

GWE Übungen mit Lösungen

1. Februar 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Metalle	2
2	Halbleiter	8
3	Dielektrika	15
4	Magnetika	17

1 Metalle

- 1.1 Geben Sie für Silizium (Si, Ordnungszahl 14) die Quantenzahlen aller Elektronen auf der zweiten Schale (L-Schale) an. Silizium hat die Elektronenkonfiguration $[\text{Si}] = [\text{Ne}]3s^2p^2$. Neon hat die Elektronenkonfiguration $[\text{Ne}] = 1s^22s^2p^6$.

n	l	m	s	
2	0	0	$\pm\frac{1}{2}$	$2n^2 = 8 =$ maximale Anzahl der Elektronen in der zweiten Schale.
2	1	-1	$\pm\frac{1}{2}$	Nebenquantenzahl $l = 0, 1, 2, \dots, (n - 1)$
2	1	0	$\pm\frac{1}{2}$	Magnetquantenzahl $m = -l, \dots, 0, \dots, l$
2	1	1	$\pm\frac{1}{2}$	Alle 8 möglichen Elektronen sind vorhanden, zwei in den $2s$ -Zuständen und sechs in den $2p$ -Zuständen.

- 1.2 Nennen Sie die drei wichtigsten Arten chemischer Bindungen, jeweils mit einem typischen Beispiel.

1. Metallische Bindung: Eisen, Kupfer, Nickel, Mangan, Silber, ...
2. Ionenbindung: NaCl, HCl, HF, ...
3. Kovalente Bindung = Elektronenpaarbindung: Si₄, H₂, O₂, N₂, F₂, Cl₂, ...

- 1.3 Welche Kristallstruktur bezeichnet man als "kubisch dichteste Packung"? Wie groß ist dabei die Raumerfüllung und die Koordinationszahl (Anzahl nächster Nachbaratome)?

Die kubisch raumzentrierte Kristallstruktur mit 74% Raumerfüllung, 4 Atomen im Gitter und 12 nächsten Nachbarn bezeichnet man als "kubisch dichteste Packung".

- 1.4 Welcher Unterschied besteht zwischen dem Diamantgitter und der Zinkblende-Struktur (ZnS)? Wie kann man sich beide Gittertypen entstanden denken?

Diamant besteht aus reinem Kohlenstoff. Zinkblende besteht aus Zink und Schwefel. Die Struktur besteht aus zwei krz-Gittern wobei ein Gitter um $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$ versetzt das andere Gitter durchdringt.

- 1.5 Nennen Sie die vier wichtigsten Typen von Kristallbaufehlern.

- 0-dimensional: Fehlstelle, Lücke, Loch
- 1-dimensional: Linienversetzung
- 2-dimensional: Stufenversetzung, Stapelfehler, Schraubenversetzung
- 3-dimensional: Lunker, Korngrenzen

- 1.6 Was ist ein (a) Schottky-Defekt, (b) Frenkel-Defekt?

- (a) Ein Ion verlässt seinen Gitterplatz und wandert bis zur Oberfläche.
- (b) Ein Ion verlässt seinen Gitterplatz und verbleibt auf einem Zwischengitterplatz.

- 1.7 Silber (Ag, Wertigkeit $Z = 1$, kfz) hat das Atomgewicht 107,868 g/mol und bei $T = 300$ K die Dichte $d = 10,5$ g/cm³ und die elektrische Leitfähigkeit $\sigma = 63 \cdot 10^6$ (Ωm)⁻¹. Berechnen Sie die Beweglichkeit der Elektronen. Wie groß ist die Gitterkonstante der Elementarzelle?

$$n = \frac{d \cdot N_L}{\text{Atomgewicht}} = \frac{10,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}}{107,868 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 5,863 \cdot 10^{22} \text{cm}^{-3}$$

$$\sigma = e \cdot n \cdot \mu \Rightarrow \mu = \frac{\sigma}{e \cdot n} = \frac{63 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{As} \cdot 5,863 \cdot 10^{22} \text{cm}^{-3}} = 67,16 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$$

$$n = \frac{Z \cdot N}{a_0^3} \Rightarrow a_0 = \sqrt[3]{\frac{Z \cdot N}{n}} = \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 4}{5,863 \cdot 10^{22} \text{cm}^{-3}}} = 4,09 \cdot 10^{-10} \text{m} = 4,09 \text{ \AA} = 0,409 \text{ nm}$$

1.8 Die Stromdichte j in Silber betrage 6 A/mm^2 . Die Elektronenkonzentration ist mit $n = 5,846 \cdot 10^{22} \text{cm}^{-3}$ vorgegeben. Berechnen Sie die Driftgeschwindigkeit der Elektronen und die elektrische Feldstärke im Leiter. Welche Spannung ist an einen 500 m langen Silberdraht zu legen, um diese Stromdichte zu erreichen? Welche Werte ergeben sich für $j = 1 \text{ A/mm}^2$?

$$\sigma = e \cdot n \cdot \mu \Rightarrow \mu = \frac{\sigma}{e \cdot n} \quad j = \sigma \cdot E \Rightarrow E = \frac{j}{\sigma}$$

$$v_{D6} = \mu E = \frac{\sigma}{e \cdot n} \frac{j}{\sigma} = \frac{j}{e \cdot n} = \frac{600 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{As} \cdot 5,846 \cdot 10^{22} \text{cm}^{-3}} = 0,0642 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$\sigma_{\text{Ag}} = 63 \cdot 10^4 (\Omega\text{cm})^{-1}$$

$$E_6 = \frac{j}{\sigma} = \frac{600 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}}{63 \cdot 10^4 (\Omega\text{cm})^{-1}} = 952 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 95,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$U_6 = E_6 \cdot l = 95,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{m}} \cdot 500 \text{ m} = 47,6 \text{ V}$$

U ist unabhängig vom Leiterquerschnitt.

$$V_D \sim j \quad E \sim j \quad U \sim j$$

$$V_{D1} = 0,107 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \quad E_1 = 15,9 \frac{\text{mV}}{\text{m}} \quad U_1 = 7,94 \text{ V}$$

1.9 Berechnen Sie die Anzahl der Elektronen je Kupferatom (Atomgewicht Cu: $63,54 \text{ g/mol}$ bei einer Dichte von $d = 8,96 \text{ g/cm}^3$) die einen Beitrag zur elektrischen Leitfähigkeit liefern. Die Beweglichkeit der Kupferelektronen beträgt $\mu = 4 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{Vs}$ bei Raumtemperatur. Die Leitfähigkeit ist $\sigma = 57 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1}$.

