TS3 - Physique-Chimie - Spécialité
Matériaux - T.P. n°6

Éléments de correction

LES NANOTUBES DE CARBONE : DES « FIBRES » D'AVENIR

Extraire et exploiter l'information de documents scientifiques :

1. Une liaison covalente est une mise en commun de deux électrons entre deux atomes, chaque électron provenant de l'un des deux atomes. En revanche, une interaction de Van der Waals est une interaction de nature électrostatique entre deux molécules. Une liaison covalente (plusieurs centaines de $kJ \cdot mol^{-1}$) est nettement plus solide qu'une liaison de type Van der Waals (quelques dizaines de $kJ \cdot mol^{-1}$).

2. Dans le graphite, la cohésion des feuillets, constitués d'atomes de carbone liés de façon covalente au sein d'un feuillet, est assurée par des liaisons de type Van der Waals entre les feuillets. Il n'est donc pas très difficile de séparer ces feuillets, ce qui fait du graphite un matériau friable.

3. Dans le diamant, tous les atomes de carbone sont liés à quatre autres atomes de carbone par des liaisons covalentes très fortes et solides. Il est donc très difficile de rompre de telles liaisons, ce qui fait du diamant un matériau dont la dureté est particulièrement élevée.

4. Les nanotubes zigzag diffèrent des nanotubes chaise par la façon dont le feuillet de graphène s'est enroulé sur lui-même. Il en résulte une orientation différente des hexagones de carbone dans les différents enroulements.

5. Dans le diamant, la géométrie autour des atomes de carbone est tétraédrique car chaque atome de carbone est lié à quatre autres atomes (de carbone).

Dans le graphite, chaque atome de carbone fait deux liaisons simples et une liaison double avec d'autres atomes (de carbone) donc la géométrie autour des atomes de carbone est trigonale plane.

Dans les structure du type fullérènes ou nanotubes, la géométrie est également trigonale même si la sphéricité des fullérènes ou les enroulements dans les nanotubes contraignent quelque peu cette géométrie qui n'est plus parfaitement plane.

6. Dans le cas des structures contenant des atomes de carbone formant chacun une double liaison, on voit que ces doubles liaisons sont toutes conjuguées. Ainsi, les électrons correspondant à ces doubles liaisons sont délocalisés sur tout le matériau et sont donc relativement libres de se déplacer sur tout le matériau. Ces structures sont donc de nature à bien conduire le courant électrique.

7. Le long du périmètre p d'un nanotube, on dénombre 9 hexagones (8 déjà formés au sein du feuillet et un supplémentaire qui se forme à la fermeture du nanotube) de largeur égale à $\ell = 0{,}245$ nm (cote notée 2 sur le document).

On a donc, si r est le rayon d'un nanotube, $p = 2\pi \cdot r = 9 \cdot \ell$ d'où $r = \dfrac{9 \cdot \ell}{2\pi} = \dfrac{9 \times 0,245}{2\pi} = 0{,}351$ nm

8. Le volume d'un cylindre de longueur L et de rayon r est donné par :

$V = \pi \cdot r^2 \cdot L = \pi \times (0,351 \cdot 10^{-9})^2 \times 1,0 \cdot 10^{-3} = 3{,}87 \cdot 10^{-22}$ m^3

9. Le nanotube présenté sur la figure comporte 19 « lignes » de zigzag contenant chacune 17 atomes de carbone. Il est donc constitué de $N_1 = 19 \times 17 = 323$ atomes de carbone. Or ce tube a une longueur $L_1 = 9 \times (0,283 + 0,142) = 3{,}825$ nm étant données les cotes mentionnées sur le document et l'agencement en zigzag.

Par proportionnalité, on en déduit le nombre N d'atomes de carbone dans un nanotube de longueur $L = 1{,}0\ \text{mm} = 1{,}0 \cdot 10^6\ \text{nm}$: $N = \dfrac{323 \times 1,0 \cdot 10^6}{3,825} = 8,4 \cdot 10^7$ atomes de carbone.

10. On sait qu'un cm^3 contient environ $8 \cdot 10^{14}$ nanotubes donc un nombre d'atomes de carbone égal à $N_C = 8 \cdot 10^{14} \times 8,4 \cdot 10^7 = 6,72 \cdot 10^{22}$. La masse d'un atome de carbone est égale à la masse molaire du carbone divisée par le nombre d'Avogadro, soit : $m_C = \dfrac{M_C}{N_A}$. Ainsi, la masse de carbone dans un centimètre cube de nanotube (masse volumique) est donnée par :

$$\rho_{NTC} = \frac{N_C \cdot m_C}{V_{NTC}} = \frac{N_C}{V_{NTC}} \cdot \frac{M_C}{N_A} = \frac{6,72 \cdot 10^{22}}{1,00} \times \frac{12,00}{6,022 \cdot 10^{23}} = 1{,}34\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3} = 1{,}34 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

11. Calculons le rapport entre la masse volumique de l'acier et celle des nanotubes de carbone :

$\dfrac{\rho_{acier}}{\rho_{NTC}} = \dfrac{7500}{1340} = 5,6$. On retrouve bien l'information de la première phrase du document qui affirme que la masse volumique des nanotubes de carbone est environ six fois moindre que celle de l'acier.

12. Un nanotube de carbone possède une conductivité thermique de $6600\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, soit une conductivité thermique 17 fois supérieure à celle du cuivre, 40 000 fois supérieure à celle du bois et 5 500 fois supérieure à celle du verre. On en déduit que les nanotubes de carbone possède une conductivité thermique hors du commun, beaucoup plus élevée que celle des matériaux courants.

13. Les principales propriétés des nanotubes de carbone sont leur très grande résistance mécanique qui en fait un matériau particulièrement solide, leur grande conductivité électrique qui en fait un matériau très bon conducteur de l'électricité et leur exceptionnelle conductivité thermique qui en fait un matériau très bon conducteur de chaleur.

Les applications potentielles de ces nanotubes sont très nombreuses et touchent des domaines très variés. On peut citer quelques exemples : production de matériaux résistants dans le domaine du sport (raquettes de tennis, clubs de golf, balles de golf, battes de baseball, combinaisons, etc) et de la construction (renforcement du béton, câbles de suspension des ponts), utilisation dans le domaine de l'électronique (réduction des pertes par effet Joule dans les conducteurs par exemple, utilisation en tant que semi-conducteur dans des panneaux solaires par exemple), utilisation dans le domaine du génie climatique (en tant que matériau permettant d'assurer les flux d'énergie thermique dans les systèmes de chauffage ou de refroidissement par exemple).