

2層グラフェン層間化合物における強い電子フォノン相互作用の観測

グラファイトは、その原子層間にさまざまな原子や分子を取り込む事が知られている。このグラファイト層間化合物は、元々のグラファイトや挿入された原子・分子には無かった多彩な物性を示すことが知られており、様々な基礎・応用研究が行われてきた。例えば、Li 原子を挿入した C_6Li は、2次電池の負極材として既に産業応用がなされている。また、アルカリ金属を挿入した C_8X ($X = K, Rb, Cs$)は、母体のグラファイトや挿入されたアルカリ金属では観測されない超伝導を発現する。最近、カルシウム [Ca] を挿入した C_6Ca が 10K 以上の高い超伝導転移温度を示す事が発見され、より高い超伝導転移温度を持つグラファイト層間化合物の開拓が精力的に進められている。

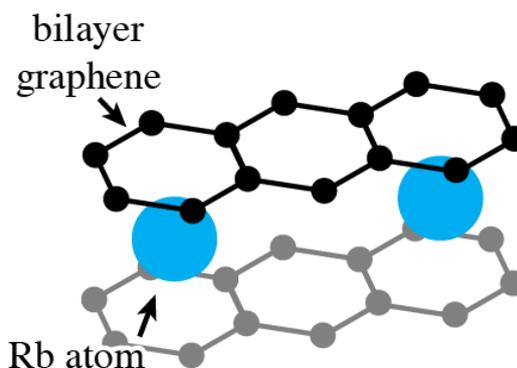


図1. 2層グラフェン層間化合物 C_8RbC_8 の結晶構造

一方、グラファイトの1原子シートであるグラフェンは、質量ゼロのディラック電子を持つという予測から、その検証実験と、さらに超高速電子素子への応用展開が急ピッチで進んでいる。層間化合物という立場からは、2枚のグラフェンシートの上に金属原子が挿入された“2層グラフェン層間化合物” [図1] が、グラファイト層間化合物の最も薄い極限と言える。マイクロなサンドイッチであるこの2層グラフェン層間化合物では、グラファイト [3次元] からグラフェン [2次元] への変化で見出された様々な特異な現象 [例えば、ディラック電子] の出現などに見られるように、3次元グラファイト層間化合物では無かった新たな特異物性の出現が期待される。例えば、次元性と超伝導との関係や、フォノンとの相互作用による特異物性の発現など、グラフェンを舞台とした2次元ディラック電子系における新たな物性の開拓が期待できる。さらに、2次電池の負極材として用いることで、従来のバルク体比べて遙かに高速な充電速度を持つマイクロ電池としての産業応用も提案されている。

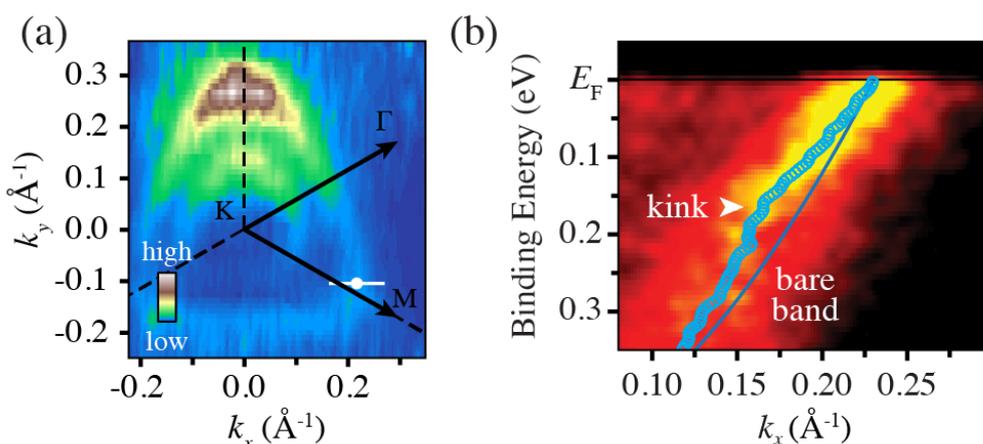


図2. (a) C_8RbC_8 のフェルミ面と (b)フェルミ準位近傍の電子バンド構造

このたび、東北大学原子分子材料科学高等研究機構および同大学院理学研究科の研究グループは、超伝導を示すグラファイト層間化合物 C_8Rb を最も薄くした 2 層グラフェン層間化合物 C_8RbC_8 を作成することに成功し、その電子状態を角度分解光電子分光 (ARPES) によって調べた。その結果、フェルミ準位近傍の電子バンドにおいて、電子とフォノンとの強い相互作用による“折れ曲がり〔キック〕構造”が存在する事を見出し、 C_8RbC_8 中ではパイ電子と面内および面直方向に振動する格子振動〔フォノン〕が強く相互作用していることを見出した。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2014 年 12 月号に掲載された。

本実験での試料は以下のように作成された。(1) Ar ガス中で SiC 単結晶を加熱して、その表面に 2 層グラフェンを作成する。(2) グラフェンの層数が 2 枚であることを ARPES で確認する。(3) 超高真空中で 2 層グラフェン薄膜を 90K 程度に保ちながら Rb 原子を蒸着する。(4) Rb 原子が 2 枚のグラフェン層間に入り込み、試料が確かに 2 層グラフェン層間化合物であることを、低速電子線回折等で確認する。図 2(a) は、ARPES によって決定したパイ電子が作るフェルミ面である。このフェルミ面の代表的な波数 (図中白線) で測定した電子バンド分散を図 2(b) に示す。結合エネルギー約 170 meV において、放物線的バンド分散からずれたキック構造が観測される。このキック構造は、面内フォノンとの相互作用によるものと結論された。詳細な数値解析の結果、相互作用の強さに関する結合定数が波数に強く依存していること、さらに、強い相互作用を示す波数において、面内フォノン以外に面直フォノンまたは Rb のフォノンとも相互作用していることを見出し、面直フォノンが相互作用の異方性に重要な役割を果たしていることを明らかにした。今回観測されたパイ電子とフォノンとの強い相互作用は、グラフェン層間化合物の超伝導等の特異物性に密接に関連するとみられ、今後の研究展開が期待される。

原論文

[Anisotropic Electron-Phonon Coupling in Rb-Intercalated Bilayer Graphene](#)

[James Kleeman, Katsuaki Sugawara, Takafumi Sato, and Takashi Takahashi: J. Phys. Soc. Jpn. 83 \(2014\) 124715](#)

問合せ先：菅原 克明 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構)

高橋 隆 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構 東北大学大学院理学研究科兼任)