$$\sigma = e \cdot n \cdot \mu \Rightarrow n = \frac{\sigma}{e \cdot \mu} = \frac{57 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{As} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}}} = 8,9 \cdot 10^{22} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$n_1 = \frac{d \cdot N_L}{\text{Atomgewicht}} = \frac{8,96 \text{ g/cm}^3 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}}{63,54 \text{ g/mol}} = 8,49 \cdot 10^{22} \text{cm}^{-3}$$

Also: $n \approx n_1$, Ein Elektron pro Cu-Atom

1.10 Wie groß ist die Änderung des spezifischen Widerstandes von Kupfer, wenn folgende Daten bekannt sind: $T = 293 \text{ K}$, $\rho = 1,7 \cdot 10^{-6} \Omega\text{cm}$, $\Delta T = 100 \text{ K}$, $\alpha = 0,43\%/K$.

$$\Delta \rho = \rho_{293} \alpha \cdot \Delta T = 1,7 \cdot 10^{-6} \Omega\text{cm} \cdot 0,43\%/K \cdot 100 \text{ K} = 0,731 \cdot 10^{-6} \Omega\text{cm}$$

1.11 Berechnen Sie den Netzebenenabstand d der Netzebenen, die mit den Miller-Indizes $h, k, l = \{1, 1, 1\}$ beschrieben werden,

(a) allgemein für orthogonale Systeme,

(b) für ein kfz-Gitter mit der Gitterkonstanten $a_0 = 0,407 \text{ nm}$ (Gold, Au).

Als verwendete Röntgenquelle sei $\text{Cu}_{K\alpha}$ -Strahlung mit einer Wellenlänge von $1,54 \cdot 10^{-10}\text{m}$ angenommen. Berechnen Sie hiermit den zugehörigen Bragg-Winkel Θ . Welcher Winkel ergibt sich für $\{2, 0, 0\}$ -Ebenen? Warum tritt hier kein $1, 0, 0$ -Reflex auf?

(a)

$$d = \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

(b)

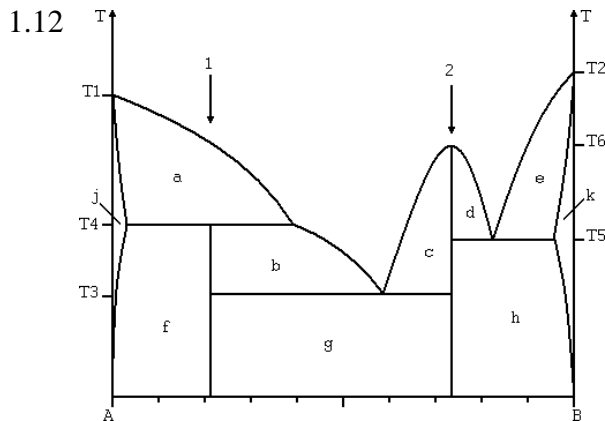
$$d = a_0 (h^2 + k^2 + l^2)^{-\frac{1}{2}}$$

$$d_{111} = \frac{a_0}{\sqrt{3}} = 2,34 \cdot 10^{-19}\text{m} = 0,234\text{ nm}$$

$$d_{200} = \frac{a_0}{2} = 2,035 \cdot 10^{-10}\text{m} = 0,2035\text{ nm}$$

$$2d \sin \theta = \lambda \Rightarrow \frac{\arcsin \lambda}{2d}$$

$$\theta_{111} = 19,21^\circ \quad \theta_{200} = 22,23^\circ$$



Beschreiben Sie obiges Phasendiagramm:

- Um welchen Typ Phasendiagramm handelt es sich?
 - Geben Sie jeweils für die mit a bis k bezeichneten Felder die "Inhalte" an.
 - Erklären Sie die Temperaturen T_1 bis T_6 .
 - Worauf weisen die mit 1 und 2 bezeichneten Pfeile hin? Erklären Sie den Unterschied.
 - Geben Sie die ungefähren Legierungszusammensetzungen bei 1 und 2 und den Eutektika an.
 - Wieviel % von B ist maximal in A löslich, und umgekehrt? Bei welcher Temperatur?
- System mit begrenzter gegenseitiger Löslichkeit mit vollständiger Löslichkeit im flüssigen und vollkommener Unlöslichkeit im festen Zustand.
 - Schmelze + α -Mischkristalle
 - Schmelze + intermetallische Phase 1
 - Schmelze + intermetallische Phase 2
 - Schmelze + intermetallische Phase 2
 - Schmelze + β -Mischkristalle
 - α -Mischkristalle + intermetallische Phase 1 (beide fest)
 - intermetallische Phase 1 + intermetallische Phase 2 (beide fest)

h: intermetallische Phase 2 + β -Mischkristalle (beide fest)

j: α -Mischkristalle (fest)

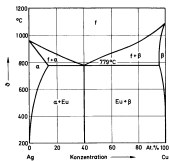
k: β -Mischkristalle (fest)

- (c) T1 = Schmelztemperatur von Stoff A
 T2 = Schmelztemperatur von Stoff B
 T3 = Schmelztemperatur des ersten Eutektikums
 T4 = Schmelztemperatur der intermetallischen Phase 1 (peritektische Temperatur)
 T5 = Schmelztemperatur des zweiten Eutektikums
 T6 = Schmelztemperatur der intermetallischen Phase 2
- (d) Pfeil 1: intermetallische Phase 1, welche sich peritektisch Temperatur bildet.
 Pfeil 2: intermetallische Phase 2, welche sich aus der Schmelze bildet.
- (e) intermetallische Phase 1: $A_{78}B_{22}$
 intermetallische Phase 2: $A_{27}B_{73}$
 erstes Eutektikum: $A_{40}B_{60}$
 zweites Eutektikum: $A_{18}B_{82}$
- (f) Bei T4 sind maximal 2 bis 3 % B in A löslich.
 Bei T5 sind maximal 4 bis 5 % A in B löslich.

1.13 Was bedeutet "vollkommene Löslichkeit im festen Zustand"?

Stoff A und B bilden Mischkristalle, wobei sich A vollkommen im Gitter von Stoff B anordnet und umgekehrt.

1.14 Erklären Sie mit Hilfe einer Skizze den Begriff "Mischungslücke".



1.15 Geben Sie mindestens zwei in der Technik wichtige intermetallische Verbindungen an.

Wurde nicht beantwortet.

1.16 Aus welchen Teilgeschwindigkeiten setzt sich die Gesamtgeschwindigkeit eines Elektrons in einem Metall bei Raumtemperatur und einem außen anliegenden Feld E zusammen?

