

Examen Vastestof- en nanofysica

Eerste Master Fysica en Sterrenkunde

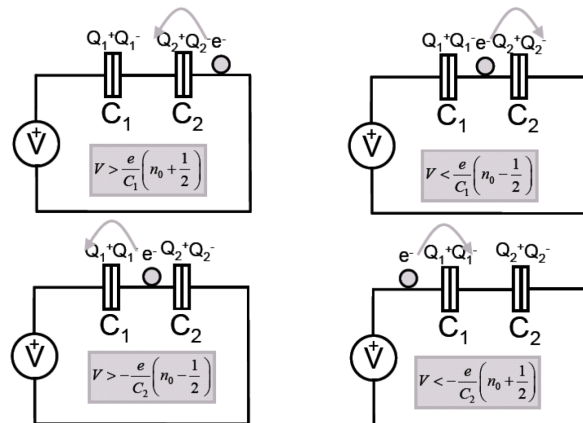
27 januari 2021 (8u30-11u30)

Deel prof. Detavernier

Vraag 1 (schriftelijk, 2/3 punten)

Leg uit hoe de Coulomb blokkade tot stand komt en bespreek aan de hand daarvan de Coulomb trap in de IV-karakteristiek van de dubbele tunneljunctie.

n.v.d.r.: Als je tijd over had, kon je proberen om een van de ongelijkheden op de figuur hiernaast te bewijzen als extra. De figuur was gegeven op het examen.



Vraag 2 (mondeling, 1/3 punten)

Schets het bandenschema van de volgende opeenvolging van materialen.

n.v.d.r.: De waarden zijn misschien niet exact zoals ze op het examen stonden, maar dit maakt in principe niet echt uit. Hun onderlinge relatieve grootte komt wel overeen met die op het examen.

- Au, $e\phi_m = 5.1$ eV
- p -type AlGaAs, $N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $E_G = 1.9$ eV, $e\chi = 3.6$ eV
- n -type GaAs, $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $E_G = 1.43$ eV, $e\chi = 4.06$ eV
- p^+ -type Ge, $N_A = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $E_G = 0.66$ eV, $e\chi = 4.12$ eV

Bespreek de invloed van dopering op het bandenschema.

Deel prof. Vrielinck

Vraag 1 (schriftelijk, 2/3 punten)

Gegeven: de Hamiltoniaan van Ge (n.v.d.r. de volledige onderstaande figuur)

	s_A	p_{xA}	p_{yA}	p_{zA}	s_B	p_{xB}	p_{yB}	p_{zB}
s_A	$E_{s,A}$	0	0	0	$g_0^* S_{ss}^{AB}$	$-g_1^* S_{sp}^{AB}$	$-g_2^* S_{sp}^{AB}$	$-g_3^* S_{sp}^{AB}$
p_{xA}	0	$E_{p,A}$	0	0	$g_1^* S_{sp}^{BA}$	$-g_0^* S_{pp,1}^{AB}$	$-g_3^* S_{pp,2}^{AB}$	$-g_2^* S_{pp,2}^{AB}$
p_{yA}	0	0	$E_{p,A}$	0	$g_2^* S_{sp}^{BA}$	$-g_3^* S_{pp,2}^{AB}$	$-g_0^* S_{pp,1}^{AB}$	$-g_1^* S_{pp,2}^{AB}$
p_{zA}	0	0	0	$E_{p,A}$	$g_3^* S_{sp}^{BA}$	$-g_2^* S_{pp,2}^{AB}$	$-g_1^* S_{pp,2}^{AB}$	$-g_0^* S_{pp,1}^{AB}$
s_B	$g_0^* S_{ss}^{AB}$	$g_1^* S_{sp}^{BA}$	$g_2^* S_{sp}^{BA}$	$g_3^* S_{sp}^{BA}$	$E_{s,B}$	0	0	0
p_{xB}	$-g_1^* S_{sp}^{AB}$	$-g_0^* S_{pp,1}^{AB}$	$-g_3^* S_{pp,2}^{AB}$	$-g_2^* S_{pp,2}^{AB}$	0	$E_{p,B}$	0	0
p_{yB}	$-g_2^* S_{sp}^{AB}$	$-g_3^* S_{pp,2}^{AB}$	$-g_0^* S_{pp,1}^{AB}$	$-g_1^* S_{pp,2}^{AB}$	0	0	$E_{p,B}$	0
p_{zB}	$-g_3^* S_{sp}^{AB}$	$-g_2^* S_{pp,2}^{AB}$	$-g_1^* S_{pp,2}^{AB}$	$-g_0^* S_{pp,1}^{AB}$	0	0	0	$E_{p,B}$

