



Une transition de phase quantique supraconducteur-isolant mesurée en deux dimensions

La transition supraconducteur-isolant en deux dimensions est un prototype de transition de phase quantique pouvant avoir lieu à très basse température, en l'absence de fluctuations thermiques, piloté par la variation d'un paramètre comme le désordre, le dopage, ou le champ magnétique. Elle est étudiée expérimentalement pour découvrir la nature fondamentale de l'état supraconducteur impliqué et pour mettre à l'épreuve des conjectures théoriques. Trois membres de l'IMPMC ont réussi le défi technique de mesurer cette transition dans une couche ultra-mince de BSCCO, un supraconducteur lamellaire, d'épaisseur d'une seule maille unitaire. Son dopage a pu être modifié de manière continue, provoquant une transition entre un état supraconducteur et un état isolant. La variation de la résistance pour différentes valeurs du dopage suit une loi d'échelle universelle compatible avec les mesures dans d'autres composés de la même famille de supraconducteurs.

La transformation des cuprates avec l'augmentation du dopage, de l'isolant antiferromagnétique au supraconducteur, est un exemple d'une transition de phase quantique continue. Mesurer cette transformation dans un dispositif parfaitement bidimensionnel de l'épaisseur d'une maille élémentaire est important car la nature de la transition est une indication directe de la nature de la supraconductivité à haute température critique. S'agit-il d'une transition en trois étapes, de l'isolant au métal fermionique et du métal fermionique au supraconducteur à fermion apparié (paire de Cooper, supraconductivité prédite par Bardeen, Cooper et Schrieffer) ? Ou est-ce une transition théoriquement prévue (par Berzetski, Kosterlitz et Thouless) entre des paires de Cooper localisées dans un isolant et des paires de Cooper délocalisées dans un supraconducteur ?

Pour répondre à cette question, il faut d'abord fabriquer des dispositifs 2D de haute qualité pouvant être dopés pour provoquer la transition puis effectuer les mesures et enfin faire l'analyse pour déterminer les valeurs de dopage et les exposants critiques correspondants. Chacune de ces étapes présente des défis considérables qui ont pu être surmontés grâce à notre expérience dans les dispositifs de matériaux 2D. Dans nos travaux, nous présentons plusieurs innovations, y compris notre méthode de fabrication de dispositifs et celle de dopage par charge d'espace électrostatique appliquée pour la première fois pour étudier cette transition. Les méthodes utilisées dans des études antérieures pouvaient introduire du désordre ou la contamination des échantillons 2D ultra-sensibles.

Le problème central et crucial de ces études est la détermination des niveaux de dopage puisque le dopage est le paramètre moteur de la transition. Les approches simples (modèles de Drude, mesures Hall), bien qu'utilisées dans toutes les études antérieures ne sont pas justifiées étant donné la structure électronique complexe de ces matériaux. Nous développons une méthode empirique alternative compatible avec le diagramme de phase générique de la supraconductivité à haute température critique, compatible avec nos résultats antérieurs, ainsi qu'avec d'autres études.

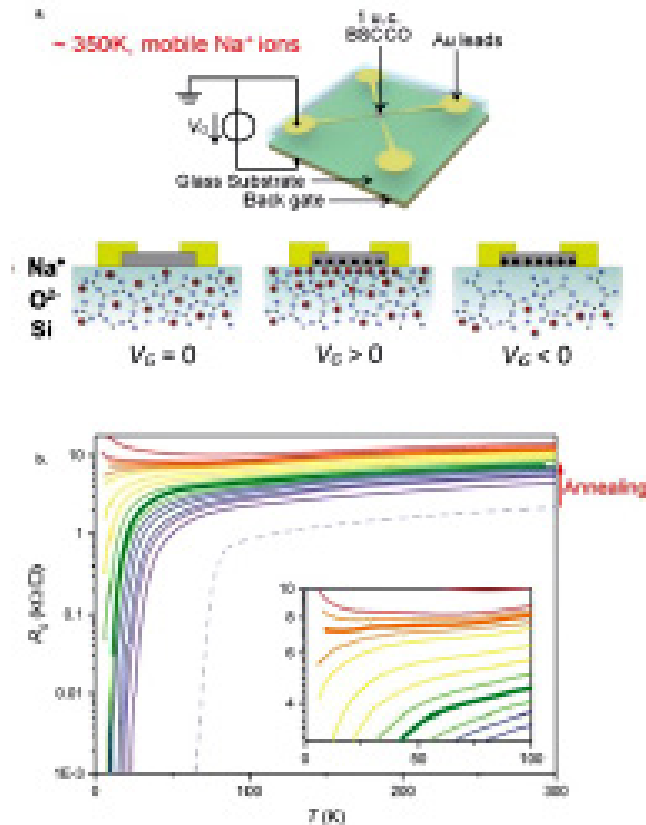


Figure 1

Haut : schéma du dispositif et de la méthode de dopage en utilisant la mobilité des ions alcalins du substrat de verre.

Bas : variation de la résistance dans le dispositif de BSCCO d'une épaisseur d'une seule maille unitaire (3 nm) en fonction du dopage électrostatique. L'échantillon initialement supraconducteur (courbes violettes) passe directement à l'état isolant quand le dopage est progressivement diminué. L'encart montre cette transition plus en détail. Ces données sont ensuite analysées pour déduire les paramètres d'échelle correspondant à la transition.

Nous trouvons que cette transition supraconducteur-isolant est régie par la fluctuation de phase du paramètre d'ordre entre un régime avec paires de Cooper localisées (isolant) et celui avec les paires délocalisées (supraconducteur). Les valeurs trouvées à la transition pour la résistance quantique critique, le dopage critique et les exposants d'échelle correspondent à celles trouvées dans d'autres composés antérieurement. Ces résultats aident à établir l'universalité de cette transition de phase quantique dans les supraconducteurs à haute température critique et suppriment les points d'interrogation dus à la dispersion de ces paramètres critiques dans certains composés.

Notre travail établit l'universalité de cette transition de phase quantique dans les supraconducteurs à haute température critique. Nous avons utilisé une méthode expérimentale nouvelle permettant une mesure dans un seul dispositif bidimensionnel, en variant le dopage par une méthode électrostatique. Outre l'importance pour le domaine des transitions de phase quantiques continues, les implications sont précieuses pour la compréhension de la supraconductivité.

Référence

"Superconductor-Insulator Transition in space charge doped one unit cell $\text{Bi}_{2.1}\text{Sr}_{1.9}\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ "
Fang Wang, Johan Biscaras, Andreas Erb and Abhay Shukla

NATURE COMMUNICATIONS (2021)12:2926 <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23183-z>

Contacts

Johan Biscaras : johan.biscaras(at)sorbonne-universite.fr
 Abhay Shukla : abhay.shukla(at)sorbonne-universite.fr