

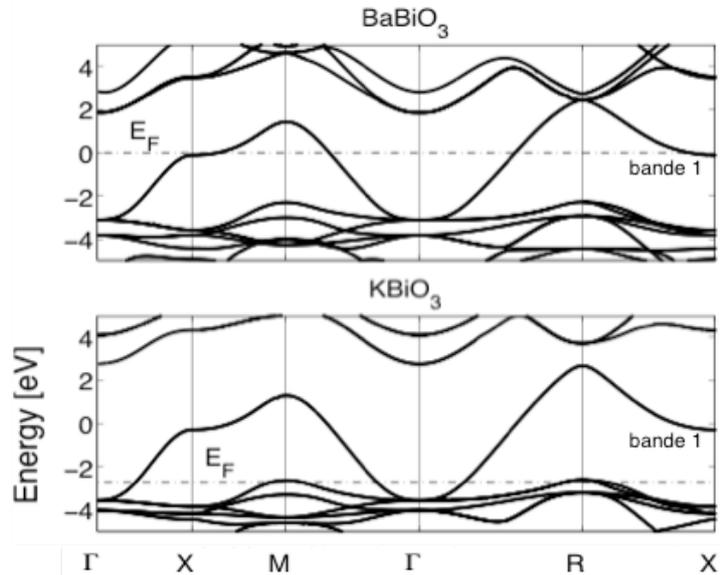
Master 1 de Physique, Université Grenoble - Alpes

Examen de « Physique du Solide II »

Vendredi 12 Mai 2017 - 1 page A4/RV autorisée

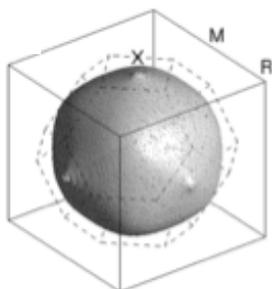
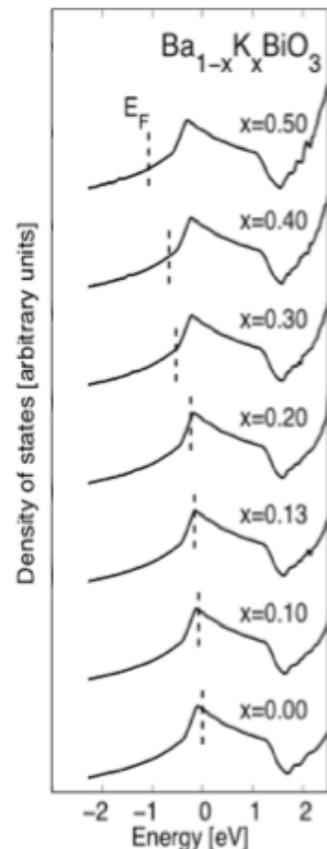
$$N=6.02.10^{23}, k_B=1.3810^{-23} \text{ (J/K)}, m_e=9.110^{-31} \text{ (kg)}, e=1.610^{-19} \text{ (C)}, h=6.610^{-34} \text{ (Js)}$$

Le système $K_xBa_{1-x}BiO_3$ cristallise dans une structure cubique (de paramètre $a = 4.28\text{\AA}$) : les Bi occupent les sommets du cube, les O les centres de faces et le centre du cube peut être occupé soit par un atome de K soit par un atome de Ba. La figure ci-contre présente les relations de dispersion pour $x=0$ et $x=1$. Le point Γ est le centre de la 1^{ere} zone de Brillouin, $R=[1,11]$, $X=[1,0,0]$ et $M=[1,1,0]$ (en unité de π/a). Les énergies sont comptées à partir du niveau de Fermi pour $x = 0$.



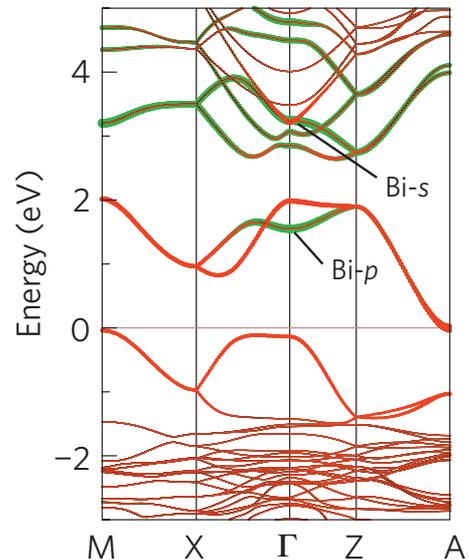
1. Rappelez brièvement la signification (a) des zones de Brillouin, et de l'espace réciproque (b) du niveau de Fermi et de la surface correspondante. Donnez une estimation de la masse effective au voisinage du point Γ pour $x=1$ (bande 1, on supposera par la suite que cette masse effective est isotrope et indépendante de x - sauf Q8).

