

二層グラフェンで「バレー流」の生成、検出に初めて成功

～バレーを利用した低消費電力エレクトロニクスの実現へ～

東京大学大学院工学系研究科の島崎祐也（大学院生）、山本倫久講師、樽茶清悟教授らの研究グループは、理化学研究所創発物性科学研究センター、物質・材料研究機構（谷口尚グループリーダー、渡邊賢司 主席研究員）との共同研究により、結晶の対称性を電氣的に制御できる二層グラフェン（図1）において、バレー流の生成、検出に初めて成功しました。電子には、粒子としての性質と同時に波としての性質があります。一般に電子の波は様々な波長や方向を持ちます。しかし、一部の固体結晶中の電子の波は、いくつかの特定の波長や方向が安定な状態となります。そして、電子はこの特定の波長や方向によって区別できます。この自由度をバレーと呼びます。電子は負の電荷を持つため、電子が一方向に流れると電流が発生します。もし異なるバレーの電子が互いに逆向きに流れる（＝“バレー流”が生じる）状況を作って互いの電流を相殺し、これを検出できれば、正味の電流をゼロに保ったまま、バレー流によって情報を伝達することが可能です。この情報伝達はジュール熱によるエネルギー消費を伴わないため、バレー流を用いた低消費電力エレクトロニクスの実現が期待されています。

研究グループは二層グラフェンにおいて電流をバレー流に変換し、電流の漏れ出しを無視できる程度の距離を伝送させた後、バレー流を電流に変換して、これに伴う電圧を検出しました（図2）。二層グラフェンを用いた本研究では、異なるバレーの電子に逆向きに作用する“実効磁場”の大きさを結晶の反転対称性の破れ具合を通じて電氣的に制御しました。これにより、この“実効磁場”を利用した電流-バレー流変換の効率を広範囲で電氣的に制御することが可能になりました。これは、バレー流を用いた低消費電力エレクトロニクスの実現に向けた重要な進展です。本研究の詳細は、英国の学術誌「Nature Physics」に2015年11月16日付けでオンライン掲載(DOI: 10.1038/nphys3551)されました。

問合せ先：東京大学大学院工学系研究科 山本倫久 講師、樽茶清悟 教授

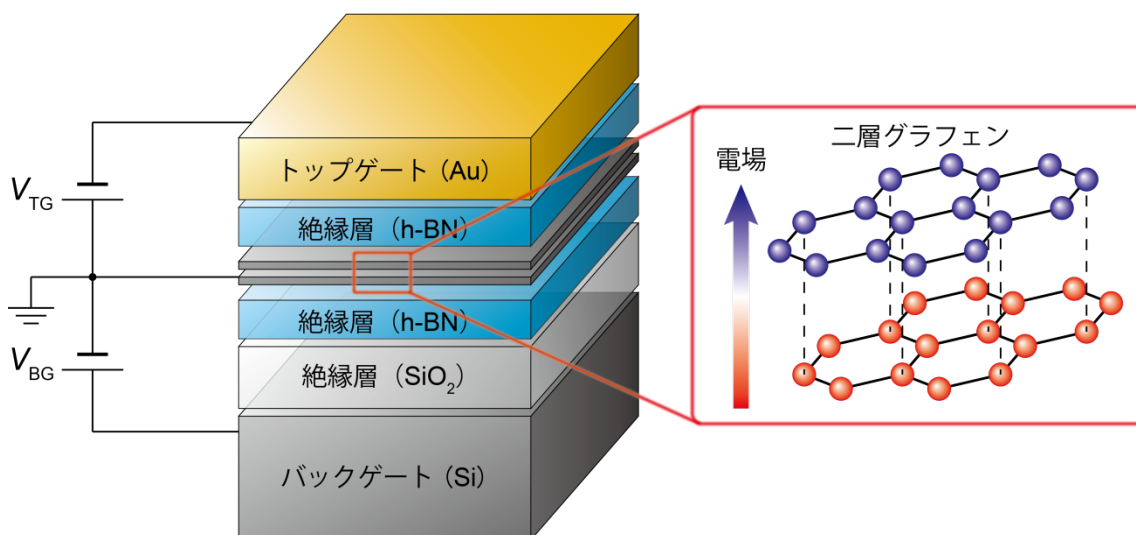


図1：電場で制御された二層グラフェンと制御機構の模式図

左図：制御機構の模式図。トップゲート(金：Au)とバックゲート(ケイ素：Si)に加える電圧を制御することで、垂直電場と電子密度を独立に制御できる。良質なデバイスを実現するため、清浄な絶縁体である六方晶窒化ホウ素 (h-BN) を絶縁層として用いている。右図：電場により制御された二層グラフェンの模式図。電場を加える上層と下層のグラフェンのエネルギーに差ができ、結晶の反転対称性が破れる。

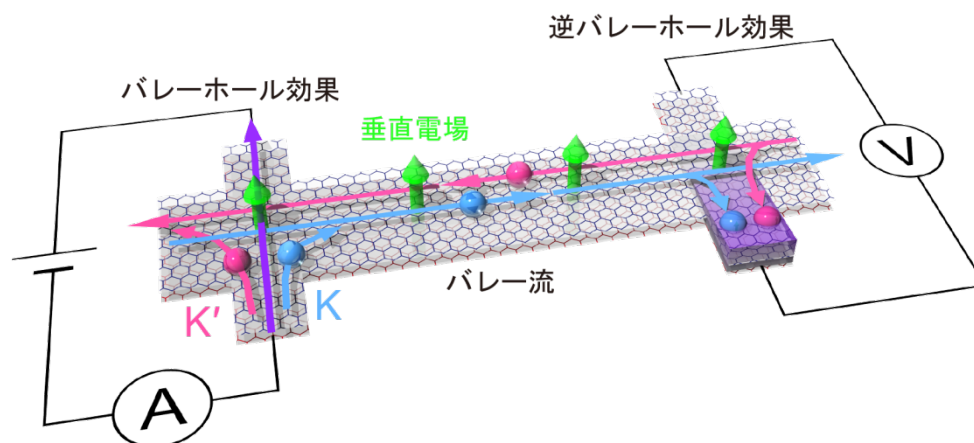


図2：バレー流の伝送の模式図。

二層グラフェンの反転対称性を破るため、垂直電場を印加している。図中の左側の領域で電流がバレー流へと変換される (バレーホール効果)。生成されたバレー流は試料中を伝送し、右側の領域で再度電流に変換され (逆バレーホール効果)、電圧として検出される。実験では、検出された電圧と注入した電流の比 (非局所抵抗) を評価した。