



Quand un isolant topologique robuste côtoie un ferrimagnétique dur

Les isolants topologiques 3D, dont Bi_2Se_3 est un archétype, forment une nouvelle classe de matériaux aux propriétés électroniques étonnantes : isolants en volume, ils sont conducteurs en surface. Parvenir à élaborer des structures combinant isolants topologiques et matériaux magnétiquement ordonnés est important pour étudier les possibles effets de proximité qui induisent de nouvelles propriétés aux interfaces. Dans ce contexte, des chercheurs de l'équipe « Croissance et propriétés de systèmes hybrides en couches minces » de l'INSPI viennent de mettre au point par épitaxie par jets moléculaires des nanocomposites combinant les propriétés topologiques de Bi_2Se_3 et les propriétés magnétiques dures de Fe_3Se_4 . Ce travail a été réalisé en collaboration avec des équipes de l'UFSCar (Brésil) et des synchrotrons Elettra (Italie) et Soleil.

Au milieu des années 2000, des calculs théoriques ont prédit l'existence de composés appelés isolants topologiques 3D qui sont isolants en volume et métalliques en surface. Ceci est dû à des états topologiques de surface dont l'existence est liée à une inversion des bandes électroniques en surface par rapport au volume. Ces prédictions ont été suivies par la mise en évidence expérimentale de l'existence de ces isolants topologiques 3D, ce qui a suscité de nombreuses recherches autour de cette nouvelle classe de matériaux aux propriétés électroniques particulières. Un des isolants topologiques les plus étudiés est Bi_2Se_3 dont la croissance en couches minces par épitaxie par jets moléculaires est maîtrisée à l'INSPI. Lors de ces trois dernières années, des études menées au sein de l'Institut ont notamment démontré que la structure électronique et les propriétés vibrationnelles de Bi_2Se_3 dépendent de façon critique de l'épaisseur dans les couches minces^{1,2,3}.

Une des pistes de recherches explorée à l'heure actuelle porte sur la possible compatibilité de ces isolants topologiques avec d'autres matériaux, dans des hétérostructures, des composés dilués ou bien encore des nanocomposites (inclusion d'un composé dans une matrice d'isolant topologique). Dans ce contexte, réussir à coupler un isolant topologique avec un matériau ordonné magnétiquement ou un matériau supraconducteur permet ensuite d'aborder des problématiques telles que les effets de proximité sur l'état topologique de surface. À cet égard, de nombreux résultats publiés récemment dans la littérature concernent le système $\text{Fe}+\text{Bi}_2\text{Se}_3$. Les chercheurs de l'équipe « Croissance et propriétés de systèmes hybrides en couches minces » ont étudié ce système et ont démontré que l'incorporation de Fe dans Bi_2Se_3 conduit, dans la fenêtre de paramètres de croissance optimaux pour Bi_2Se_3 , à la formation d'un nanocomposite.

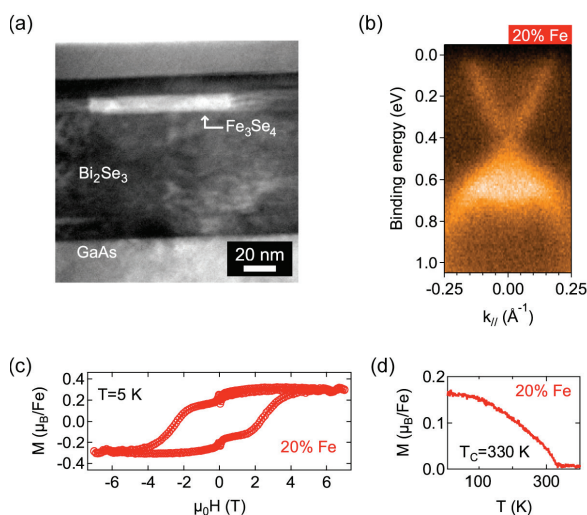
1 Photon energy dependence of circular dichroism in angle-resolved photoemission spectroscopy of Bi_2Se_3 Dirac states. F. Vidal, M. Eddrief, B. RacheSalles, I. Vobornik, E. Velez-Fort, G. Panaccione, and M. Marangolo, *Physical Review B* 88, 241410(R) (2013).

