

Cu₂Ge : un nouveau semi-métal topologique 2D

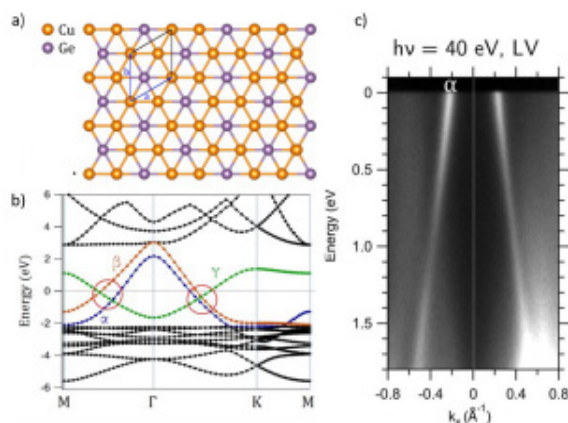
Parmi de nombreux systèmes métal/semiconducteur, les alliages cuivre/germanium ont été étudiés dès les années 1990 afin de comprendre les mécanismes de formation de barrières Schottky, à la base des diodes du même nom. Ce système, tombé en désuétude depuis, a trouvé récemment un regain d'intérêt grâce à des calculs DFT (théorie de la fonctionnelle de la densité), prédisant pour l'alliage bi-dimensionnel (2D) Cu₂Ge une structure de bande présentant une intersection 1D des bandes de valence et de conduction, caractéristique d'un semi-métal topologique dit à ligne nodale de Dirac. Des membres de l'équipe Spectroscopie des nouveaux états quantiques de l'INSPI montrent pour la première fois expérimentalement qu'il est possible de synthétiser Cu₂Ge sur un cristal de cuivre et que sa structure électronique présente les caractéristiques attendues dans le cas purement 2D. Ses propriétés font de cet alliage un bon candidat pour des applications en électronique haute fréquence mais aussi un système idéal pour l'étude des propriétés exotiques qui peuvent émerger dans les matériaux à lignes nodales.

Les matériaux bi-dimensionnels sont largement étudiés pour leurs propriétés exceptionnelles qui permettent d'envisager des applications dans de nombreux domaines tels que le photovoltaïque, la catalyse, la microélectronique ou le biomédical.

Certains de ces systèmes 2D présentent de plus des propriétés topologiques, ce qui augmente encore les possibilités de voir émerger de nouvelles propriétés électroniques sans équivalent dans les matériaux volumiques.

C'est le cas de Cu₂Ge, un alliage constitué d'un plan atomique de cuivre et de germanium. Alors que les alliages Cu/Ge ont déjà été étudiés il y a plusieurs décennies pour la formation des barrières Schottky, des calculs DFT beaucoup plus récents apportent un nouvel éclairage sur ces systèmes. Ils montrent en effet que dans le cas d'une couche 2D de Cu₂Ge, la structure de bande doit présenter 3 cônes qui se croisent le long de deux lignes fermées. Ce sont ces « boucles » qui sont appelées lignes de Dirac. Si ces lignes sont proches du niveau de Fermi, cela confère au matériau deux propriétés intéressantes : la possibilité d'obtenir des densités de porteurs bien supérieures à celles du graphène tout en conservant une vitesse très élevée pour ces porteurs.

Nos résultats expérimentaux montrent pour la première fois qu'il est possible de synthétiser une monocouche de Cu₂Ge par dépôt de germanium sur un substrat qui est un monocristal de cuivre. Des mesures en photoémission résolue en angle réalisées sur la ligne URANOS du synchrotron Solaris, combinées à des calculs DFT, permettent de confirmer la stoechiométrie de l'alliage. De plus, la structure de bande mesurée présente les caractéristiques attendues pour une couche de Cu₂Ge « free-standing », avec deux lignes de Dirac provenant de l'intersection de 3 bandes ayant des dispersions linéaires, démontrant ainsi que les interactions alliage 2D/substrat sont très faibles dans ce système.



Figure

a) Structure atomique de Cu₂Ge.
 b) Structure de bande calculée par DFT.
 c) Spectre ARPES mesuré dans la direction Γ -K . Seule la bande α est visible dans ces conditions d'énergie de photons et de polarisation.

Nos travaux prouvent ainsi l'intérêt de Cu_2Ge pour des composants en électronique haute fréquence. Trouver un substrat isolant adapté à sa croissance permettrait une avancée décisive vers ces applications. Fondamentalement, Cu_2Ge sur cuivre apparaît comme un matériau simple permettant d'étudier expérimentalement l'émergence de propriétés exotiques dans les systèmes à lignes nodales.

Référence

Synthesis and characterisation of Cu_2Ge , a new two-dimensional Dirac nodal line semimetal

Cameau, Mathis; Olszowska, Natalia; Rosmus, Marcin; Silly, Mathieu G.; **Cren, Tristan; Malecot, Axel;**

David, Pascal; D'angelo, Marie

2D Materials, 11 035023 (2024)

Contact

Marie D'angelo : dangelo(at)insp.jussieu.fr