

Nanoelektronik

Kombination Hauptseminar Quantencomputer

Skript von Studenten - teilweise falsch

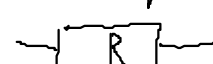

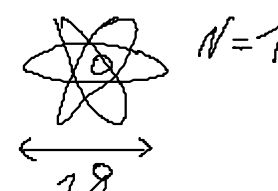
Theoretische Festkörperphysik - Matthias Eschrig

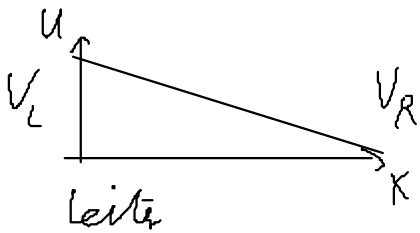
Inhalt Nanoelektronik

- 1) Einführung
- 2) Landauer - Theorie (Stromtheorie)
- 3) Magnetfeldeffekte
Aharonov - Bohm - Effekt
Quanten - Hall - Effekt
- 4) Interferenzeffekte
- 5) Einzelelektronen - Effekte
- 6) Spin - Elektronik
- 7) Molekulare Elektronik

1 Einführung

1.1) $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10 \text{ \AA}$

makroskopisch	Mesoskopisch	Mikroskopisch
<p>Festkörper</p>  <p>$N \rightarrow \infty$ $V \rightarrow \infty$ } $\frac{N}{V} = \text{const}$</p> <p>Ohm'sches Gesetz</p> $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ <p>gilt bei lokalem Gleichgewicht</p>	 <p>$10 - 100 \text{ nm}$</p> <p>in Reservoir = makroskop. Kontakte</p> <p>ist Gleichgewicht</p> <p>$\Rightarrow U_{\text{links}} / U_{\text{rechts}}$ definiert</p>	 <p>$N=1$</p> <p>1 \AA</p>



$E = -\nabla V$
 $\Rightarrow I = \frac{U}{R} = G U$

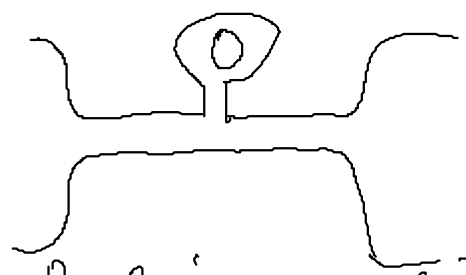
$\sigma =$ Leitfähigkeit

$G = \frac{1}{R}$ Leitwert

$G = \frac{A \sigma}{L}$

$\rho = \frac{1}{\sigma}$ spez. Widerstand

im Mesoskopischen Leiter ist kein Gleichgewicht
 Leitwert G ist Eigenschaft der gesamten Probe



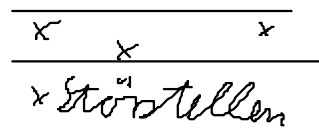
Der Ring macht für einen Unterschied!

Conductivity
 Conductance

Ensemble - Mittelung
 (Selbstmittelung)

rel. Fluktuation

$\frac{\delta N}{N} \sim \frac{1}{\sqrt{N}} \rightarrow 0$



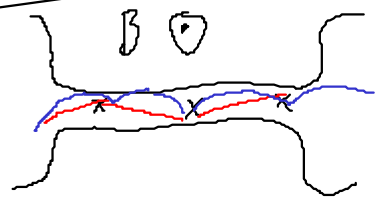
x Störstellen

G (Spezielle Störstellenkonfig.)

mehrere Proben haben verschiedene Störstellenkonfig.
 $\Rightarrow G_2 \neq G_1$

Probenspez. Ergebnisse

stochastisch
 keine Schwankung



mit B-Feld

ohne B-Feld

$G(B_1) \neq G(B_2)$



\Rightarrow

⇒ Dieser Verlauf ist reproduzierbar

"Fingerabdruck" der Probe, reproduzierbare Parameter

$\delta \ll \dots$

nicht
Auflösbar

$\frac{Q^2}{C}$ Energie
"Kapazität"

$L \gg L_q$

Phasenkohärenz
nicht zu
beobachten

δ Auflösbar

$$0 \leq \delta \leq 1 \text{ eV}$$

$$1 \text{ eV} \approx 10^4 \text{ K} \cdot k_B$$

Coulomb - WW

$$\frac{e^2}{C} \quad e \text{ ist klein,}$$

wie klein geht C

$$10^{-25} \text{ F} \approx \epsilon_0 \epsilon_r \frac{100 \text{ nm}^2}{10 \text{ \AA}}$$

$$\Rightarrow \frac{e^2}{C} = 1 \text{ K } k_B$$

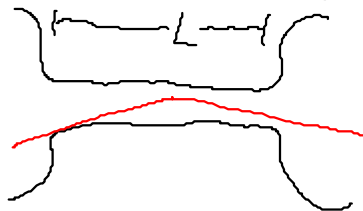
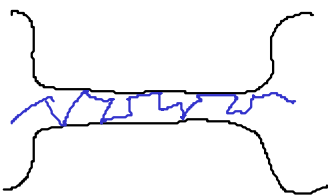
Phasenkohärenzzeit endlich