2. La figure ci-contre montre l'évolution du niveau de Fermi au sein de la densité d'états, pour différentes valeurs de x (les différentes courbes ont été décalées verticalement les unes par rapport aux autres). Expliquez qualitativement l'origine (a) du « creux » pour $E \sim 1.8 \text{ eV}$ (b) du pic pour $E = -0.3 \text{ eV}$. Pourquoi E_F se décale-t-il vers des énergies de plus en plus faible lorsque x augmente.



3. La surface de Fermi pour $x \sim 0.13$ est représentée ci-contre. Expliquez brièvement l'origine du « pincement » au point X. Tracez schématiquement l'allure de cette surface de Fermi dans le plan $k_z = 0$ pour $x \sim 0$ et $x \sim 0.3$. Le composé est-t-il métallique ou isolant (justifiez votre réponse), précisez - le cas échéant - la nature des porteurs pour ces deux valeurs de x .

4. La valence théorique du Bismuth est Bi^{4+} mais cette valence n'existe pas et il apparaît alors une instabilité du type « onde de densité de charges » (ODC) liée à l'alternance de Bi^{3+} et Bi^{5+} . La nouvelle relation de dispersion est représentée ci-contre. On dit que le composé est alors semi-métallique pour $x=0$. Justifiez brièvement cette appellation. Tracez schématiquement l'évolution de la densité d'états ($g(E)$) au voisinage de $E=0$. On suppose dans la suite que $g(E) = A|E|^{1/2}$, justifiez cette expression et donnez une valeur approchée de A (en états/eV.maille).



5. On note N_e le nombre d'électrons dans la bande de conduction ($E>0$) et N_t le nombre de trous dans la bande de valence ($E<0$), lorsque T est non nulle. Exprimez N_e sous la forme d'une intégrale (que l'on ne calculera pas) et justifiez pourquoi on peut supposer ici que $g(E) = A|E|^{1/2}$ pour tout E . Justifiez que :

$$N_t = \int_0^{E_F} g(\epsilon) \left(1 - \frac{1}{e^{\beta(\epsilon-\mu)} + 1}\right) d\epsilon$$

Rappelez la signification de β et μ et montrez que :

$$N_t = A[k_B T]^{1.5} \int_0^\infty \frac{\sqrt{x}}{\alpha e^x + 1} dx$$

Exprimez α en fonction de β et μ et justifiez pourquoi la neutralité électrique impose $\mu=0$.

6. Montrez que l'énergie moyenne est de la forme $E=E_0+BT^{2.5}$ (sans calculer explicitement les coefficients E_0 et B) et déduisez-en la dépendance en température de la chaleur spécifique. Comparez cette dépendance à celle obtenue dans un métal standard et expliquez brièvement l'origine de la différence entre ces deux comportements.

7. **Pour $x > 0.4$** , le composé devient supraconducteur en dessous de 31K (l'ODC est alors détruite et on retrouve les courbes de dispersion données en Q1). Rappelez quels sont les ingrédients physique à la base de la supraconductivité. La longueur de cohérence $\xi = \hbar v_F / \pi \Delta$ où $\Delta \sim 2k_B T_c$. Donnez une valeur approchée de ξ ainsi que du champ critique H_{c2} liée à cette grandeur. Quelle est la caractéristique de l'état supraconducteur pour $H < H_{c2}$?

8. Donnez la valeur de k_F et la densité de porteurs **pour $x=1$** en supposant que l'on puisse appliquer un modèle d'électrons presque libres isotropes (comme pour la question 7 l'ODC est ici détruite et on retrouve la courbe de dispersion donnée en Q1), en déduire la valeur de la valence de ce composé. La surface de Fermi est en fait cubique et non pas sphérique. Comment peut-on justifier (qualitativement) cette forme. Recalculez la valence pour cette géométrie de la surface de Fermi.