Aus thermischer Geschwindigkeit v_t , Fermi-Geschwindigkeit v_f und Driftgeschwindigkeit $v_d v_t$.

$$v_d \ll v_f, v_d = 0,5 \text{ mm/s}, v_f \approx 1\% c$$

v_t und v_f sind chaotisch, d.h. nicht gerichtet.

v_d ist entgegen des angelegten Feldes gerichtet.

1.17 Skizzieren Sie qualitativ die Abhängigkeit der Leitfähigkeit σ von der Zusammensetzung bei Legierungen, die

- (a) aus Mischkristallen (lückenlose MK-Reihe),
 (b) aus einem Kristallgemisch (im festen Zustand unlösliches System) bestehen.

- (a) einscannen
 (b) einscannen

- 1.18 Eine Legierung eines Systems aus den Komponenten A und B mit keiner Löslichkeit im festen Zustand hat bei einer Zusammensetzung von $A_{90}B_{10}$ eine Leitfähigkeit $\sigma = 40 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1}$, eine Legierung des gleichen Systems mit der Zusammensetzung $A_{10}B_{90}$ eine Leitfähigkeit von $\sigma = 30 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1}$. Wie groß ist die Leitfähigkeit einer Legierung mit der Zusammensetzung $A_{50}B_{50}$ und die der Einzelkomponenten? (Lösung mit Hilfe einer Skizze und durch Berechnung).

$$\begin{aligned}
 0,9\sigma_A + 0,1\sigma_B &= 40 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1} \\
 0,1\sigma_A + 0,9\sigma_B &= 30 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1} \\
 0,1\sigma_A + 0,9\sigma_B &= 0,75 \cdot (0,9\sigma_A + 0,1\sigma_B) \\
 (0,1 - 0,675) \cdot \sigma_A &= (0,075 - 0,9) \cdot \sigma_B \\
 \sigma_A &= \sigma_B \cdot \frac{0,825}{0,575} \\
 \sigma_A &= 1,435\sigma_B \\
 \sigma_B &= 0,697\sigma_A \\
 0,9\sigma_A + 0,1 \cdot 0,697\sigma_A &= 40 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1} \\
 \sigma_A &= 41,25 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1} \\
 \sigma_B &= 28,75 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1} \\
 0,5\sigma_A + 0,5\sigma_B &= 35 \cdot 10^6 (\Omega\text{m})^{-1}
 \end{aligned}$$

- 1.19 In welcher Größenordnung liegt bei Raumtemperatur der spezifische Widerstand von

- (a) Silber?
- (b) Reinst-Silizium?
- (c) Polystyrol?

Welche Leitungseigenschaften weisen diese drei Stoffe auf?

- (a) Metall: $\delta \approx \mu\Omega\text{cm}$
- (b) Halbleiter: $\delta \approx \Omega\text{cm}$ (um 10^6 schlechter als Metalle)
- (c) Isolator: $\delta \approx \text{M}\Omega\text{cm}$ (um 10^6 schlechter als Halbleiter)

- 1.20 Welche Modifikation des Eisens (Kristallstruktur) ist magnetisch und wie heißt sie? Wie heißt die unmagnetische Modifikation?

α -Eisen ist magnetisch. γ -Eisen ist unmagnetisch.

- 1.21 Wodurch und in welcher Weise wird die Leitfähigkeit von hochreinem Kupfer verändert?

Die Leitfähigkeit von Kupfer ist temperaturabhängig. $T \uparrow \Rightarrow \rho \uparrow \Rightarrow \sigma \downarrow$, $T \downarrow \Rightarrow \rho \downarrow \Rightarrow \sigma \uparrow$.

- 1.22 Welche Gruppe von Kontaktwerkstoffen könnten für Kontakte mit niedrigen Leistungen verwendet werden?

Au, Ag, Ag/Cd, Ag/Ni, Ag, Pd, Rh, Pt, Pt/Ir

- 1.23 Welche Legierungen sollte man bevorzugt wählen für

- (a) Kollektorlamellen?
- (b) Fahrdrähte?

(c) Kontaktfedern?

Durch welche Eigenschaften zeichnen sich diese Legierungen aus, und worauf beruhen diese Eigenschaften?

(a) Cu + 0,2 % Ag, Erweichungstemperatur ist nach Kaltverformung erhöht

(b) Cu + 1,2 % Cd, Höhere Festigkeit

(c) Cu + 1,7 % Be, Aushärtbar

1.24 Was versteht man unter dem "Seebeck"-Effekt und wodurch kommt er zustande?

Die Elektronen fließen im Material vom heißen zum kalten Bereich, da durch die Temperaturdifferenz eine thermische Spannung entsteht. Den Seebeck-Effekt nutzt man bei Thermoelementen aus.

1.25 Nennen Sie zwei besonders wichtige Werkstoff-Kombinationen für Thermoelemente und deren Anwendungsbereich.

Für $T > 1400 \text{ °C}$: Pt-Legierungen, z.B. Platin/Platinrhodium.

Für $T < 700 \text{ °C}$: Konstantan/Kupfer, Konstanten/Eisen

1.26 Was ist bei der Verwendung von Thermoelementen zur Temperaturmessung in bezug auf das Meßergebnis unbedingt zu beachten? Warum?

Die Vergleichstemperatur sollte möglichst konstant sein. Die Spannung ist proportional zum Verhältnis der Messtemperatur zur Vergleichstemperatur: $U \sim \frac{T_M}{T_V}$

1.27 Welche andere Art der elektrischen Temperaturmessung (ohne Thermoelement) ist üblich?

Mit der Widerstandsänderung eines temperaturabhängigen Präzisionswiderstands, z.B. Pt₁₀₀.

1.28 Erklären Sie mit Hilfe der grundlegenden Aussage der Quantenphysik das Entstehen von Energiebändern in Festkörpern.

In einem Festkörper können keine zwei Elektronen in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen. Deswegen hat jedes Atom ein anderes Energieniveau. Da sich die Energieniveaus aller Atome unterscheiden lässt sich der Energiezustand nicht mehr durch diskrete Energieniveaus sondern nur durch Energie-Bänder beschreiben.

1.29 Erklären Sie den Unterschied zwischen Metallen, Halbleitern und Isolatoren im Bändermodell (mit Skizze).

einscannen

Metalle: VB und LB überlappen sich.

Halbleiter: VB und LB liegen mit einer Bandlücke bis zu 3 eV auseinander.

Isolator: Die Bandlücke ist größer als 3 eV.

1.30 Was ist die "verbotene Zone"? Ab welcher "Breite" der verbotenen Zone ist ein Werkstoff ein elektrischer Isolator?

Die Bandlücke zwischen VB und LB ist die "verbotene Zone", diese ist bei Isolatoren größer als 3 eV.

