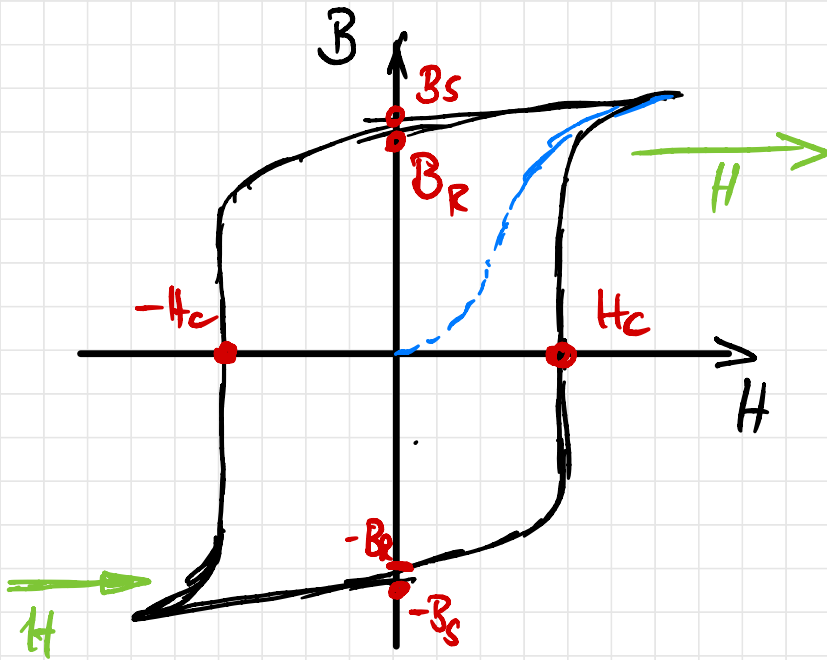


1

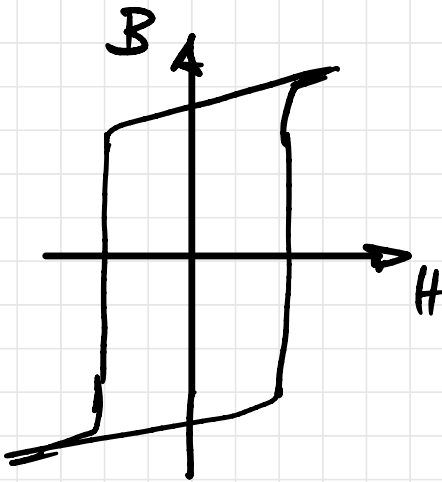


- **Remanenzinduktion B_R** :
 - existierende Induktion, die nach "Verschwinden" des Magnetfeldes erhalten bleibt.
- **Sättigungsinduktion B_s** :
 - Extrapolation der bei hohen Feldstärken gemessenen Induktionswerte

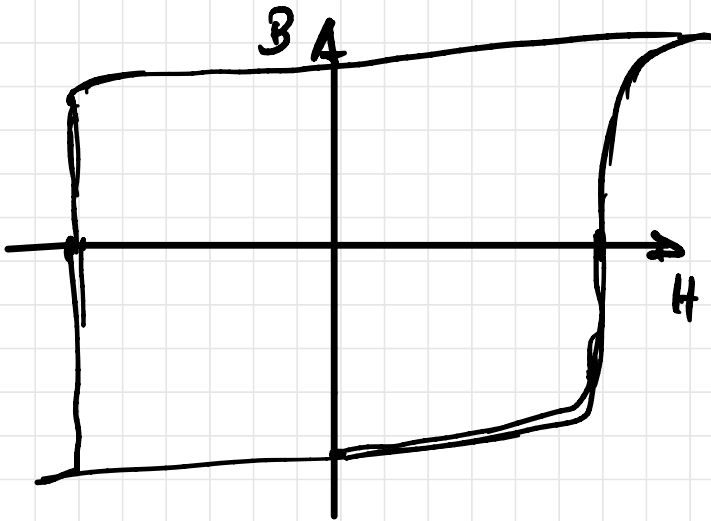
- Koerzitivfeldstärke H_c

Feldstärke die notwendig ist,
um eine vorher existierende
Induktion zum "Verschwinden"
zu bringen.

