

課題番号 : F-14-RO-0012
利用形態 : 機器利用
利用課題名 (日本語) : 高移動度グラフェン素子の作製と量子輸送現象の研究
Program Title (English) : Quantum Transport in High-Mobility Graphene Devices
利用者名 (日本語) : 八木隆多, 榊原諒二, 戎岡亮哉, 大西純平
Username (English) : R. Yagi, R. Sakakibara, R. Ebisuoka, J. Onishi
所属名 (日本語) : 広島大学大学院先端物質科学研究科
Affiliation (English) : ADSM, Hiroshima University

1. 概要 (Summary)

グラフェンは、炭素原子の二次元シートである。電子速度は光速のおよそ $1/300$ であって、通常半導体と比べて、圧倒的に速いので、未来の超高速能動素子として期待できる。一方、キャリアが、音波、光、ニュートリノなどと同様の線形なエネルギー分散関係をもつことから、新しい物理が期待できる。本研究では、キャリア移動度の高いグラフェンを作製し、それに周期的な穴開け加工を施したサンプル(アンチドットラティス)を作製することで、電子波の干渉性から生じる AAS (Altshuler-Aronov-Spivak) 効果を調べた。

2. 実験 (Experimental)

利用した主な装置: 原子間力顕微鏡 (SPI3800)
高品質なキッシュグラファイトから機械的剥離法によって、グラフェンをつくる。単層グラフェンを作ったのち、これを、 h -BN の剥片の上に転写し、この上に微細な三角格子状に穴のあいた有機パターンを電子線リソグラフィで作製する。このレジストパターンをマスクとして酸素プラズマエッチングを施してグラフェンアンチドットラティスを作製した。電気伝導測定は、液体ヘリウム温度で行い、超電導磁石を用いて磁場を印加することで、磁気抵抗測定をおこなった。ナノプラットで利用した原子間力顕微鏡は、サンプル作製時に、グラフェンの表面に付着しているコンタミネーションの確認をするために用いた。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

低磁場磁気抵抗には、ローレンツ力による電子軌道由来の磁気抵抗が発現するが、それが発現する磁場よりも圧倒的に小さな磁場において、磁気抵抗振動が観測された。その磁気抵抗振動の周期は、磁束密度を B 、アンチドット領域を S としたときに、その領域を貫く磁束 $\Phi = BS$ が量子磁束 $h/2e$ を周期として振動していた。(ここで h はプランク定数、 e は素電荷、周期的な振動構造が見られた。) このような特徴的な周期をもつ振動は、AAS 振動と呼ば

れ、三角格子アンチドット構造に特徴的なものである。この振動は、固体中にランダムポテンシャルを導入したときに、電子波が局在する現象(弱局在現象)深く関連しており、グラフェンの場合にはベリー位相 π の効果があるので反局在現象的、つまり、反転した AAS が期待されるが、実際観測されたのは比較的低移動度のグラフェンで観測された[1]のと同じ位相の振動であった。高移動度グラフェンにおけるこの結果は、キャリアがアンチドットの穴に衝突することでヴァレー間散乱を起こしていることを示す証拠である可能性がある。

4. その他・特記事項 (Others)

参考文献 : (1) R. Yagi *et al.* J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 063707 (2012).

外部資金名 : 文部科学省科学研究補助金 新学術領域原子層科学「原子層の量子物性測定と新規物性探索」

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) 榊原諒二, 大西純平, 八木隆多 日本物理学会 2014 年秋季大会「グラフェンアンチドットの磁場中輸送現象」日本物理学会, 2015 年年会, 2015 年 9 月 9 日

(2) 戎岡亮哉, 榊原諒二, 大西純平, 八木隆多 日本物理学会, 第 70 回年次大会 2015 年 3 月 22 日, 「多層グラフェンアンチドット格子の磁気輸送研究」。

(3) R. Yagi, R. Sakakibara, J. Onishi, APS march meeting, March 3-7, 2014 (San Antonio, USA). “Altshuler-Aronov-Spivak oscillation in graphene antidot lattice”.

6. 関連特許 (Patent)

なし。

用語説明：**h-BN**：六方晶チツ化ホウ素。グラファイトと同じような結晶構造を持つ層状物質。剥離表面は原子平坦なので、表面敏感グラフェンを載せる基板として用いられる。**ヴァレー間散乱**：グラフェンには、K点とK'点の二つの異なるディラック点が存在し、それぞれにディラックコーンが存在する。これらの間の散乱をヴァレー間散乱という。K点とK'点では、ベリー位相（後述）の符号が異なる。**ディラックコーン**：グラフェンは二次元的な線形バンドであるが、そのエネルギーと波数の関係（分散関係）は二つの円錐が頂点（ディラック点）で接する形になっている。これをディラックコーンという。**ベリー位相**：電子の量子力学的位相。位置変数あるいは波数などの断熱的な移動に伴い変化する位相成分でシュレディンガー方程式では決まらない部分。ベリー位相の代表例としては、電子スピンを360度回転させると、スピンの向きが反転するという効果がある。