

# 高エネルギーイオン照射によるグラフェンへのヘテロ原子ドーピング

圓谷 志郎, 水口 将輝\*, 渡邊 英雄\*\*, 檜本 洋, 境 誠司

(量子科学技術研究開発機構, \*東北大学金属材料研究所, \*\*九州大学応用力学研究所)

Heteroatom doping into graphene by high energy ion irradiation

Shiro Entani, Masaki Mizuguchi\*, Hideo Watanabe\*\*, Hiroshi Naramoto, Seiji Sakai

(QuBS QST, \*IMR Tohoku Univ., \*\*RIAM Kyushu Univ.)

## はじめに

グラフェンはスピン散乱の要因であるスピン-軌道相互作用が小さく、無機半導体を超えるキャリア移動度を示すことから、理想的なスピントロニクス・エレクトロニクス材料として注目されている。一方でグラフェンは、半金属的な電気伝導特性を示すことから、素子応用を実現するためには、バンドギャップの導入の必要性が指摘されている。有効な方法の一つにグラフェンへのヘテロ原子ドーピングがある。化学的手法を用いたフッ素原子等のグラフェンへのドーピングが報告されているが、同手法ではドーピング可能な原子種が限定されることに加えて位置選択的なドーピングが困難であるという問題がある。本研究では、化学的手法にかわる新たなグラフェンのヘテロ原子ドーピング法となる高エネルギーイオン照射によるドーピング法の開発を行った。

## 実験方法

Cu箔に成長させたグラフェン上にヘテロ原子層を作製した(図1)。ヘテロ原子層には3原子層の六方晶窒化ホウ素(*h*-BN)または100nmの膜厚のLiFを用いた。真空中において同ヘテロ界面に高エネルギーイオン(2.4 MeV  $^{63}\text{Cu}^{2+}$ )を照射した。イオン照射後の電子状態や原子構造を顕微ラマン分光およびC K吸収端XAFSにより評価した。

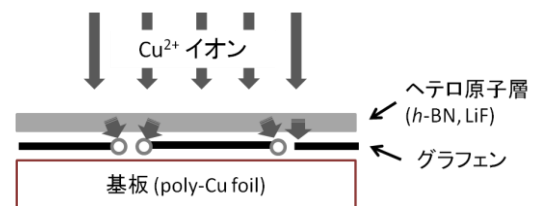


図1: 高エネルギーイオン照射によるグラフェンへのヘテロ原子ドーピングの概念図。

## 実験結果

図2にイオン照射後の*h*-BN/グラフェンのラマン分光スペクトルを示す。Gバンド(1580  $\text{cm}^{-1}$ )の半値幅が増大するとともに、Dバンド(1350  $\text{cm}^{-1}$ )があらわれたことから、グラフェン中の欠陥の導入が明らかになった。さらに2200  $\text{cm}^{-1}$ 付近にCN結合由来( $\nu(\text{C}=\text{N})$ )のピークが観察された。同ピーク強度は照射量の増大に伴い増大することが分かった。これらのことから、イオン照射によって窒素原子がグラフェン中に化学結合を形成することが明らかになった。同ヘテロ原子ドーピングは、電子励起相互作用が支配的なエネルギー領域(数MeV)のイオンビームをグラフェンに照射することによって、電子励起後の緩和過程で空間的に近接し同様に励起状態にあるヘテロ原子(*h*-BN層中の窒素原子)との間で結合の組換えが生じることに起因していると考えられる。講演では、LiF/グラフェンへのイオン照射によるフッ素原子のドーピングについても議論する予定である。

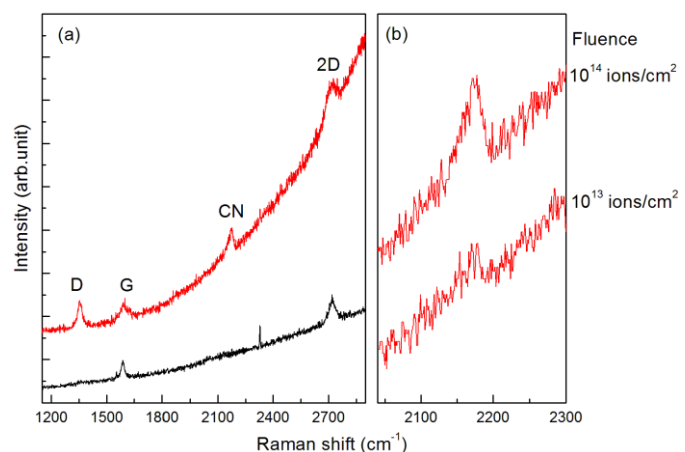


図2: *h*-BN/グラフェンヘテロ構造へのイオン照射後のラマン分光スペクトル。(a)照射によってDバンドおよび $\nu(\text{C}=\text{N})$ 由来のピークがあらわれる。(b)照射量の増大に伴い $\nu(\text{C}=\text{N})$ ピークの強度が増大している。