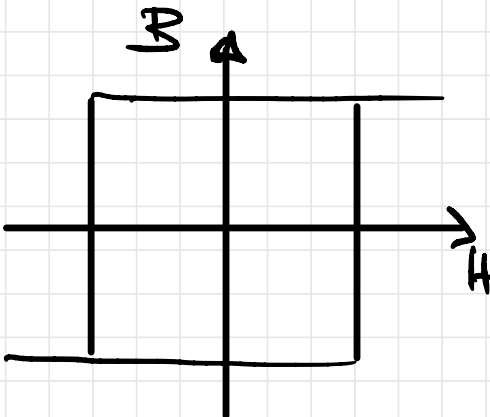
②



weichmagnetischer
Stoff: kleine
Koerzitivfeldstärke
 $H_c < 10 \text{ A/cm}$

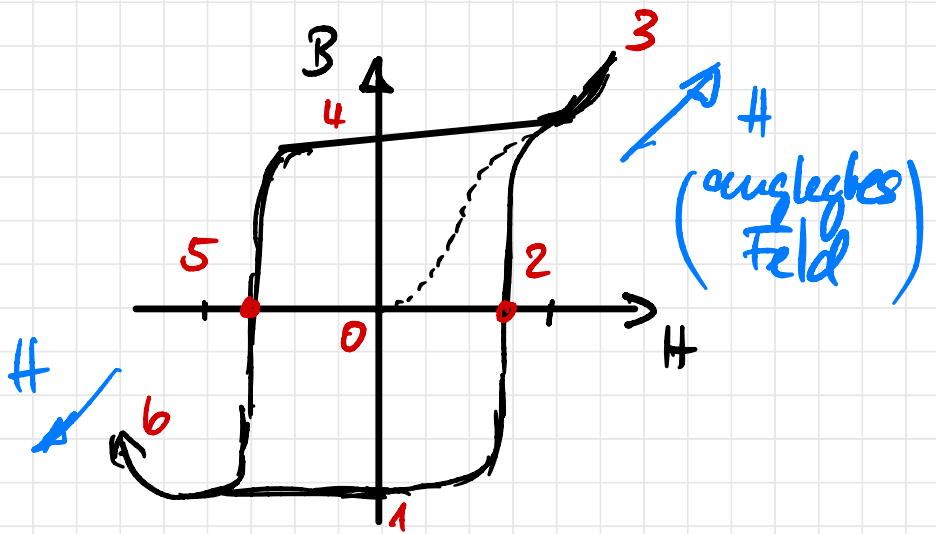


hartmagn.
Stoff: große
Koerzitivfeld-
stärke
 $H_c > 100 \text{ A/cm}$



Werkstoffe für
magn. Speicher
Rechteck-Hyst.
 $B_R \approx B_S$

3



4



$2/5$



3



$5/2$



1



6

(4)

9

$$M = n \cdot g \cdot \mu_B \cdot J \cdot B(x)$$

Brillouin-Fkt.:

$$B(x) = \frac{2J+1}{2J} \cdot \coth\left[\frac{(2J+1)x}{2J}\right] - \frac{1}{2J} \cdot \coth\left[\frac{x}{2J}\right]$$

$$x = g \cdot \mu_B \cdot J \cdot B \cdot \frac{1}{k_B T} \leftarrow \begin{array}{l} \text{in Brillouin-Fkt.} \\ \text{einsetzen} \end{array}$$

ergibt:

$$M = n \cdot g \cdot \mu_B \cdot J \cdot \left[\frac{(2J+1)}{2J} \cdot \coth\left[\frac{(2J+1)}{2J} \cdot \frac{g \cdot \mu_B J B}{k_B T}\right] - \frac{1}{2J} \cdot \coth\left[\frac{g \cdot \mu_B J B}{2J \cdot k_B T}\right] \right]$$

$$\text{mit } J = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow M = n \cdot g \cdot \mu_B \cdot J \cdot [2 \cdot \coth(2x) - \coth(x)]$$