T_q ist endlich

nsec ... msec

Phasenkohärenzlänge $L_q \sim \mu\text{m}$

Störstellenstrahlung l_{imp} (l impurity)



$l_{imp} \sim \text{nm} \dots \mu\text{m}$
(frei Weglänge)

diffusiv

$$L > l_{imp}$$

ballistisch

$$L < l_{imp}$$

$$\delta = E_{m+1} - E_m$$

Energieaufspaltung
wichtig

$$\delta \approx 1 \text{ eV}$$

$$\langle \frac{e^2}{r} \rangle \sim 1 \text{ eV}$$

QM

Phasenkohärenz

$$\psi_m(A) = e^{-i \frac{E_m x}{\hbar}} \psi_m(0)$$

Größenordnung kommerzieller moderner elektron. Bauteile

$$\approx 45 \text{ nm}$$

Schichtdicken von 10 nm sind normal

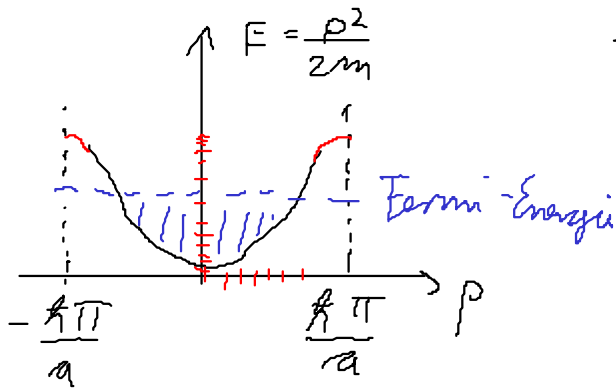
1.2 Systeme

Metalle

Elektronendichte

$$n \approx 10^{22} \text{ cm}^{-3}$$

nahezu freie Elektronen



erlaubte p-Werte sind

$$\frac{h \cdot 2\pi}{L_x} \cdot n_x$$

$$n = 0, \pm 1, \dots$$

N Elektronen, erlaubte Zustände von unten auffüllen

$$2 \cdot \frac{4\pi}{3} p_F^3 \cdot \frac{L_x \cdot L_y \cdot L_z}{(2\pi h)^3} = N$$

Spin

Vol. der Fermi-Kugel

1 / Volumen pro Zustand = Dichte der Zustände im Impulsraum

$$p_F^3 = \frac{N}{V} 3\pi^2 h^3$$

$$p_F = h \cdot k_F = \frac{h}{\lambda_F} \quad \text{Fermi-Wellenlänge}$$

$$\lambda_F \approx 3 \text{ \AA}$$

$$E_F = \frac{p_F^2}{2m} \approx 1 \dots 10 \text{ eV}$$

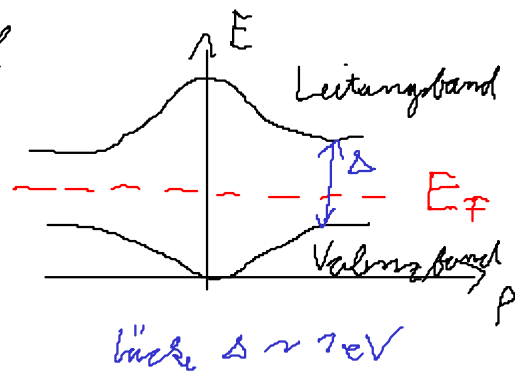
Verbreiterung der Fermi-Kante $k_B T \ll E_F$

Halbleiter

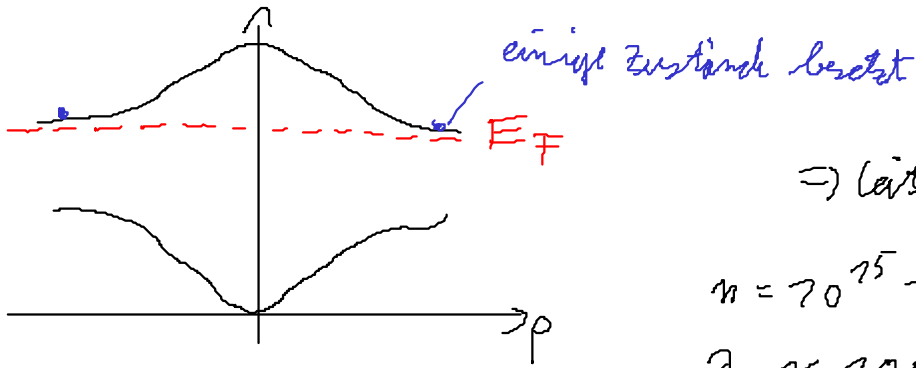
vgl. Tight-Binding-Modell

$$H = \sum_i t e_i^+ e_{i+1}$$

$$\Rightarrow E_0 = -t \cos\left(\frac{p a}{h}\right)$$



⇒ Dotieren verschiebt E_F z. B. zum Leitungsband (n-dotiert)



⇒ Leitungselektron

$$n = 70^{15} - 70^{19} \text{ cm}^{-3}$$

$$\lambda_F \approx 100 \text{ nm}$$