2 Low-temperature Raman fingerprints for few-quintuple layer topological insulator Bi_2Se_3 films epitaxied on GaAs. M. Eddrief, P. Atkinson, V. Etgens, and B. Jusserand, *Nanotechnology* 25,245701 (2014).

3 Optical properties of Bi_2Se_3 : from bulk to ultrathin films. M. Eddrief, F. Vidal, and B. Gallas, in prep.

Ce nanocomposite est obtenu en incorporant des atomes de Fe (jusqu'à une teneur de 20%) dans une couche mince d'isolant topologique pendant la croissance par épitaxie par jets moléculaires. Des plaquettes de Fe_3Se_4 se forment alors au sein de la couche de Bi_2Se_3 [figure (a), image de microscopie électronique avec contraste chimique]. La formation de nanocomposites a également été confirmée par des études de rétrodiffusion Rutherford¹. La formation de Fe_3Se_4 a pu être démontrée par diffraction des rayons X, mettant en évidence la structure cristallographique monoclinique de ce composé.

L'état topologique de Bi_2Se_3 est préservé, même à une teneur en Fe de 20% ! En effet, la persistance du cône de Dirac sur la surface dans le système $\text{Fe}_3\text{Se}_4:\text{Bi}_2\text{Se}_3$ a été vérifiée par spectroscopie de photoémission résolue en angle [figure (b)]. La bonne nouvelle est que même les propriétés magnétiques particulières de Fe_3Se_4 (ferrimagnétique dur avec une température de Curie supérieure à la température ambiante) sont préservées dans le nanocomposite avec un champ coercitif $\mu_0 H_c \sim 2,5$ T à basse température [figures (c) et (d)] et une aimantation rémanente non nulle à la température ambiante.



Figure

(a) Image d'une couche mince de nanocomposite $\text{Fe}_3\text{Se}_4:\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{GaAs}(111)$ en section transverse obtenue en perte d'énergie à 60 eV. La zone claire est riche en Fe.

(b) Cône de Dirac au point Γ de la première zone de Brillouin mesuré par spectroscopie de photoémission résolue en angle.

(c) Cycle d'hystérésis magnétique obtenu à une température de 5 K pour un nanocomposite $\text{Fe}_3\text{Se}_4:\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{GaAs}(111)$ contenant 20% de Fe. Le champ coercitif de l'ordre de $\mu_0 H_c = 2,5$ T est caractéristique d'un composé dur magnétiquement.

(d) Courbe d'aimantation à rémanence en fonction de la température démontrant que la température critique est supérieure à l'ambiante.

Le contrôle de la distribution et de la taille des plaquettes reste un défi à ce stade. Néanmoins, ces résultats indiquent des pistes pour la croissance de nanocomposites mariant isolants topologiques et composés présentant un ordre magnétique collectif. De tels systèmes pourraient présenter un intérêt pour des études fondamentales sur les effets de proximité où un matériau en contact avec l'isolant topologique induit l'émergence d'une nouvelle propriété à l'interface.

Référence

"Magnetically Hard Fe_3Se_4 Embedded in Bi_2Se_3 Topological Insulator Thin Films Grown by Molecular Beam Epitaxy"

H. M. N. Vasconcelos, M. Eddrief, Y. Zheng, D. Demaille, S. Hidki, E. Fonda, A. Novikova, J. Fujii, P. Torelli, B. RacheSalles, I. Vobornik, G. Panaccione, A. J. A de Oliveira, M. Marangolo, and F. Vidal
ACS Nano, 10, 1132 (2016)

Contacts

Mahmoud Eddrief : eddrief@insp.upmc.fr

Franck Vidal : vidal@insp.upmc.fr

¹ Rutherford Backscattering Spectroscopy analysis of iron-containing Bi_2Se_3 topological insulator thin films. V. Alarcon-Diez, M. Eddrief, and I. Vickridge, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, in press.