Hochtemperaturlimit: $x \ll 1$, $g \mu_B \gamma B \ll k_B T$

$$\coth(x) \approx \frac{1}{x} + \frac{x}{3} - \frac{x^3}{45} + \dots \quad \text{Taylor-Reihe}$$

→ Terme ignorieren

$$M = n \cdot g \cdot \mu_B \cdot \gamma \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{1}{2x} + \frac{2x}{3} \right) - \frac{1}{x} - \frac{x}{3} \right]$$

$$= n \cdot g \cdot \mu_B \cdot \gamma \cdot \left[\frac{2}{\cancel{2x}} + \frac{4x}{3} - \frac{1}{x} - \frac{x}{3} \right]$$

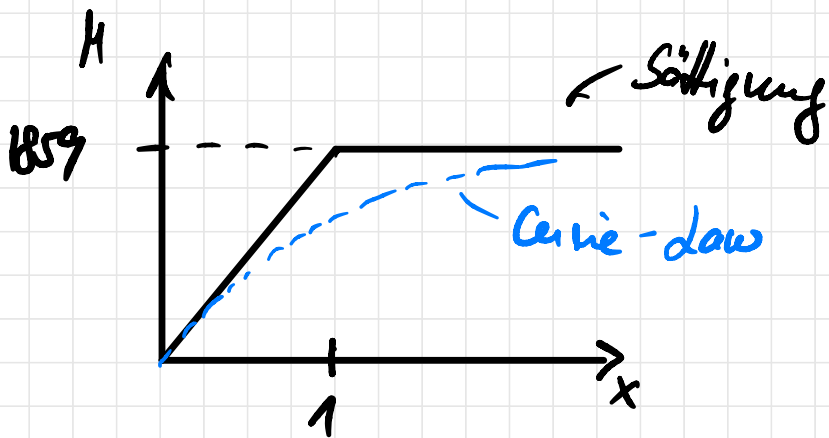
$$= n \cdot g \cdot \mu_B \cdot \gamma \cdot \frac{2}{3} x = n \cdot g \cdot \mu_B \cdot \gamma \cdot x$$

$$= C \cdot \frac{S_{\text{Au}}}{M_{\text{Au}}} \cdot g \cdot \mu_B \cdot \gamma \cdot x = 1859 x \text{ K/W}$$

Tiefenemperaturlimit: $x \gg 1$, $g \mu_B \gamma B \gg k_B T$

$$\coth(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}} \Rightarrow \coth(x) \approx 1$$

$$\Rightarrow M_{\text{Sat}} = n \cdot g \cdot \mu_B \cdot \gamma = 1859 \text{ K/W}$$



b

$$\frac{\Delta M}{M} = \frac{|M_{\text{Curie}} - M|}{M_{\text{Curie}}} = 0,01 \text{ (1\%)}$$

$$2 \coth(2x) - \coth(x) = \cancel{\frac{2}{2x}} + \frac{4x}{3} - \frac{25x^3}{45} \cdot \cancel{\frac{1}{x}} - \frac{x}{3}$$

$$+ \frac{x^4}{45}$$

$$= x - \frac{31}{45}x^3$$

$$\frac{\Delta M}{M} = \frac{\cancel{x} - \cancel{x} + \frac{31}{45}x^3}{x} \quad \left[\frac{x_1 - x_2}{x_1} = \frac{31}{45}x^2 \right]$$

$$= \frac{31}{45}x^2$$

$$T_{\text{min}} = \frac{g \cdot \mu_B \cdot B}{k_B} \cdot \left[\frac{31}{45} \cdot \frac{1}{0,01} \right]^{1/3}$$

$$= 94 \text{ mK}$$

⑤ Die Fermi-Energie ist der Grenzwert des chem. Potentials für 0K.

