

Examen Vastestof- en nanofysica

Eerste Master Fysica en Sterrenkunde

31 augustus 2021

n.v.d.r.: net als in 1e zit mochten appendices bij de cursus gebruikt worden (appendices A-D, niet de appendix bij hoofdstuk 1) zoals aangekondigd via Ufora

Deel prof. Detavernier

Vraag 1 (schriftelijk, 2/3 punten)

Bespreek het kwantum punt contact.

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.*

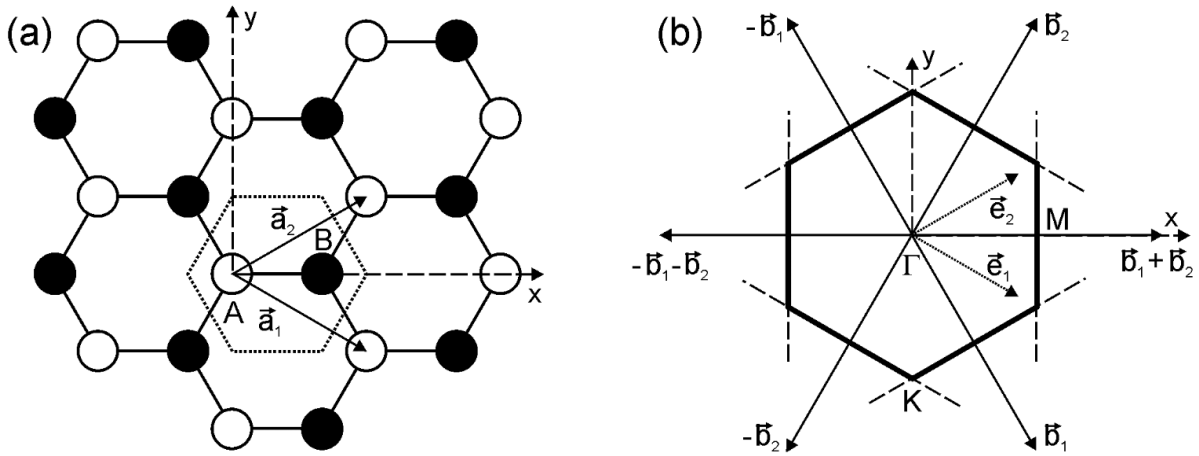
- Au, $e\phi_m = 5.1$ eV
- *p*-type AlGaAs, $N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $E_G = 1.9$ eV, $e\chi = 3.6$ eV
- *n*-type GaAs, $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $E_G = 1.43$ eV, $e\chi = 4.07$ eV
- *p*⁺-type Ge, $N_A = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $E_G = 0.66$ eV, $e\chi = 4.12$ eV

Beschouw de lagen breed genoeg, zodat de depletiegebieden elkaar niet beïnvloeden. Bespreek de invloed van dopering op het bandenschema.

Bijvraag (niet op opgave): stel dat de dopering in GaAs verhonderdvoudigd wordt, wat verandert er dan aan het bandenschema?

Deel prof. Vrielinck

Vraag 1 (schriftelijk, 2/3 punten)



Figuur 1: Kristalrooster en reciprook rooster van grafeen

$$\vec{a}_1 = a \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \quad \vec{b}_1 = b \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}$$

$$\vec{a}_2 = a \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} \end{pmatrix} \quad \vec{b}_2 = b \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}$$

De dichtste naburen in grafeen, voor een atoom op positie $(0,0)$, bevinden zich op posities

$$\left(\frac{a}{\sqrt{3}}, 0 \right); \left(-\frac{a}{2\sqrt{3}}, \frac{a}{2} \right); \left(-\frac{a}{2\sqrt{3}}, -\frac{a}{2} \right)$$

. De dispersierelatie van grafeen wordt gegeven door

$$E(k_x, k_y) = E_{p_z} \pm |S_{p_z p_z}| \left[1 + 4 \cos\left(\frac{\sqrt{3}k_x a}{2}\right) \cos\left(\frac{k_y a}{2}\right) + 4 \cos^2\left(\frac{k_y a}{2}\right) \right]^{1/2}$$

- Bewijs deze dispersierelatie aan de hand van tight binding en toon aan dat de band gap in 6 (equivalente) punten in de 1e Brillouinzone nul wordt.
- Bespreek het elektrisch gedrag van grafeen aan de hand van deze dispersierelatie en de bezetting van de energieniveaus.
- Bijvraag: Leg uit (zonder formules, enkel redenering) hoe uit de dispersierelatie van grafeen deze van koolstofnanobuizen kan worden bepaald en hoe op basis daarvan het metallisch of halfgeleidend gedrag van de koolstofnanobuis kan worden afgeleid.

Vraag 2 (mondeling, 1/3 punten)

De grafiek stelt een meting voor van de fotostroom door een $\text{Si}_{0.19}\text{Ge}_{0.81}/\text{Ge}$ kwantumputstructuur als functie van het aangelegde elektrische veld. Deze structuur is een type I kwantumput.

- In welke laag zitten de ladingsdragers opgesloten? Leg uit wat het effect zou zijn van het verkleinen van de dikte van de lagen.
- Bespreek het effect van het elektrische veld.

Bijvraag (niet op opgave): Waarom is dit een correctie naar lagere energie?

n.v.d.r.: Antwoord: De correctie op de laagste energiebanden, die de band gap bepalen, is een correctie ten opzichte van de hogere energieniveaus. Een tweede orde correctie zorgt dat energieniveaus verder uit elkaar gaan liggen. Het laagste niveau zakt dus naar onder.

