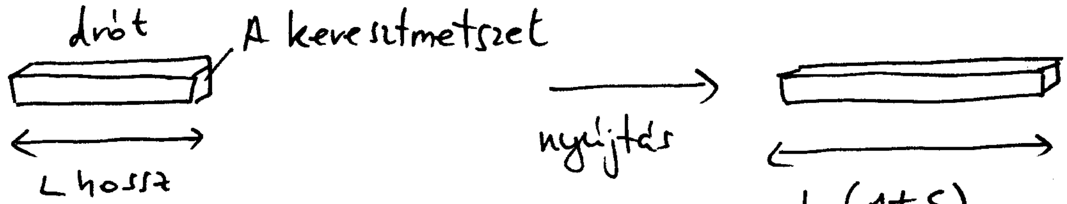
Fizika M1, 8. ea, 2018/10/29

III. Elektromechanika

III/A Piezorezisztivitás az egyatomos láncban

① emlékeztető: (II/B) geom. piezorezisztivitás <u>klasszikusan</u>
(Drude+Ohm)



R ellenállás $\longrightarrow R = R(\varepsilon)$

piezorezisztivitás: ellenállásváltozás deformáció hatására

kis deformáció → lineáris R-változás: $R(\varepsilon) = R(0)(1 + c\cdot\varepsilon)$

"piezorezisztív együttható", "piezorezisztivitás"

láttuk: Drude+Ohm → $c = 2$ (1% nyújtás → 2% R-növekedés)

② kísérletek fémekkel: $c = 2$ nagyságrendileg OK.

③ e-ok kvantumos leírása → új piezor. mechanizmus? igen!

pl. nyújtás ⟶ rácsállandó nő, $a \mapsto a_0(1+\varepsilon)$
⟶ alagutazási mátrixelem csökken, $t \mapsto t_0(1-\beta\varepsilon)$

④ <u>feladat</u>: $L = 1\,\mathrm{cm}$, egyatomos lánc, $a_0 = 2\,\mathrm{Å}$, $t_0 = -1\,\mathrm{eV}$
nyújtatlan eset

nyújtás: $a \mapsto a_0(1+\varepsilon)$
$t \mapsto t_0(1-\varepsilon)$ (azaz $\beta = 1$)

a sáv 5%-os betöltöttségű.

a) $n_e(0) = ?$ b) $R(0) = ?$ ha $\tau = 15\,fs$ c) $\varepsilon = 1\% \rightarrow \frac{m^*(\varepsilon)}{m^*(0)} = ?$

d) $\varepsilon = 1\% \rightarrow R(\varepsilon) = ?$ e) $c = ?$

tfh. (i) Drude-modell OK, (ii) m_e helyett m^*-ot kell beleírni (iii) τ nem változik ε hatására (iv) 1D-ben vagyunk.

a) $n_e = \frac{N_e}{L} = \frac{N_e}{N_a \cdot a} = 0.1 \frac{1}{a} = 5 \times 10^8 \frac{1}{m}$

5% betöltöttség $\rightarrow N_e = 0.05 \times \underbrace{(2N_a)}_{\text{sávbeli állapotok száma, spinnel}} = 0.1 N_a$

b) $R = \frac{1}{\sigma} \cdot L \overset{\text{Drude}}{=} \frac{m^*}{n_e e^2 \tau} L = \frac{-\hbar^2 L}{\frac{N_e}{L} e^2 \tau 2a^2 t} = -5 \frac{\hbar^2 N_a}{e^2 \tau t}$

geom. ohm-tv 1D-ben

$m^* = -\frac{\hbar^2}{2a^2 t}$

Ebből $R(0) = -5 \frac{\hbar^2 N_a}{e^2 \tau t_0} \approx 6{,}76 \times 10^{11}\,\Omega$

c)
$$m^*(\varepsilon) = -\frac{\hbar^2}{2a^2(\varepsilon)t(\varepsilon)} = -\frac{\hbar^2}{2a_0^2(1+\varepsilon)^2 t_0(1-\varepsilon)} \overset{\varepsilon \ll 1}{\approx} -\frac{\hbar^2}{2a_0^2 t_0 (1+\varepsilon)} \approx$$

$$\approx \underbrace{-\frac{\hbar^2}{2a_0^2 t_0}}_{m^*(0)} (1-\varepsilon) \rightarrow \underline{\underline{\frac{m^*(\varepsilon = 1\%)}{m^*(0)} \approx 0{,}99}}$$

nyújtás $\rightarrow$ csökkenő effektív tömeg

d) $$R(\varepsilon) \underset{b)}{=} -5\frac{\hbar^2 N_a}{e^2\tau t} = -5\frac{\hbar^2 N_a}{e^2\tau t_0(1-\varepsilon)} \underset{\varepsilon \ll 1}{\cong} \underbrace{-5\frac{\hbar^2 N_a}{e^2\tau t_0}}_{R(0)}(1+\varepsilon)$$

$\rightarrow R(\varepsilon) = (1+\varepsilon)R(0) = 1{,}01\,R(0)$, nyújtás $\rightarrow$ R nő

e) $$c = \frac{R(\varepsilon) - R(0)}{R(0)\cdot\varepsilon} = 1$$

5 feladat: ld 4, de most $t = t_0(1-\beta\varepsilon)$ ← itt $\beta > 0$

a) nő vagy csökken m^*, ha nyújtjuk a láncot?

b) —— " —— R, —— " —— ?

a) $$m^*(\varepsilon) = -\frac{\hbar^2}{2a_0^2(1+\varepsilon)^2 t_0(1-\beta\varepsilon)} \underset{\varepsilon \ll 1}{\approx} -\frac{\hbar^2}{2a_0^2 t_0(1+2\varepsilon)(1-\beta\varepsilon)}$$

$$= -\frac{\hbar^2}{2a_0^2 t_0(1+(2-\beta)\varepsilon)} \simeq m^*(0)\left(1+(\beta-2)\varepsilon\right)$$

válasz: "attól függ": $\begin{cases} \beta < 2 \rightarrow m^* \text{ csökken} \\ \beta = 2 \rightarrow m^* \text{ nem változik} \\ \beta > 2 \rightarrow m^* \text{ nő} \end{cases}$

b) $$R(\varepsilon) = -5\frac{\hbar^2 N_a}{e^2\tau t_0(1-\beta\varepsilon)} \underset{\beta\varepsilon \ll 1}{\approx} -5\frac{\hbar^2 N_a}{e^2\tau t_0}(1+\beta\varepsilon)$$

↳ ellenállás nő