1.31 Was ist ein "Schottky-Defekt", was ein "Frenkel-Defekt"?

Siehe Aufgabe 6.

1.32 Wie misst man die Konzentrationen dieser Fehlorderungen? Was bewirken sie? Wovon sind sie hauptsächlich abhängig?

Man misst den Restwiderstand bei tiefen Temperaturen. Die Fehlorderungen bewirken eine Widerstandserhöhung. Sie sind von der Temperatur unabhängig.

1.33 Was besagt das " T^5 -Gesetz"?

Unter 80 K geht der el. Widerstand ρ mit T^5 gegen Null: $\rho \sim T^5$.

1.34 Worauf ist bei der Auswahl von Werkstoffen für Bimetall-Schalter zu achten? Haupteinsatzgebiet?

Die Werkstoffe des Bimetall-Schalters müssen unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten haben. Einsatzgebiet: Pumpen, Heizungen, Motorschutz, Bügeleisen

1.35 Welche Anforderungen stellt man an Präzisionswiderstände?

Der Widerstand muss sehr exakt und langzeitkonstant sein. $\Delta R \leq 5 \cdot 10^{-3} \Omega$ pro Jahr.

1.36 Was ist "Konstantan"?

Eine Legierung aus 55 % Cu, 44 % Ni und 1 % Mn.

1.37 Um in einem Ofen eine Temperatur über längere Zeit halten zu können, muß das Heizelement bestimmten Anforderungen genügen. Welchen Werkstoff wählen Sie zweckmäßigerweise aus, um 1500 °C sicher halten zu können?

z.B. MoSi_2 oder SiC, siehe Arbeitsblatt 10.

2 Halbleiter

2.1 Nennen Sie die zwei wichtigsten elementaren Halbleiter und einige Verbindungshalbleiter.

Elementare Halbleiter: Silizium Si, Germanium Ge

Verbindungshalbleiter: Galliumarsenid GaAs, Indiumantimonid InSb

2.2 Worin unterscheidet sich ein Halbleitermaterial von einem Isolator? (Bändermodell)

Bei Isolatoren ist die Bandlücke zwischen VB und LB größer als 3 eV.

2.3 Gegen welchen Wert strebt der elektrische Leitwert von

(a) Halbleitern und

(b) metallischen Leitern

bei sehr tiefen Temperaturen?

(a) Halbleiter: Wenn $T \rightarrow 0$, dann $\sigma \rightarrow 0$.

(b) Metalle: Wenn $T \rightarrow 0$, dann $\sigma \rightarrow \infty$.

2.4 Wodurch entsteht bei reinen (undotierten) Halbleitern eine elektrische Leitfähigkeit? Wie nennt man diese Art der Leitfähigkeit?

Die Leitfähigkeit bei reinen Halbleitern entsteht durch Elektronenlochpaarbildung. Diese Leitfähigkeit wird Eigenleitung genannt.

2.5 Wie groß sind die intrinsischen Ladungsträgerkonzentrationen bei Raumtemperatur von Germanium und Silizium?

Germanium: $n_i = 10^{10} \text{cm}^{-3}$. Silizium: $n_i = 10^{13} \text{cm}^{-3}$.

2.6 Wo liegt bei Eigenleitern die Fermienergie? (Bändermodell)

Bei undotierten Halbleitern liegt die Fermi-Energie immer in der Mitte der Bandlücke.

2.7 Wie kann man die Leitfähigkeit von Halbleitern verändern?

Die Leitfähigkeit von Halbleitern hängt von der Temperatur und der Dotierung ab.

2.8 Was bedeutet "n-Dotierung"? Beschreiben Sie diesen Vorgang im Kristallgitter.

n-Dotierung: Wird 4-wertiges Silizium wird mit 5-wertigen Elementen dotiert, werden 4 Elektronen des Dotier-Elements in kovalente Bindungen eingebunden und im Halbleiter entstehen freie Elektronen, weil das Donator-Element für die kovalente Bindung ein Elektron zu viel hat.

p-Dotierung: Wird 4-wertiges Silizium wird mit 3-wertigen Elementen dotiert, werden 3 Elektronen des Dotier-Elements in kovalente Bindungen eingebunden und im Halbleiter entstehen Löcher (Leerstellen), weil das Donator-Element für die kovalente Bindung ein Elektron zu wenig hat.

2.9 Wo liegen im Bändermodell die Energieniveaus der Donatoren und der Akzeptoren?

Das Donatorniveau E_D liegt knapp unterhalb des Leitungsbandes.

Das Akzeptorniveau E_A liegt knapp oberhalb des Valenzbandes.

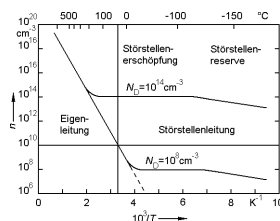
2.10 Erklären Sie die Begriffe "Erschöpfung", "Reserve" und "Eigenleitung". Ordnen Sie diesen eine qualitative Temperaturskala zu.

Reserve	Erschöpfung	Eigenleitung
$n \approx N_D^+ < N_D$	$n \approx N_D^+ = N_D$	$n = p = n_i$
$p \approx N_A^- < N_A$	$p \approx N_A^- = N_A$	

n, p = Konzentration der freien Ladungsträger

N_A, N_D = Konzentration der Dotieratome

N_A^-, N_D^+ = Konzentration der ionisierten Dotieratome



2.11 Bei Raumtemperatur befindet sich normal dotiertes Silizium im Eigenleitungsbereich, Reservbereich oder Erschöpfungsbereich? In welchem Bereich liegt dotiertes Germanium?

Bei Raumtemperatur befindet sich dotiertes Si im Erschöpfungsbereich und dotiertes Ge im Eigenleitungsbereich.

2.12 Was sind "Majoritätsträger"? Welche Beziehung besteht zwischen Minoritäten und Majoritäten?

Majoritäten sind die Ladungsträger die im dotierten HL in der Mehrheit sind.

Minoritäten sind die Ladungsträger die im dotierten HL in der Minderheit sind.

	<i>n</i> -HL	<i>p</i> -HL
Majoritäten	Elektronen	Löcher
Minoritäten	Löcher	Elektronen

2.13 Wo liegt für dotierte Halbleiter das Fermi-niveau, bei

- (a) "tiefen" Temperaturen?
- (b) "hohen" Temperaturen?
- (a) Bei *n*-HL liegt das Fermi-niveau zwischen LB und Bandlückenmitte.
Bei *p*-HL liegt das Fermi-niveau zwischen VB und Bandlückenmitte.
- (b) Bei „hohen“ Temperaturen liegt das Fermi-niveau in Mitte der Bandlücke (Eigenleitung).