Häufig wird auch für höhere Temperaturen der Begriff Fermi-Energie an Stelle des chem. Potentials verwendet, da die Temperaturabhängigkeit bei Raumtemperatur (RT) nicht sehr stark ausgeprägt ist.

Physikalische Interpretation des chem. Potentials ist hierbei analog (Wendepunkt der Fermi-Verteilung)
→ die Energie die notwendig ist, um ein Elektron aus dem Festkörper zu entfernen.

$$\left[f(\epsilon) = \frac{1}{\exp\left(\frac{\epsilon - \mu}{k_B T}\right) + 1} \right]$$

⑥ Bereits in Übung 1, Aufgabe 8
abgearbeitet.

⑦

Fall optischer Anregung:

$$c = h \cdot \nu, \quad E_g = h \cdot \nu$$

$$\Rightarrow \nu = E_g / h$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{c \cdot h}{E_g} = \frac{2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}}{E_g}$$

$$\text{Si} (E_g = 1,12 \text{ eV}) \Rightarrow \lambda = 1107 \text{ nm}$$

(infrarot)

$$\text{Ge} (E_g = 0,6 \text{ eV}) \Rightarrow \lambda = 1879 \text{ nm}$$

(infrarot)

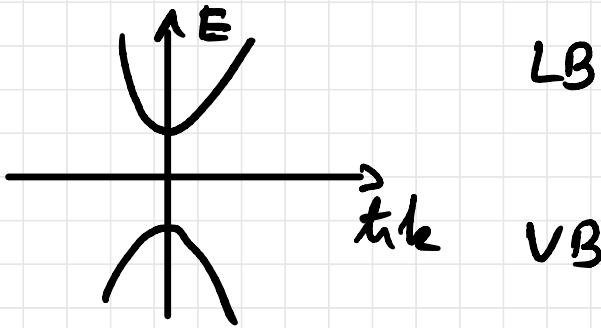
$$\text{GaAs} (E_g = 1,424 \text{ eV}) \Rightarrow \lambda = 870 \text{ nm}$$

(nahes infrarot)

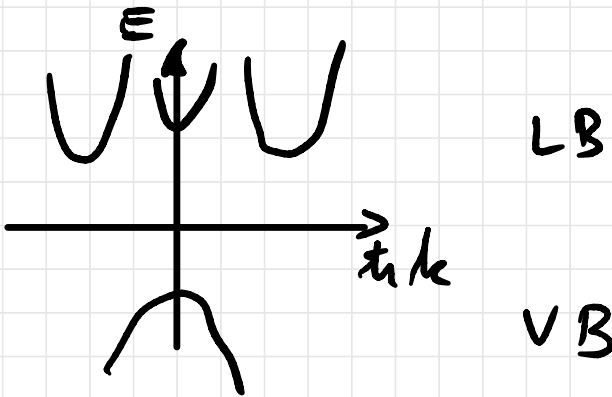
8

- in **direkten** HL liegt das Leitungsband minima in k -Raum über dem Valenzbandmaxima
- in **indirekten** HL liegt das Leitungsband minima in k -Raum nicht unmittelbar über dem Valenzbandmaxima. In diesem Fall haben wir es, bedingt durch Symmetrieeigenschaften der HL-Struktur stets mit mehreren gleichartigen Minima zu tun.

(vereinfachte Darstellung)



direkter HL



indirekter HL

Praktische Anwendung:

direkte HL bieten schnelle Rekombination und damit eine effiziente Strahlungsausbeute (Gats)

9

Effektive Zustandsdichte für Silizium @ 300k (RT) :

$$N_c = 2 \cdot \nu_c \cdot \left(\frac{m_c \cdot k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2}$$

c = carrier

N_c

$$= 2 \cdot \nu_c \cdot \left(\frac{m_c}{m_0} \right)^{3/2} \cdot \left(\frac{T}{300k} \right)^{3/2} \cdot \left(\frac{m_0 k_B 300k}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2}$$

