



AichiSR

カーボン層被覆した窒化ホウ素ナノチューブにおける化学結合状態の解析

加藤 雅清, 井ノ上 泰輝, 小林 慶裕
大阪大学

キーワード：カーボンナノチューブ、ファンデルワールスヘテロ構造、窒化ホウ素ナノチューブ

1. 背景と研究目的

カーボンナノチューブ (CNT) や窒化ホウ素 (BN) ナノチューブ (BNNT) などを同心状に複合化することで、1次元ファンデルワールスヘテロ構造^[1]と呼ばれる人工物質が形成可能である。金属、半導体、絶縁体等の様々な層の組み合わせにより、このヘテロ構造を電子・光デバイスへ応用することが期待される。これまでに単層 CNT の外側への BNNT や MoS₂ ナノチューブの合成が報告されている[1]。しかし、ナノチューブ外側への CNT 合成は実現しておらず、デバイス開発での課題となっている。また、カーボンと BN のヘテロ構造の合成においては、カーボン相と BN 相がランダムに混じり合った物質である BNC が原子置換により生成する可能性がある。BNC はグラフェンや BN とは異なるバンド構造を持つため、CNT と BNNT の特性を活かしたデバイス開発に向けては BNC 生成の抑制が必要となる。前回の応物講演会で BNNT 上へのカーボン層の合成を報告したが、吸収スペクトルから BNC 生成が示唆され^[2]、その検証が課題であった。本研究では、BNNT 上へカーボン層を合成した試料において、物質内部の情報を得やすい全蛍光収量法による X 線吸収微細構造 (XAFS) および電子エネルギー損失分光法 (EELS) によって BNNT の結合状態を解析した。

2. 実験内容

BNNT 粉末 (BNNT 社製, 直径 2-6 nm) を溶媒中に分散し、真空濾過により BNNT 薄膜を作製した。続いて、この薄膜試料に対してエタノールおよびアルゴンの減圧雰囲気下で赤外線イメージ炉により 1350°C の高温処理を複数の処理時間で行った。作製試料の評価を、XAFS, EELS, 走査型透過電子顕微鏡 (STEM), 紫外可視吸収分光法, ラマン分光法 (励起波長: 532 nm), フーリエ変換赤外分光法, X 線光電子分光法, 4 端子電気抵抗測定により行った。

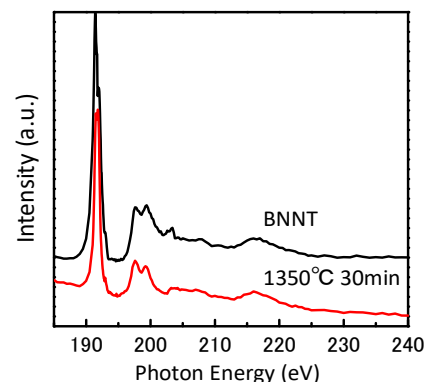


Fig. 1 XAFS spectra of BNNTs before and after carbon layer growth of 30 min.

3. 結果および考察

BNNT 薄膜上にカーボン層の合成を行った試料のホウ素 K 端 XAFS スペクトルを Fig. 1 に示す。この XAFS のホウ素 K 吸収端におけるスペクトルでは合成前後で明らかなピーク形状の変化は見られなかった。また、STEM-EELS 測定では BNNT 上にカーボンフレイクが観察された。このカーボンの多くはアモルファスであったが、部分的にグラフェン化した構造も見られた。EELS スペクトルからはカーボン付着のない BNNT 部分において炭素 K 吸収端領域にピークは見られなかった。これらの結果は、置換反応による BNC の生成が生じていないことを示す。紫外可視吸収スペクトルでは 200 nm 付近に BN 由来のピークが存在するが、合成時間が長くなるほどこのピークが弱くなりフラットなスペクトルへと変化した。これは原子置換によって BN 構造が失われたのではなく、長時間の合成により試料にカーボンが厚く付着したことで装置の検出限界を超え、薄膜中の微細な穴から通過した一部の光のみが検出されたためフラットに変化したと考えられる。気相条件の最適化によりアモルファスカーボンの生成を抑制し均一な CNT を成長することが今後の課題となる。

4. 参考文献

1. R. Xiang et al., Science 367(2020) 537.
2. 加藤他, 応用物理学会 2021 秋期学術講演会 23p-P13-3.