2.14 Was ist ein "Störstellenhalbleiter"?

Ein dotierter Halbleiter ist ein Störstellenhalbleiter.

2.15 Geben Sie die Temperaturabhängigkeiten an (Formeln), von

- (a) Ladungsträgerbeweglichkeit μ
- (b) Leitfähigkeit σ
- (c) Intrinsischer Ladungsträgerkonzentration n_i

(a) $\mu = \frac{v_D}{E}$

(b) $\sigma = |e| n_i (\mu_n + \mu_p)$

(c) $n_i \sim T^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g}{2k_B T}}$

2.16 Wie lautet die "Neutralitätsbedingung" (Formel)?

$$n_i + N_A^- = p + N_D^+$$

2.17 Die "effektive Masse", m^* , der Elektronen ist an der Unterkante des Leitungsbandes

- (a) > 0 (positiv)?
- (b) < 0 (negativ)?

Die „effektive Masse“ ist an der Unterkante des LB positiv: $m^* > 0$

2.18 Die Gleichgewichtskonzentration der Elektronen in einem undotierten Siliziumkristall beträgt bei Raumtemperatur ($T = 300$ K) ungefähr $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$. Wie groß ist sie bei $T = 500$ K?

$$n_i \sim T^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{E_g}{2k_B T}} \Rightarrow \frac{n_{i,500}}{n_{i,300}} = \left(\frac{500}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{E_g}{2k_B} \cdot \left(\frac{1}{500\text{K}} - \frac{1}{300\text{K}}\right)}$$

$$n_{i,500} = 10^{10} \text{ cm}^{-3} \cdot 2,152 \cdot e^{8,502} = 1,06 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

2.19 Gegeben ist ein *n*-dotierter Siliziumkristall mit $N_D = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Die Breite der verbotenen Zone ist $\Delta E = 1,1$ eV und $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$. Bei $T = 300$ K soll Erschöpfung vorliegen.

- (a) Wie groß ist n , wie groß ist p ?
- (b) Wie ist (a) zu beantworten bei $T = 700$ K?

(c) Wie ist (a) zu beantworten bei einer Dotierung mit $N_D = 10^{14} \text{cm}^{-3}$ und $N_A = 10^{12} \text{cm}^{-3}$?

(a)

$$\text{Erschöpfung: } n = N_D^+ = N_D = 10^{14} \text{cm}^{-3}$$

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{(10^{10} \text{cm}^{-3})^2}{10^{14} \text{cm}^{-3}} = \frac{10^{20}}{10^{14}} \text{cm}^{-3} = 10^6 \text{cm}^{-3}$$

(b)

$$n_{i,700} = 10^{10} \text{cm}^{-3} \cdot \left(\frac{700}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{E_g}{2k_B} \cdot \left(\frac{1}{700\text{K}} - \frac{1}{300\text{K}}\right)} = 6,67 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$$

$$n_{i,700} > N_D, \text{ also Eigenleitung } n = p = n_{i,700}$$

(c)

$$\text{Neutralitätsbedingung: } n + N_A^- = p + N_D^+ \Rightarrow n - p = N_D^+ - N_A^-$$

$$\text{Erschöpfung: } n = N_D^+ = N_D \quad \text{und} \quad p = N_A^- = N_A$$

$$\text{weiter gilt: } p = \frac{n_i^2}{n}$$

$$n - \frac{n_i^2}{n} = N_D - N_A$$

$$n^2 - n(N_D - N_A) - n_i^2 = 0$$

$$n = \frac{N_D - N_A}{2} + \sqrt{\left(\frac{N_D - N_A}{2}\right)^2 + n_i^2}$$

$$n = \frac{10^{14} \text{cm}^{-3} - 10^{12} \text{cm}^{-3}}{2} + \sqrt{\left(\frac{10^{14} \text{cm}^{-3} - 10^{12} \text{cm}^{-3}}{2}\right)^2 + (10^{10} \text{cm}^{-3})^2}$$

$$n = 4,95 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3} + 4,950000101 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3}$$

$$n \approx 9,9 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3}$$

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{(10^{10} \text{cm}^{-3})^2}{9,9 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3}} = 1,01 \cdot 10^6 \text{cm}^{-3}$$

Die Zahl der freien Ladungsträger bleibt also nahezu konstant.

2.20 Gegeben ist ein undotierter Germaniumkristall mit einer Breite der verbotenen Zone von $\Delta E = 0,67 \text{eV}$ und einer Gleichgewichtskonzentration von $n_i = 2,5 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3}$ bei $T = 300 \text{K}$. Die Leitfähigkeit betrage $\sigma_{300} = 2,1 \cdot 10^{-2} (\Omega \text{cm})^{-1}$.

(a) Wie groß ist $n_{i,400}$?

(b) Wie groß ist σ_{400} ?

(c) Wie groß ist das Verhältnis μ_{400}/μ_{300} ?

(a)

$$n_i \sim T^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{E_g}{2k_B T}} \Rightarrow \frac{n_{i,400}}{n_{i,300}} = \left(\frac{400}{300}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{E_g}{2k_B} \cdot \left(\frac{1}{400\text{K}} - \frac{1}{300\text{K}}\right)}$$

$$n_{i,400} = 2,5 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3} \cdot 1,54 \cdot 25,45 = 9,8 \cdot 10^{14} \text{cm}^{-3} \approx 10^{15} \text{cm}^{-3}$$

(b)

$$\sigma \sim e^{-\frac{E_g}{2k_B T}} \Rightarrow \sigma_{400} = \sigma_{300} \cdot e^{-\frac{E_g}{2k_B} \cdot \left(\frac{1}{400\text{K}} - \frac{1}{300\text{K}}\right)}$$

$$\sigma_{400} = 2,1 \cdot 10^{-2} (\Omega\text{cm})^{-1} \cdot 25,45 = 53,45 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\Omega\text{cm}}$$

(c)

$$\mu \sim T^{-\frac{3}{2}} \Rightarrow \frac{\mu_{400}}{\mu_{300}} = \left(\frac{400}{300}\right)^{-\frac{3}{2}} = 0,649$$

2.21 An einem Siliziumplättchen der Länge $l = 2\text{ cm}$ und des Querschnitts $A = 1\text{ cm}^2$ mit einer Dotierung von 10^{15} Antimon Atomen (Sb = Stibium = Antimon) wurde ein Widerstand von $R = 10\Omega$ gemessen. ($T = 300\text{ K}$, ideale Kontakte)

(a) Ist das Plättchen n-dotiert oder p-dotiert

(b) Wie groß ist die Beweglichkeit der für den Stromtransport verantwortlichen Ladungsträger?