6 Leitungsbandminima
↳ indirekter HL

$$N_c = 2 \cdot 6 \cdot (0,32)^{3/2} \cdot \left(\frac{T}{300k} \right)^{3/2} \cdot$$

$$\left(\frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 0,0259 \text{ eV}}{2\pi (1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ Js})^2} \right)^{3/2}$$

$$= 12 \cdot (0,32)^{3/2} \cdot 1 \cdot \left(\frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 0,0259 \text{ eV}}{2\pi (1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ Js})^2} \right)^{3/2}$$

$$= 12 \cdot (0,32)^{3/2} \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

$$= 2,73 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

⇒ effekt. Zustandsdichte im Valenzband kann genau so berechnet werden. Aber: $m_e = m_h$, $\gamma_h = 1!$

index h : holes
≡ Löcher

mit im besetztes Valenzband-
minima.

⑩

Fermi - Energie im dotierten HL

$$E_F = \frac{E_D + E_C}{2} + \frac{k_B T}{2} \cdot \ln \left(\frac{N_D}{g \cdot N_C} \right)$$

g : Faktor der Vielfachheit der Bandzustände. Typischer Wert 2, richtiger wäre jedoch Tälernzahl 6

angegebene Formel gilt für mittlere Temperaturen (30K erfüllt ✓)

$$E_C = E_C - E_D \quad (\text{Abstand LB-Donatoren})$$

Betrachten wir den ersten Term

$\frac{E_D + E_C}{2}$ in der Gleichung und stellen so um, dass wir E_C hinein bekommen!

$$\frac{E_D + E_C}{2} = \frac{2E_C - (E_C - E_D)}{2} = \frac{2E_C - E_C}{2}$$

Dann folgt:

$$E_F = \frac{k_B T}{2} \cdot \ln\left(\frac{N_D}{2N_C}\right) + \frac{2E_C - (E_C - E_D)}{2}$$

$$= \frac{k_B T}{2} \cdot \ln\left(\frac{N_D}{2N_C}\right) + \frac{2E_C}{2} - \frac{E_C}{2}$$

$$= \frac{k_B T}{2} \cdot \ln\left(\frac{N_D}{2N_C}\right) + E_C - \frac{E_C}{2}$$

$$E_F - E_C = \frac{k_B T}{2} \ln\left(\frac{N_D}{2N_C}\right) - \frac{E_C}{2}$$

Bindungsenergie $E_D = 45 \text{ meV}$

$T = 30 \text{ K}$, $N_D = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

$$\rightarrow E_F - E_C = \frac{2,59 \text{ meV}}{2} \cdot \ln\left(\frac{10^{18} \text{ 1/cm}^3}{2 \cdot 2,73 \cdot 10^{19} \cdot 0,036}\right) - \frac{45 \text{ meV}}{2}$$

$$N_C(30 \text{ K}) = N_C(300 \text{ K}) \cdot \left(\frac{30 \text{ K}}{300 \text{ K}}\right)^{3/2} = 2,73 \cdot 10^{19} \cdot 0,036 \text{ cm}^{-3}$$

$$E_F - E_C = 1,295 \text{ meV} \cdot (-0,546) - 22,5 \text{ meV}$$

$$= -0,707 \text{ meV} - 22,5 \text{ meV} = \underline{\underline{-23,2 \text{ meV}}}$$

Nullpunkt der Energiebetrachtung ist der Leitungsbandrand ($E_c = 0$)



11

$$\sigma = e \mu_e \cdot n$$

$$= 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 1350 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}} \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$n = N_D$$

↑
Beweglichkeit
Elektronen aus
Formelsammlung
(RT)

$$\sigma = 2,176 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\Omega \text{ cm}}$$

$$R = 100 \text{ k}\Omega = \frac{l}{A \cdot \sigma} \Rightarrow l = R \cdot \sigma \cdot A$$

$$l = 10^5 \Omega \cdot 2,176 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\Omega \text{ cm}} \cdot 2 \mu\text{m}^2$$

$$= 9435 \mu\text{m} = \underline{\underline{435 \text{ mm}}}$$