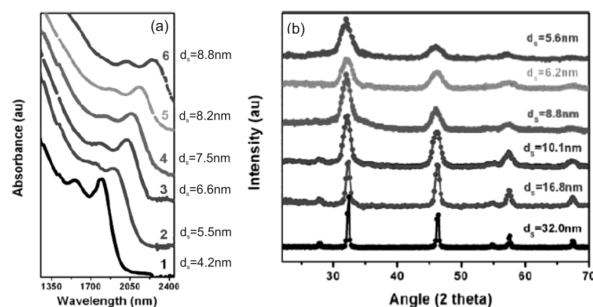
$$\begin{aligned}
 g_0 &= e^{\frac{i\omega}{4}(k_x+k_y+k_z)} + e^{\frac{i\omega}{4}(-k_x-k_y+k_z)} + e^{\frac{i\omega}{4}(-k_x+k_y-k_z)} + e^{\frac{i\omega}{4}(k_x-k_y-k_z)} \\
 &= 4 \left(\cos \frac{k_x a}{4} \cos \frac{k_y a}{4} \cos \frac{k_z a}{4} + i \sin \frac{k_x a}{4} \sin \frac{k_y a}{4} \sin \frac{k_z a}{4} \right) \\
 g_1 &= e^{\frac{i\omega}{4}(k_x+k_y+k_z)} - e^{\frac{i\omega}{4}(-k_x-k_y+k_z)} - e^{\frac{i\omega}{4}(-k_x+k_y-k_z)} + e^{\frac{i\omega}{4}(k_x-k_y-k_z)} \\
 &= -4 \left(\cos \frac{k_x a}{4} \sin \frac{k_y a}{4} \sin \frac{k_z a}{4} + i \sin \frac{k_x a}{4} \cos \frac{k_y a}{4} \cos \frac{k_z a}{4} \right) \\
 g_2 &= e^{\frac{i\omega}{4}(k_x+k_y+k_z)} - e^{\frac{i\omega}{4}(-k_x-k_y+k_z)} + e^{\frac{i\omega}{4}(-k_x+k_y-k_z)} - e^{\frac{i\omega}{4}(k_x-k_y-k_z)} \\
 &= -4 \left(\sin \frac{k_x a}{4} \cos \frac{k_y a}{4} \sin \frac{k_z a}{4} + i \cos \frac{k_x a}{4} \sin \frac{k_y a}{4} \cos \frac{k_z a}{4} \right)
 \end{aligned}$$

- Bespreek de factoren in het aangeduide element en verklaar waar ze vandaan komen (ook hun teken). Waarvoor staan de s_A , s_B , p_{yA} , ...
- Bespreek de oplossingen van de Hamiltoniaan voor Ge bij $\vec{k} = \vec{0}$ (Γ -punt).
- Bespreek het effect van de spin-baankoppeling op Ge bij $\vec{k} = \vec{0}$.
- Bespreek aan de hand van het bandschema en de bezetting waarom Ge zich als een halfgeleider gedraagt.
- *n.v.d.r.: Er was hier nog een bijvraag, maar die weet ik niet meer.*

Vraag 2 (mondeling, 1/3 punten)

n.v.d.r.: Dit is niet de figuur die op het examen stond, maar bevat dezelfde informatie. De eerste figuur op het examen kwam overeen met de figuur die hier rechts staat, een X-stralendiffractie. Hierop stond nog een extra aanduiding (111) bij de eerste piek, en gelijkaardige aanduidingen bij de twee andere pieken.

De tweede figuur was zoals hier links een absorptiespectrum, maar met energie op de x-as in plaats van golflengte (de grafieken gaan dan de andere kant op, met een afkapping bij een bepaalde minimale energie in plaats van een maximale golflengte zoals op deze figuur). In beide figuren waren de bijschriften die de verschillende diameters aanduiden natuurlijk weggelaten, want daar gaat de vraag net over.



Figuur 7.15 : afhankelijkheid van optische absorptie (a) en X-stralen diffractie (b) van de nanokristal grootte voor PbTe [J. J. Urban et al., J. Am. Chem. Soc. 128, p. 3248-3255 (2006)].

Je ziet hier een X-stralendiffractie en een optisch absorptiespectrum van een kwantumdot. De verschillende lijnen zijn verticaal verschoven om ze van elkaar te kunnen onderscheiden, dus je hoeft niet te kijken naar de waarden op de verticale as.

- Duid in elk van beide figuren aan welke lijn overeenkomt met de kleinste diameter van de kwantumdot en welke met de grootste. Verklaar.
- Wat verwacht je dat er gebeurt met het optisch absorptiespectrum als de temperatuur daalt?