(a) Antimon (Sb) ist 5-wertig, also n-Dotierung.

(b)

$$R = \frac{l}{\sigma \cdot A} \Rightarrow \sigma = \frac{l}{R \cdot A} = \frac{2\text{ cm}}{10\Omega \cdot 1\text{ cm}^2} = 0,2 \frac{1}{\Omega\text{cm}}$$

$$\sigma = e \cdot n \cdot \mu \Rightarrow \mu = \frac{\sigma}{e \cdot n} \quad \text{Erschöpfung: } n = N_D$$

$$\mu = \frac{0,2\text{ cm}^3}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{ As} \cdot 10^{15}\Omega\text{cm}} = 1250 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$$

2.22 Was ist der Hall-Effekt? Wie entsteht er?

2.23 Die Annahme, daß sich die positiv geladenen Löcher wie freie Ladungsträger verhalten, wird durch das Hall-Experiment bestätigt. Erläutern Sie dies mit Hilfe einer Skizze sowohl für einen n-Halbleiter und für einen p-Halbleiter.

2.24 Gegeben ist eine n-leitende Germaniumprobe mit den Abmessungen $l_x = 0,25\text{ cm}$, $l_y = 1\text{ cm}$ und $l_z = 0,1\text{ cm}$. In z -Richtung wirkt eine Induktion von $B_z = 0,5\text{ Vs/cm}^2$. In y -Richtung fließt ein Strom von $I_y = 0,16\text{ A}$ durch die Probe. An dieser Anordnung mißt man eine Hallspannung von $U_H = 0,1\text{ V}$.

(a) Fertigen Sie zunächst eine Skizze der Anordnung an und tragen Sie in diese die Polarität der Hallspannung ein.

(b) Berechnen Sie die Größe der Hall-Konstanten und die Ladungsträgerdichten.

(c) Wie verändern sich die Zahlenwerte der sich einstellenden Hallspannung U_H und der unter (b) berechneten, wenn I_y auf 5 cm verlängert wird?(d) Wie ist (c) zu beantworten für eine Änderung von l_z auf $0,5\text{ cm}$?

(a) einscannen

(b)

$$j = \frac{I}{A} = \frac{I_y}{l_x \cdot l_y} = \frac{0,16 \text{ A}}{0,25 \text{ cm} \cdot 0,1 \text{ cm}} = 6,4 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$$

$$U_H = R_H \cdot j \cdot b \cdot B \Rightarrow R_H = \frac{U_H}{j \cdot l_x \cdot B}$$

$$R_H = \frac{0,1 \text{ V}}{6,4 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2} \cdot 0,25 \text{ cm} \cdot 0,5 \frac{\text{Vs}}{\text{cm}^2}} = 0,125 \frac{\text{cm}^3}{\text{As}}$$

$$R_H = \frac{1}{e \cdot n} \Rightarrow n = \frac{1}{e \cdot R_H} = 5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

(c) Die Zahlenwerte ändern sich nicht, da sie unabhängig von I_y sind.

(d)

$$j = \frac{I}{l_x \cdot l_z} = \frac{0,16 \text{ A}}{0,25 \text{ cm} \cdot 0,5 \text{ cm}} = 1,28 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$$

Dotierung und Hall-Konstante ändern sich nicht, also gilt $U_H \sim j$:

$$j_{0,5} = \frac{1}{5} \cdot j_{0,1} \Rightarrow U_H = \frac{1}{5} \cdot 0,1 \text{ V} = 0,02 \text{ V}$$

2.25 Wie entsteht die "Raumladungszone"? Warum hat sie im thermischen Gleichgewicht nur eine endliche Breite? Wie kann man diese Breite verändern?

Die RLZ entsteht durch Diffusion der negativen / positiven Ladungsträger in das p-Gebiet / n-Gebiet. Zwischen den Raumladungen entsteht im Inneren des Kristalls ein elektrisches Feld, das so gerichtet ist, daß es der weiteren Diffusion von beweglichen Ladungsträgern entgegen wirkt. Die Breite der RLZ ist temperaturabhängig. Die Breite der RLZ lässt sich gezielt über eine von außen angelegte Spannung verändern. Legt man eine vom p-Gebiet zum n-Gebiet gerichtete Spannung an, so wird die RLZ breiter, kehrt man die Spannung um, so wird die RLZ schmaler.

2.26 Wodurch entstehen beim p-n-Übergang die Bandverbiegungen? Was ist die Diffusionsspannung U_D ?

Die Elektronenenergieniveaus im p-Halbleiter liegen höher als die im n-Halbleiter. Dadurch können bewegliche Ladungsträger nicht mehr in den jeweils anderen Bereich gelangen. Die Diffusionsspannung wird durch das Diffusionsfeld der Ladungen in der RLZ erzeugt. Legt man von außen eine der Diffusionsspannung entgegengesetzte Spannung an, so wird der p-n-Übergang leitend.

2.27 Worin besteht der Unterschied zwischen einer Vierschichtdiode und einem Thyristor? Was ist die "Nullkippspannung"?

Vom Aufbau her entspricht ein Thyristor der Vierschichtdiode, doch im Unterschied zur Vierschichtdiode wird der Thyristor über einen Gate-Anschluß gesteuert. Die Nullkippspannung, ist die Spannung, bei der der Thyristor bei in Vorwärtsrichtung angelegter Spannung in den leitenden Zustand kippt, ohne daß ein Zündimpuls am Gate liegt (offenes Gate). Die Nullkippspannung sollte immer erheblich größer sein als die Betriebsspannung.

2.28 Wie müssen bei einem Transistor die beiden p-n-Übergänge gepolt sein? Warum kann man mit zwei Dioden keinen Transistoreffekt erzielen? Wie groß ist ungefähr das Verhältnis zwischen Basisstrom und Kollektorstrom? Wie nennt man dieses Verhältnis?

Bei einem bipolaren Transistor muss die Basis-Emitter-Diode in Durchlassrichtung und die Basis-Collector-Diode in Sperrichtung geschaltet sein. Man kann mit zwei Dioden keinen Transistoreffekt erzeugen, weil die Basis-zone sehr schmal sein muss. $\frac{I_B}{I_C} = \frac{1}{100}$

2.29 Eine Fotodiode wird betrieben, in

- (a) Sperrrichtung
- (b) Durchlassrichtung?

Eine Fotodiode wird in Sperrrichtung betrieben.

2.30 Eine Leuchtdiode wird betrieben, in

- (a) Sperrrichtung
- (b) Durchlassrichtung?

Eine Leuchtdiode wird in Durchlassrichtung betrieben.

