

Questions de cours / 3pts

- 1a) $\uparrow \approx N_A$ $m = \frac{m_1^2}{N_A}$
- 1b) $\sigma(T=0) = 0$
- 2) Un photon n'est absorbé que lorsque son énergie est supérieure à la largeur de la bande interdite. Si le gap est réduit, l'absorption augmente.
- 3a) absorbe vecteur d'onde, dimension L^{-1} en unités cm^{-1} .
- 3b) 3 bandes acoustiques et 3 bandes optiques

Exercice 1. Structure de bandes du graphène / 5pts



1pt
0.5 = 1 élément correct
1 = tout correct

2) $1s^2 2s^2 2p^2$

4 électrons de valence : 2 électrons $2s$ et 2 électrons $2p$.

3) Chaque maille comprend 2 atomes de carbone ayant chacun 4 électrons de valence, il y a donc 8 électrons par maille élémentaire.

4) Le nombre d'états électroniques N est $2N$ (avec N le nombre de mailles du système).

Sachant qu'il y a 8N électrons dans le système, 4 bandes sont remplies.

5) Sur le graphène, l'énergie $E=0$ correspond au niveau de Fermi avec en dessous 4 bandes pleines de valence et au dessus la bande de conduction. Il n'y a pas de gap à E_F donc le graphène est métallique.

Exercice 2. Conductivité du graphène et de nanotubes de carbone

/ 7pts

A. Graphène

(1pt) 1) $\psi(0,0) = \psi(L_x,0) = \psi(0,L_y)$

$$A = A e^{i k_x L_x} = A e^{i k_y L_y}$$

$$k_x = \frac{2\pi m_x}{L_x} \quad k_y = \frac{2\pi m_y}{L_y} \quad m_x, m_y \in \mathbb{Z}$$

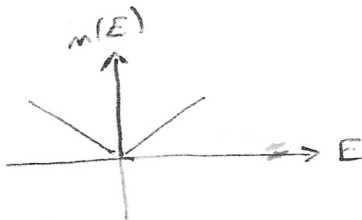
(1pt) 2) $S(\text{1 état } \vec{k}) = \frac{2\pi}{L_x} \times \frac{2\pi}{L_y}$

(1pt) 3) $N(k) = \frac{S(\text{disque de rayon } k)}{S(\text{1 état } \vec{k})} = \frac{\pi k^2}{\frac{(2\pi)^2}{L_x L_y}} = \frac{L_x L_y k^2}{4\pi}$

(1pt) 4) $E(\vec{k}) = \pm \hbar v_0 k$

$$\hookrightarrow N(E) = \frac{L_x L_y}{4\pi} \frac{E^2}{(\hbar v_0)^2} \times 2 \quad \text{spin } \uparrow \text{ et } \downarrow$$

(1pt) 5) $n(E) = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{(\hbar v_0)^2} \times 2 |E| \quad \text{donc } \kappa = \frac{1}{\pi \hbar^2 v_0^2}$



(0,5pt) 6) $n(0) = 0$. Ici $E=0$ correspond à l'énergie de Fermi, pas (peu) d'états au niveau (proche des niveaux) de Fermi donc la conductivité est faible.

B. Nanotubes

(1pt) 7) $k_x = \frac{2\pi m_x}{L_x} \quad (m_x \in \mathbb{Z}^*)$

$$N(k) = \frac{2k}{\text{longueur (1 état } k)} = \frac{2k}{2\pi/L_x} = \frac{L_x}{\pi} k \Rightarrow N(E) = \frac{L_x}{\pi} \frac{E}{\hbar v_0}$$

$$\hookrightarrow n(E) = \frac{2}{L_x} \frac{dN(E)}{dE} = \frac{2}{\pi} \frac{1}{\hbar v_0} = \text{cte.}$$

(0,5pt) 8) $n(0) = \text{cte}$ donc la conductivité peut être élevée, elle dépend de v_0 .

Exercice 3. Transistor à effet de champ avec du graphène

1,5pt

(1pt) 1) $C = \frac{Q}{U} = \epsilon \frac{S}{t}$ avec $U = V_{cg} - 0 = V_g$

$$m_s = \frac{Q}{eS} = \frac{\epsilon V_g}{et}$$

(0,5pt) 2) $\sigma = m_e \mu$

(1pt) 3) $\sigma = m_s e \mu$ L'inductance σ en $(\Omega \cdot m)^{-1} = S \cdot m^{-1}$
Ici m_s par unité de surface et non volume donc σ en S .

$$\boxed{\sigma = \frac{\epsilon \mu V_g}{t}}$$

$$A = \frac{\epsilon}{t}$$

(1pt) 4) $\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{t}{\epsilon \mu V_g}$ on a bien une fonction $\rho(V_g)$ en $\frac{1}{\Omega}$

(1pt) 5) $\mu = \frac{t}{\epsilon V_g \rho} = \frac{300 \times 10^{-9}}{3,9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 7,5 \cdot 2000} \approx 0,58 \frac{m^2}{Vs} = 5800 \frac{cm^2}{Vs}$

(0,5pt) 6) a) graphène
b) couche isolante d'oxyde de silicium