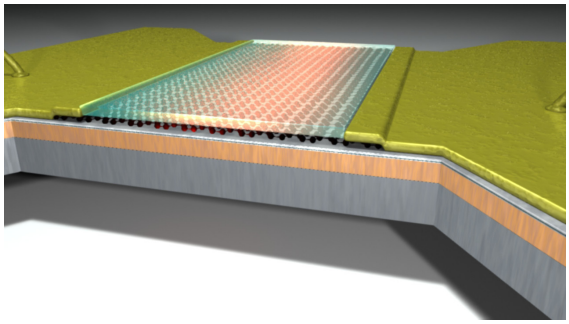
Des supercollisions pour refroidir les électrons du graphène

Décembre 2012

Des physiciens ont mis en évidence un nouveau mécanisme efficace de refroidissement des électrons dans le graphène non dopé : en interagissant avec une impureté du réseau cristallin, l'électron émet un quantum de vibration plus énergétique que d'ordinaire.

Lorsque les électrons d'un conducteur électrique ont été chauffés par une impulsion lumineuse ou le passage d'un courant électrique, ils se refroidissent en cédant leur énergie au réseau cristallin. Dans le mécanisme habituel, les électrons les plus énergétiques cèdent leur énergie au réseau cristallin par émission d'un phonon, c'est-à-dire d'un paquet quantique d'énergie de vibration. Dans le graphène, une feuille de carbone à deux dimensions, les électrons de conduction sont très peu nombreux et chacun ne peut émettre que des phonons de relativement faible énergie. Des physiciens du Laboratoire Pierre Aigrain - LPA (CNRS - ENS - UPMC - Univ. Paris Diderot), simultanément avec un groupe de l'Université Cornell, viennent de mettre en évidence expérimentalement un nouveau processus de refroidissement qui avait été récemment prédit théoriquement. L'électron émet un phonon d'énergie bien plus importante lorsqu'il entre en collision avec une impureté. Ce mécanisme est bien plus rare que l'émission « ordinaire » d'un phonon, mais, au final, beaucoup plus efficace pour évacuer l'énergie de l'électron. Ce travail fait l'objet d'une publication dans la revue *Nature Physics*.

Le contrôle des électrons chauds, c'est-à-dire de haute énergie est une préoccupation permanente en électronique. Une température électronique excessive dégrade certaines propriétés comme l'ouverture et la fermeture des portes logiques. A l'inverse, la facilité de produire des porteurs chauds rapidement et en quantité sous l'effet du rayonnement permet d'accroître considérablement la sensibilité des détecteurs de photons. Cette question est redevenue d'actualité depuis la découverte du graphène en 2004, car ce conducteur est doté d'électrons de haute vitesse et de grande mobilité. En outre, la concentration en électrons est ajustable par effet électrostatique dans une large gamme jusqu'à des densités assez faibles. Les propriétés spécifiques du graphène, dues notamment à sa nature bidimensionnelle, modifient considérablement le comportement des électrons, des vibrations du réseau, et de leurs interactions. Pour mettre en évidence les mécanismes en jeu dans ce matériau, les physiciens du LPA ont réalisé une expérience de thermométrie de bruit consistant à utiliser une feuille de graphène, refroidie à la température de l'hélium liquide, à la fois comme radiateur et comme thermomètre. La feuille de graphène est soumise à une forte densité de courant continu qui échauffe les porteurs par effet Joule. La température électronique est mesurée par l'intensité des fluctuations thermiques de courant à haute fréquence (bruit Johnson) ; celle des phonons est évaluée par spectroscopie Raman (dans l'expérience de Cornell, l'excitation est optique et c'est le temps de relaxation qui est mesuré). Grâce à ces mesures, les physiciens ont mis en évidence une dépendance de la puissance de refroidissement des électrons en cube de la température, comme prédit par le théoricien L. Levitov (MIT) qui a proposé comme mécanisme de refroidissement l'interaction à trois corps électron, phonon, impuretés. Ce mécanisme reste invisible dans la conductivité électrique, mais prévaut à dopage faible et en présence de désordre dans le refroidissement des porteurs. En levant la contrainte sur la quantité de mouvement, les super-collisions libèrent l'émission de phonons très énergétiques et, par là, permettent un refroidissement plus efficace des électrons.



Vue d'artiste de l'échantillon de graphène montrant le réseau cristallin (boules), le gaz électronique chaud (nuage rougeoyant), le substrat (gris foncé), sa couverture d'oxyde (orange), le revêtement de nitrure de bore (gris clair), et les contacts (ocre).

En savoir plus

Supercollision cooling in undoped graphene, A. C. Betz[1], S. H. Jhang[1], E. Pallecchi[1,2], R. Ferreira[1], G. Fève[1], J-M. Berroir[1] et B. Plaçais[1] *Nature Physics* (2012)

Retrouvez l'article de la publication sur la **base ouverte *arXiv*.**

Contact chercheur

Bernard Plaçais, directeur de recherche CNRS

Informations complémentaires

- [1] **Laboratoire Pierre Aigrain (LPA),** CNRS - ENS - UPMC - Univ. Paris Diderot
- [2] **Laboratoire de Photonique et de Nanostructures (LPN),** CNRS