2.31 Eine Zenerdiode wird betrieben, in

- (a) Sperrrichtung
- (b) Durchlassrichtung

Eine Zener-Diode wird in Sperrrichtung betrieben.

2.32 Welche Leuchtdiode hat den besten Wirkungsgrad?

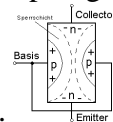
Die Infrarot-Leuchtdiode.

2.33 Was ist ein Opto-Koppler? Wie funktioniert er?

Der Optokoppler besteht aus einem Lichtsender und -empfänger. Als Lichtsender werden Leuchtdioden verwendet, die Infrarot-Licht oder rotes Licht abstrahlen. Als Lichtempfänger werden Fotodioden, Fototransistoren, Fotothyristoren, Fototriacs, Foto-Schmitt-

Trigger und Fotodarlingtontransistoren verwendet. Vorteil: Sender- und Empfänger-

stromkreis sind galvanisch getrennt.



2.34 Wozu werden NTCs und PTCs hauptsächlich benutzt?

Zur Temperaturkompensation, Temperaturmessung.

2.35 Erklären Sie das Funktionsprinzip eines n-Kanal-Junction-FETs.

Der Stromfluß durch den n-Kanal wird mit der Vorspannung an der Steuerelektrode (Gate) gesteuert. Erhöht man die negative Gate-Spannung, so dehnt sich die Sperrschicht (Raumladungszone) aus. Der Strom durch den n-Kanal wird geringer. Das Verändern der Sperrschichtbreite erfordert so gut wie keine Leistung. Der Strom durch den Kanal wird also leistungslos gesteuert. Es fließt nur ein kleiner Sperrstrom, der sich wegen der Eigenleitfähigkeit von Halbleiterkristallen nicht verhindern lässt.

2.36 Welchen Effekt nutzt man bei einer Feldplatte aus? Wie entsteht die Widerstandsänderung?

Der Hall-Effekt wird ausgenutzt. Durch ein Magnetfeld werden die Ladungsträger abgelenkt. Diese werden umso stärker abgelenkt, je größer die magnetische Flußstärke B ist. Durch die steigende Flußdichte B wird der Weg der Ladungsträger länger. Diese Wegverlängerung führt zur Erhöhung des Widerstandes der Feldplatte.

2.37 Was ist ein Peltier-Element? Erklären Sie die Funktionsweise.

Der Peltier-Effekt ist sozusagen eine Umkehrung des Seebeck-Effektes: Während der Seebeck-Effekt dazu genutzt wird, den zwischen zwei Metallplatten auftretenden Thermoelektrischen Strom zu messen, womit man die Temperatur ermitteln kann, wird der Peltier-Effekt dazu genutzt diesen Strom vorzugeben, wodurch die eine Metallplatte kälter, die andere wärmer wird.

2.38 Skizzieren Sie den prinzipiellen Aufbau einer LCD.

einscannen, ist aber nicht klausurrelevant.

2.39 Wie groß ist ungefähr die Basis-Emitter-Spannung, U_{BE} , eines

(a) npn-Silizium-Transistors

(b) pnp-Silizium-Transistors?

(a) $U_{BE} = -0,7 \text{ V}$

(b) $U_{BE} = +0,7 \text{ V}$

3 Dielektrika

3.1 In welcher Größenordnung liegt die elektrische Leitfähigkeit von dielektrischen Werkstoffen?

$$\rho = 10^{10} \Omega \text{cm}, \sigma = 10^{-10} (\Omega \text{cm})^{-1}$$

3.2 Warum nimmt beim Plattenkondensator die Ladung zu, wenn man bei konstanter äußerer Spannung U , einen dielektrischen, Werkstoff zwischen die Platten bringt?

Unter dem Einfluss des elektrischen Feldes zwischen den Kondensatorplatten wird das Dielektrikum polarisiert, d.h. die Molekulardipole des Dielektrikums richten sich im Feld aus.

3.3 Wie ist der Verlustfaktor $\tan \delta$ bei einem komplexen Dielektrikum definiert?

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'}$$

3.4 Welcher Zusammenhang (Formel) besteht zwischen ϵ_r , ϵ_r' , ϵ_r'' ?

$$\underline{\epsilon}_r = \epsilon_r' - \mathbf{j} \cdot \epsilon_r''$$

3.5 Was verstehen Sie unter der Durchschlagsfestigkeit E_D von Kondensatoren?

Die Durchschlagfestigkeit E_D ist die Feldstärke, bei der es zum Durchschlag (Lichtbogen) im Kondensator kommt.

3.6 In welcher Größenordnung liegt E_D bei Keramik-Kondensatoren?

$$E_D = 10^7 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

3.7 Erklären Sie den Prozeß der "Selbsteilung".

Wenn der Kondensator durchschlägt, gibt es kurzzeitig einen Lichtbogen. Auf beiden Seiten verdampft dann die Metallfolie an den betroffenen Stellen und der Lichtbogen bricht ab. Die Kapazität wird dadurch nur minimal beeinträchtigt.

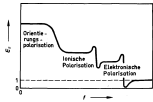
3.8 Geben Sie die drei wichtigsten Polarisationsmechanismen an.

1. Orientierungspolarisation (Relaxation)
2. Ionische Polarisation (Resonanz)
3. Elektronische Polarisation (Resonanz)

Die Gesamtsuszeptibilität ist die Summe der verschiedenen Polarisationsanteile:

$$K = K_O + K_I + K_E$$

3.9 Skizzieren Sie qualitativ die Frequenzabhängigkeit der relativen Dielektrizitätszahl ϵ_r .



3.10 Erklären Sie die Begriffe Relaxation und Resonanz.

Relaxation ist die Zeit, die die Dipole brauchen um sich auszurichten bzw. um wieder in den chaotischen Zustand zurückzukehren.

Resonanz tritt auf, wenn das äußere Wechselfeld mit der Eigenfrequenz ω_0 der Moleküle betrieben wird.

3.11 Wie entsteht Piezzo-Elektrizität?

Wenn durch mechanische Verformung im Material Dipole erzeugt werden. Dies geht nur mit Kristallen, die keinen Symmetriemittelpunkt haben.

3.12 Wie ist ein Elektrolyt-Kondensator aufgebaut?

Ein Elektrolyt-Kondensator ist ein mit Elektrolyt gefüllter Aluminium-Wickel. Die hohe Kapazität des Elkos entsteht durch die große Fläche. Die Al_2O_3 -Schicht bildet das Dielektrikum.

3.13 Warum darf man Elkos nur bis zu einer Spannung von $U \approx 2 \text{ V}$ "falschpolen"?

Weil sich bei zu hoher Spannung Isolierschicht (Al_2O_3) abbaut.

