

Quantification de l'effet Hall quantique dans des feuillet de graphène exfolié

-

Etude en vue d'une application en métrologie des résistances

June 24, 2011

Depuis 1990, l'Effet Hall Quantique (EHQ) observé dans un gaz bidimensionnel d'électrons (2DEG) à basse température (1.3 K) et sous fort champ magnétique (10 T) a révolutionné la métrologie des résistances. En effet, l'E HQ permet d'obtenir un étalon quantique de résistance qui ne dépend que de e (charge de l'électron) and h (constante de Planck). A l'heure actuelle, les étalons primaires sont des 2DEGS réalisés dans une hétérostructure GaAs/AlGaAs. Une des missions des métrologues consiste à développer leurs {etalons : par exemple la réalisation d'un étalon de valeur 100 Ω ou rendre les étalons plus pratiques, c'est à dire opérant à plus haute température ou sous un champ magnétique plus faible.

Dans ce contexte, la physique du graphène intéresse fortement les métrologues. La monocouche de graphène est un feuillet d'atomes de carbone arrangés dans un réseau en nid d'abeille. Ce feuillet ne fait qu'un atome d'épaisseur. Dans ce matériau, les électrons reproduisent le comportement de particules relativistes sans masse. Sous fort champ magnétique, le spectre des niveaux de Landau est : $\epsilon_n = \pm v_F \sqrt{2\hbar n e B}$. La bicouche de graphène correspond à l'empilement de deux monocouches l'une sur l'autre ; les électrons retrouvent alors une masse effective ($m^* \approx 0.035m_e$). Sous fort champ magnétique, le spectre des niveaux de Landau est : $\epsilon_n = \pm \hbar e B / m^* \sqrt{n(n-1)}$. De plus grands écarts en énergie entre les premiers niveaux de Landau, $36\sqrt{B[T]}$ meV et $3.1B[T]$ meV respectivement dans une monocouche et dans une bicouche, que dans le cas de GaAs ($1.7B[T]$ meV) permettent d'envisager la réalisation d'étalons primaires plus pratiques en graphène.

Pendant la thèse, nous avons mis au point un protocole pour fabriquer des barres de Hall à base de graphène exfolié au CEA/Saclay. Après la réalisation d'un système de repérage sur la surface d'un substrat recouvert d'oxyde de silicium, on réalise l'exfoliation de grains de graphite naturels. La localisation des feuillets est faite par microscopie optique et spectroscopie Raman. Les plus grands feuillets sont choisis et électriquement connectés avec un système Ti/Au ou Pd en faisant une lithographie électronique suivie d'une évaporation. Une seconde lithographie électronique nous permet de graver le feuillet avec un plasma Ar:O₂ afin que la barre de Hall remplisse au mieux les critères métrologiques (canal de conduction large, géométrie des contacts bien définies, ...). Après un premier recuit à 110°C, les échantillons sont recouverts de résine pour limiter la contamination. Une fois dans le cryostat, les échantillons sont recuits une seconde fois à 120°C sous vide primaire.

Une fois que l'EHQ a pu être observé au LNE/Trappes, nous avons évalué les résistances des contacts dans une configuration à 3 terminaux (souvent moins de 50 Ω) et nous avons réalisé des mesures de précision de la résistance de Hall (R_H) grâce à un pont de comparaison de résistance basé sur un Comparateur Cryogénique de Courant. Cet outil de mesure permet de comparer indirectement la résistance de Hall dans un feuillet de graphène à la résistance de Hall dans un étalon primaire. Nos mesures dans une bicouche mettent en évidence un plateau de résistance plat à 3×10^{-6} sur une gamme de densité de porteurs égale à $2 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$. En combinant les mesures de précision de la résistance longitudinale (R_{xx}), nous avons montré un accord avec une incertitude relative de 5×10^{-7} à zéro dissipation ($R_{xx} \rightarrow 0$) entre l'EHQ dans la bicouche et l'EHQ dans l'étalon primaire. Il s'agit là des premiers tests de quantification réalisés dans une bicouche de graphène exfolié. Des mesures dans une monocouche nous ont permis d'obtenir le même ordre de grandeur. L'étude de la rupture de l'EHQ en fonction du courant dans la bicouche nous permettra de comprendre pourquoi nous n'avons pas pu réaliser de tests plus précis.