 \lg (10) \text{ dB} = 10 \text{ dB}$$

$$L_2 = L_1 - \Delta L = 75 \text{ dB} - 10 \text{ dB} = \mathbf{65 \text{ dB}}$$

b) Wien-Gesetz $\lambda_{\max} \cdot T = 2898 \mu\text{m K}$ $\lambda_{\max} = 2898 \mu\text{m K} / (273 + 37) \text{ K} = \mathbf{9,35 \mu\text{m}}$

c) Luft $\lambda_0 = c_0 / f = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} / 13,56 \cdot 10^6 \text{ s} \cdot \text{Hz} = \mathbf{22,12 \text{ m}}$

Gewebe $\lambda_G = c_0 / (\sqrt{\epsilon_r} \cdot f) = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r} = 22,12 \text{ m} / \sqrt{75} = \mathbf{2,55 \text{ m}}$

d) Zyklotronresonanzfrequenz $f = \omega / (2 \cdot \pi) = q \cdot B / (2 \cdot \pi \cdot m^*) = q \cdot B / (2 \cdot \pi \cdot m_p^*)$

p-Dotierung: $m^* = m_p^* !$ $= 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As } 0,2 \text{ Vs} / (2 \cdot \pi \cdot 0,46 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg m}^2)$

$$= 12,182 \cdot 10^9 \text{ 1/s} = \mathbf{12,18 \text{ GHz}}$$

e) $n \cdot p = (n_i)^2$ mit $n = n_D$ also $n = \mathbf{10^{15} \text{ cm}^{-3}}$ **Elektronen**

und $p = n_i^2 / n_D = 2,33^2 \cdot 10^{26} / 10^{15} \text{ cm}^3 = \mathbf{5,429 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-3}}$ **Löcher**

f) Photonenimpuls nach de Broglie $p = h / \lambda$

also $p = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} / 520 \cdot 10^{-9} \text{ m} = \mathbf{1,274 \cdot 10^{-27} \text{ Ns}}$

g) Photonenenergie bei 10 THz $E_{\text{ph}} = h \cdot \nu = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js } 10 \cdot 10^{12} \text{ 1/s} = 6,626 \cdot 10^{-21} \text{ J}$

Umrechnung in Elektronenvolt $= 6,626 \cdot 10^{-21} \text{ J e/e} = 6,626 \cdot 10^{-21} \text{ J e} / 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

$$= \mathbf{0,0414 \text{ eV}}$$

h) ${}^{74}_{32}\text{Ge}$ **32 Protonen; 74 - 32 = 42 Neutronen; 74 Nukleonen**

i) Gitterbeugung

500 Linien pro mm bedeutet einen Linienabstand von $d = 1 \text{ mm} / 500 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

$\sin \alpha_n = n \cdot \lambda / d$ also $\sin \alpha_n = n \cdot 632 \cdot 10^{-9} \text{ m} / 2 \cdot 10^{-6} \text{ m} = n \cdot 0,316$

dabei $\sin \alpha_n \leq 1$

Erlaubte Werte $n = \mathbf{0, \pm 1; \pm 2; \pm 3}$

Hinter dem Gitter treten also **7 Hauptmaxima** auf: 0. Ordnung

± 1 . Ordnung

± 2 . Ordnung

± 3 . Ordnung

