

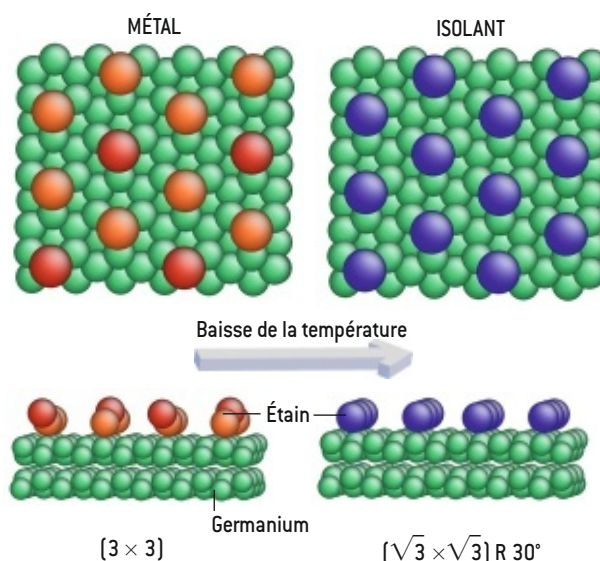
UNE TRANSITION DE PHASE LIÉE À LA STRUCTURE DU MATÉRIAU

La structure cristalline d'un matériau a une grande influence sur ses propriétés électroniques, car une modification de la géométrie du réseau peut affecter directement la structure des bandes. Ce couplage entre la structure cristalline et la structure de bande s'observe par exemple dans le cas du système constitué d'une monocouche d'étain (*en rouge ou en bleu*) déposée sur un substrat de germanium (*en vert*) lorsque la température diminue.

On constate en effet que l'arrangement, ou « reconstruction », noté (3×3) caractérise le système pour les hautes températures et en fait un conducteur. La

maille du réseau atomique de cette reconstruction comprend donc trois atomes d'étain, dont deux sont à la même hauteur et le troisième est surélevé (*ci-contre à gauche*).

Quand la température diminue, le réseau cristallin se réorganise toutefois et adopte la reconstruction $(\sqrt{3} \times \sqrt{3}) R 30^\circ$, qui en fait un isolant (*ci-contre à droite*). La maille de cette reconstruction ne comprend qu'un seul atome d'étain, et tous les atomes d'étain sont désormais disposés sur le même plan. Dans cette géométrie, les interactions entre électrons deviennent trop fortes pour pouvoir être vaincues avec l'énergie cinétique des électrons, qui ne circulent plus.



A. Mascaraque et A. Tejeda

dans notre système : la reconstruction (3×3) de la phase à haute température est plus grande que la reconstruction $(\sqrt{3} \times \sqrt{3}) R 30^\circ$ adoptée par le système à basse température. La transition que nous avons observée n'étant ni celle d'Anderson ni celle de Peierls, il s'agit bien d'une transition de Mott.

Notre découverte, c'est-à-dire la certitude de l'existence d'une transition de Mott en surface, a été suivie de nombreux travaux sur ce thème. Ainsi, Gianni Profeta et ses collègues et Erio Tosatti, de l'École internationale de Trieste (SISSA), en Italie, ont confirmé par des calculs l'existence d'un état fondamental isolant de Mott pour des systèmes étain sur germanium ou étain sur silicium, qui seraient en plus antiferromagnétiques. Cela signifie que dans ces systèmes, les spins des atomes voisins tendent à s'aligner, mais avec des orientations opposées, au contraire de ce qui est le cas dans les milieux ferromagnétiques. Ces chercheurs proposent que l'augmentation du désordre dans le système (mesuré par l'entropie) est le moteur de la transition métal-isolant.

En 2007, Silvio Modesti et ses collègues, du Laboratoire national pour les technologies avancées et les nanosciences à Trieste, en Italie, ont observé l'état isolant de Mott pour le système étain sur silicium. La structure se révèle semblable à celle du système étain sur germanium,

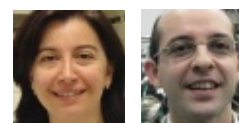
de sorte que la théorie des bandes en fait aussi un système métallique. La photoémission à haute résolution et la spectroscopie locale par microscope à effet tunnel montrent au contraire que ce système présente une transition de Mott et devient isolant au-dessous de 150 kelvins.

Le mécanisme exact de la transition reste à élucider

Tous ces exemples d'isolants de Mott suggèrent qu'un mécanisme général de transition de Mott en surface existe, et qu'il est susceptible de se déclencher aussi sur d'autres surfaces obtenues par dépôt d'une couche métallique sur un substrat semi-conducteur. À ce propos, des études de 2008 et 2009 de Harumo Morikawa, à Séoul, de Stefano Colonna, à Rome, et de leurs collègues confirment la présence d'états peu conducteurs dans les systèmes étain sur germanium à basse température. Cela renforce l'impression que les systèmes à base d'étain sur germanium et étain sur silicium constituent une sorte de prototype de matériau à transition de Mott.

Vers où tout cela mène-t-il ? Si nous disposons grâce à ces avancées d'une classe de systèmes d'étude de la transition de Mott, il reste à élucider son mécanisme exact. Nous élaborons actuellement un modèle de la dynamique de la transition,

LES AUTEURS



Arantzazu MASCARAQUE est professeur de physique à l'Université Complutense de Madrid, en Espagne.

Antonio TEJEDA est physicien à l'Institut Jean Lamour du CNRS, à Nancy.

BIBLIOGRAPHIE

L. Chaput *et al.*, Giant alkali-metal-induced lattice relaxation as the driving force of the insulating phase of alkali-metal/Si(111):B, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 107, 187603, 2011.

R. Cortès *et al.*, Observation of a Mott insulating ground state for Sn/Ge(111) at low temperature, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 96, 126103, 2006.

G. Profeta et E. Tosatti, Triangular Mott-Hubbard insulator phases of Sn/Si(111) and Sn/Ge(111) surfaces, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 98, 086401, 2007.

S. Modesti *et al.*, Insulating ground state of Sn/Si(111)-(3x3) R30°, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 98, 126401, 2007.