3.14 In welcher Größenordnung liegt ϵ_r bei

- (a) Keramik-Kondensatoren und
- (b) Elkos?

- (a) $\epsilon_r = 500$ bei Keramik-Kondensatoren.
- (b) ϵ_r beträgt bei Elkos 7 bis 8.

3.15 Gegeben sei ein Plattenkondensator mit einer Plattenfläche von $A = 1 \text{ cm}^2$, einem Plattenabstand von $d = 0,5 \text{ cm}$ und einer Kapazität von $C = 70,80 \text{ pF}$. Wie groß ist ϵ_r ? Welche Werkstoffgruppe kommt als Dielektrikum in Betracht?

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r A}{d} \Rightarrow \epsilon_r = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A} = \frac{70,80 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{V}} \cdot 0,5 \text{ cm}}{8,85 \cdot 10^{-14} \frac{\text{As}}{\text{Vcm}} \cdot 1 \text{ cm}^2} = 400$$

3.16 Welche Ladung ist in einem Kondensator nach Aufgabe 15 gespeichert, wenn die äußere Spannung $U = 15 \text{ V}$ beträgt?

$$Q = C \cdot U = 70,80 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{V}} \cdot 15 \text{ V} = 1,06 \cdot 10^{-9} \text{ As}$$

3.17 ε_r' betrage 200, ε_r'' sei 0,4. Wie groß ist

- (a) der Verlustfaktor $\tan \delta$ und
 (b) der Winkel zwischen dem Gesamtstrom I und dem ohmschen Stromanteil I_V ?

(a)

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} = \frac{0,4}{200} = 0,002 \text{ (fast verlustfrei)}$$

(b)

$$\begin{aligned} \delta &= \arctan 0,002 = 0,115^\circ \\ \Rightarrow \sphericalangle (I, I_V) &= 90^\circ - 0,115^\circ = 89,885^\circ \end{aligned}$$

3.18 Die Dielektrische Verschiebungsdichte sei $D = 66,38 \cdot 10^{-9} \frac{\text{As}}{\text{cm}^2}$, ε_r sei 300. Der Plattenabstand betrage 0,1 cm, die Plattenfläche $A = 2 \text{ cm}^2$. Welche äußere Spannung muß dafür am Kondensator anliegen? Wie groß ist die Kapazität und die Ladungsmenge?

$$D = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot E \Rightarrow E = \frac{D}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} = \frac{66,38 \cdot 10^{-9} \frac{\text{As}}{\text{cm}^2}}{8,85 \cdot 10^{-14} \frac{\text{As}}{\text{Vcm}} \cdot 300} = 2500 \frac{\text{V}}{\text{cm}}$$

$$E = \frac{U}{D} \Rightarrow U = E \cdot d = 2500 \frac{\text{V}}{\text{cm}} \cdot 0,1 \text{ cm} = 250 \text{ V}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d} = \frac{8,85 \cdot 10^{-14} \frac{\text{As}}{\text{Vcm}} \cdot 300 \cdot 2 \text{ cm}^2}{0,1 \text{ cm}} = 531 \text{ pF}$$

$$Q = C \cdot U = 531 \text{ pF} \cdot 250 \text{ V} = 133 \cdot 10^{-9} \text{ As}$$

4 Magnetika

- 4.1 Wodurch unterscheiden sich diamagnetische und paramagnetische Werkstoffe?
- 4.2 Geben Sie für diese beiden Werkstoffgruppen qualitativ die Größe von μ_r und κ an.
- 4.3 Wodurch unterscheiden sich paramagnetische und ferromagnetische Werkstoffe?
- 4.4 Welche drei Elemente zeigen bei Raumtemperatur ferromagnetisches Verhalten?
- 4.5 Welche Elemente kommen für ferromagnetisches Verhalten prinzipiell in Frage?
- 4.6 Warum sind Chrom, Cr, und Mangan, Mn, nicht ferromagnetisch, obwohl sie atomar über jeweils fünf unkompenzierte Spins verfügen?
- 4.7 Wie ist der Verlustfaktor $\tan \delta$ bei einer komplexen Permeabilitätszahl definiert?
- 4.8 Welcher Zusammenhang (Formel) besteht zwischen μ_r , μ_r' und μ_r'' ?
- 4.9 Aus welchen beiden Beiträgen setzt sich das magnetische Moment eines Werkstoffes zusammen?
- 4.10 Was besagt die Hund'sche Regel?
- 4.11 Benennen Sie die drei möglichen Arten der Kopplung von magnetischen Momenten.
- 4.12 Was ist eine Blochwand? Wozu dient sie?

- 4.13 Warum haften Blochwände bevorzugt an unmagnetischen Einschlüssen im Material?
- 4.14 Was sind Barkhausen-Sprünge?
- 4.15 Skizzieren Sie qualitativ die Neukurve $M = f(H)$ eines ferromagnetischen Werkstoffes. Ordnen Sie dieser Kurve die Begriffe "reversible Wandverschiebung", "irreversible Wandverschiebung" und "Drehprozeß" zu.
- 4.16 Was verstehen Sie unter "reversibler Permeabilität"?
- 4.17 Skizzieren Sie qualitativ die Entmagnetisierungskurve $M = f(H)$ (nur 2. Quadrant) eines ferromagnetischen Werkstoffes. Ordnen Sie dieser die Begriffe "Sättigungsmagnetisierung", M_S , "Remanenz", M_R , und Koerzitivfeldstärke, H_C , zu. Erklären Sie diese Begriffe.
- 4.18 Zeichnen Sie in die Skizze nach Aufgabe 17 qualitativ eine Entmagnetisierungsgerade ein. Woher kommt der entmagnetisierende Beitrag - N M?
- 4.19 Ein ferromagnetischer Werkstoff wurde in einem Eisenjoch bis zur Sättigung aufmagnetisiert. Danach wurde das Feld abgeschaltet. Wo, in der Skizze nach Aufgabe 17 und 18 befindet sich der Werkstoff dann
- (a) noch im Joch eingebaut,
 - (b) außerhalb des Jochs und
 - (c) nach Entnahme wieder im Joch eingebaut ?
- (a)
- 4.20 Der Körper nach Aufgabe 19 wurde im Joch, ausgehend von M_S , bis zur Koerzitivfeldstärke entmagnetisiert, dann aus dem Joch entfernt. Wo in der Skizze nach Aufgabe 17/18 befindet sich der Werkstoff dann?
- 4.21 Welche beiden Möglichkeiten gibt es einen dauermagnetischen Werkstoff vollständig zu entmagnetisieren?
- 4.22 Nennen Sie drei wichtige Dauermagnetmaterialien.