

【電子情報通信分野(電子デバイス)】

【材料・ナノテクノロジー分野(革新的材料・ナノテクノロジー)】

仮訳

グラフェン研究におけるヒネリの効いた新展開 (米国)

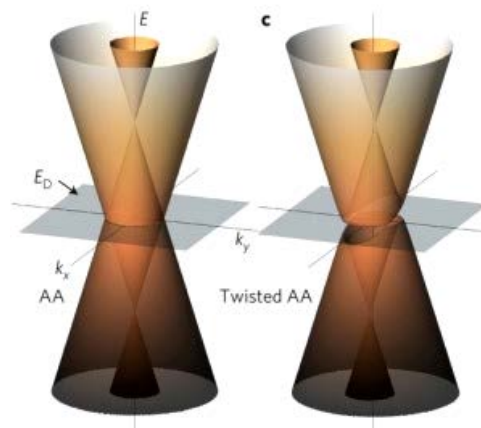
米バークレー・ラボが謎を解く可能性を持つ二層グラフェン内の微細ねじれを発見

2013年8月12日

米国エネルギー省(Department of Energy)のローレンスバークレー国立研究所(Lawrence Berkeley National Laboratory: Berkeley Lab: LBNL)の研究者らは、原子1個分の厚さの純粋な炭素のシートであるグラフェンの研究で独特かつヒネリの効いた新展開を遂げ、これを利用したデバイスの開発の障害となっていた謎を解いたようだ。

グラフェン中の電子は、シリコン中を通る電子の速度の100倍、つまり光に近い速度で駆け巡る。グラフェンはその極薄さと超高速の電導性に加え、超強靱で超フレキシブルであるため、超高速トランジスタ等多くのデバイスのベースとなるエレクトロニクスやフォトンクス分野においてスーパー材料となる可能性を持っている。ただし、ここでの大きな課題は、オン・オフ切替え機能を持つデバイスには必須要件である、電子の流れを完全に止めることがグラフェンでは不可能なことである。

このオン・オフ機能の問題は、単一層のグラフェンが、いかなる電子状態も存在できないエネルギー領域であるバンドギャップを持たないことに起因している。バンドギャップが無ければ、電子の流れの制御や変調ができないため、エレクトロニクスやフォトンクスデバイスで大いに期待されるグラフェンの利用を実現化することができない。バークレー・ラボの研究者らは、外部電場を適用することで二層のグラフェン中に正確に制御したバンドギャップを作ることに成功していたが、このバンドギャップを持つデバイスを製造すると、まるでバンドギャップ内で電導が止まらなくなっていたかのようにデバイスの

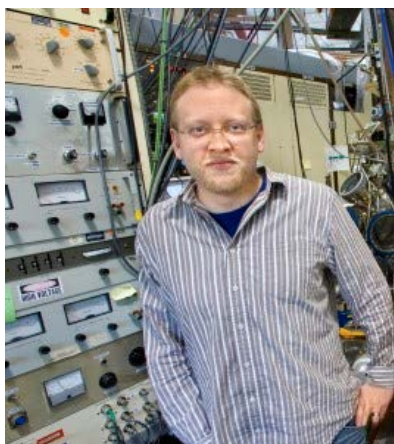


二枚の層がぴったりと重なった場合の二層グラフェンのディラックスペクトル(左)は、層間の連結と対称性を崩すわずかな層間のねじれに伴い変化し、APRES データ上に観られる驚くほど強力な痕跡を持つ新たなスペクトルを生ずる。

(イメージ提供: Keun Su Kim)

挙動がおかしくなった。このようにデバイスが上手く作動しない原因は、これまで科学的な謎となっていた。

DOE 傘下の国立のユーザー施設であるバークレー・ラボの放射光施設である Advanced Light Source (ALS) で働く ALS の科学者、Aaron Bostwick 氏率いる研究チームは、単一層のグラフェンを重ね合わせると僅かなズレが生じ、二層のグラフェン上にほとんど目に見えない微細なねじれができることを発見した。角度が 0.1 度という微細さでも、このねじれは二層グラフェンの電子特性に驚異的な変化をもたらすのだ。



バークレー・ラボ ALS の Aaron Bostwick 氏は、電子特性に大きな影響を与える、二層グラフェン形成における微細なねじれの発見を主導した。
(写真提供: Roy Kaltschmidt)

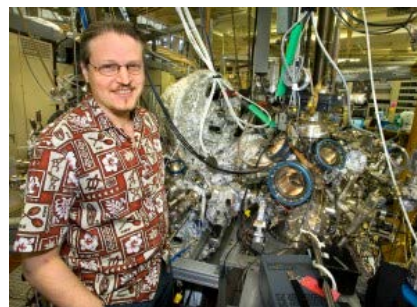
「このねじれができたことで、巨大で重量がゼロのディラック・フェルミオンを作るまったく新しい電子構造が二層グラフェンに出現しました。」と Bostwick 氏は言う。「この新しい電子構造から作られた質量の無いディラック・フェルミオン分枝が、大変強力な電場下にあっても、二層グラフェンが完全な絶縁体となることを妨げるのです。これにより、完璧な、もしくはねじれの無い二層グラフェンをベースとした実際のデバイス利用で、なぜ二層グラフェンが理論予測どおりでなかったのか説明がつかず。」

Bostwick 氏は、「Coexisting massive and massless Dirac fermions in symmertry-broken bilayer graphene」というタイトルで Nature Materials に掲載された本研究の論文の責任著者である。ベルリンのフリッツ・ハー

バー研究所(Fritz Haber Institute)の Keun Su Kim 氏は、この論文の筆頭著者である。他の共著者は、Andrew Walter 氏、Luca Moreschini 氏、Thomas Seyller 氏、Karsten Horn 氏および ALS ビームライン 7.0.1.にて本研究を監督した Eli Rotenberg 氏。

Rotenberg 氏、Bostwick 氏、Kim 氏および共著者らは、ALS ビームライン 7.0.1.にて一連の角度分解光電子分光法(angle-resolved photoemission spectroscopy: ARPES)を実施して、二層グラフェンの謎の解明に取り組んだ。ARPES は、固体物質中の電子状態を調査する技術で、X 線光子のビームを対象となる物質の表面に当てることで電子の光子放出を引き起こす。放出されたそれらの光電子の運動エネルギーと放出角度を測定し、電子スペクトルを把握する。

「ARPES とビームライン 7.0.1.を組み合わせることで、二層グラフェンのねじれの電子スペクトルを容易に把握することができました。」と Rotenberg 氏は言う。「私たちが観察した電子スペクトルは、予想していたものとは大幅に異なっており、質量の無いディラック・フェルミオンから構成される余分な分枝を含んでいました。これらのディラック・フェルミオンは、対称性のねじれ層に制御された、まったく予期せぬ挙動を見せました。」



Eli Rotenberg 氏は、金属、半導体や絶縁体の電子特性を究明する主要な施設である ALS ビームライン 7.0.1.での研究を監督。
(写真提供：Roy Kaltschmidt)

質量の無いディラック・フェルミオン、つまり基本的に光子のような振る舞いをする電子は、通常の電子と同じようなバンドギャップの制約を受けない。Nature Materials に掲載された本研究の論文では、この質量の無いディラック・フェルミオンのスペクトルを作ったねじれは、二層グラフェン製造においてほぼ必ず出現し、二層グラフェンの平方ミクロン当たりたった 10 個の原子の不整合の結果であると考えられるとしている。

「問題を突き止めたので、これからはその解決法を探っていきます。」と筆頭著者の Kim 氏は言う。「例えばこのねじれ効果を最小限に抑える製造技術を開発することや、二層グラフェンのサイズを縮小して、局所的な純物質を作る可能性を高めることもできます。」

二層グラフェンの謎を解明したこと以上に、このねじれの発見が二層グラフェンの様々な基本特性のさらに正確な予測を可能にする新たな枠組みを確立したと、Kim 氏とその同僚研究者らは言う。

「ここで学んだことは、原子スケールの物質におけるこのような微細な構造歪みでさえも、これらの物質の十分かつ正確な電子特性の説明において見過ごすべきではないということです。」と Kim 氏は言う。

本研究は、DOE 科学局(Office of Science)が支援した。

###

ローレンスバークレー国立研究所では、持続可能なエネルギーの促進、人々の健康の保護、新材料の開発、そして宇宙の起源や行方の解明により、世界で最重要とされる科学的課題に取り組んでいる。1931年の創設以来、バークレー研究所の科学的専門性は、13件のノ

ーベル賞により評価されている。カリフォルニア大学は DOE の科学局を管理している。詳しくはウェブサイト www.lbl.gov を参照のこと。

DOE の科学局(Office of Science)は、物理化学の基礎研究をサポートする米国における唯一の大規模な組織で、現代の最も喫緊の課題に取り組んでいる。詳しくはウェブサイト science.energy.gov を参照のこと。

Advanced Light Source (ALS)は、太陽の 1 兆倍の輝度の光を放つ、光スペクトルの X 線領域光を作る第 3 世代の放射光施設である。米国エネルギー省(DOE)下の国立のユーザー施設である ALS は、安全な環境での傑出した科学的活動の実施において世界中の科学者を誘致し、施設のユーザーを支援している。詳しくは <http://www.als.lbl.gov> を参照のこと。

翻訳：NEDO（担当 広報部 松田 典子）

出典：本資料は、米国ローレンスバークレー国立研究所(Lawrence Berkeley National Laboratory: LBNL)の次の記事を翻訳したものである。

“New Twist in the Graphene Story: Berkeley Lab Researchers Discover a Tiny Twist in Bilayer Graphene That May Solve a Mystery”

<http://newscenter.lbl.gov/feature-stories/2013/08/12/new-twist-in-the-graphene-story/>