

高エネルギー重イオン照射で作製した 二次元材料の XAFS による解析

XAFS study of boron carbon nitrides synthesized by high-energy ion irradiation

圓谷 志郎^a, 滝沢 優^b, 好田 誠^{a,c}
Shiro Entani^a, Masaru Takizawa^b, Makoto Kohda^b

^a 量子科学技術研究開発機構量子機能創製研究センター, ^b 立命館大学理工学部,
^c 東北大学大学院工学系研究科

^aQuantum Materials and Applications Research Center, National Institutes for Quantum Science and
Technology (QST),

^bCollege of Science and Engineering, Ritsumeikan University,

^cSchool of Engineering, Tohoku University

e-mail: entani.shiro@qst.go.jp

窒化炭化ホウ素(BCN)はバンドギャップが調整可能な二次元半導体であることから、光学素子等の幅広い応用が期待されている。本研究では、高エネルギーイオン照射を用いることにより大面積で連続的なシート状の BCN 薄膜の作製法を新たに開発した。B, C, N K 吸収端 XAFS 測定により、BCN は基板に平行なシート状の構造を有することが示された。

Boron carbon nitride (BCN) is a two-dimensional semiconductor with a tunable band gap, which is expected to have a wide range of applications such as optical devices. In this study, we have developed a novel method for fabricating large-area, continuous sheet-like BCN thin films through high-energy ion irradiation. B K-edge, C K-edge and N K-edge XAFS measurements revealed that BCN has a sheet-like structure oriented parallel to the substrate.

Keywords: boron carbon nitride, B K-XANES, C K-XANES, N K-XANES

背景と研究目的

窒化炭化ホウ素(BCN)はグラファイトと類似の構造を持ち、バンドギャップが調整可能な二次元半導体であることから光学素子等、幅広い応用が期待されている物質である[1]。BCN の基礎物性を明らかにし産業応用への道筋をつけるためには、連続的なシート状の BCN 薄膜の形成法の確立が不可欠である。私たちは高エネルギー重イオン照射による非平衡励起反応場を利用することで[2,3]、大面積シートの BCN 薄膜の作製法を探索している。本研究では、同手法によって形成した BCN の電子状態や局所構造を XAFS によって調べた。

実験

銅基板上に化学気相蒸着(CVD)法により2-3層の h -BN薄膜を成長した[4]。同 h -BN表面上に銅基板上にCVD法により成長したグラフェンを転写した[5]。グラフェン/ h -BN/Cuへテロ構造に高エネルギーイオン(9.0 MeV Ni^{2+})を照射することで、BCNを形成した。高エネルギーイオン照射は量子

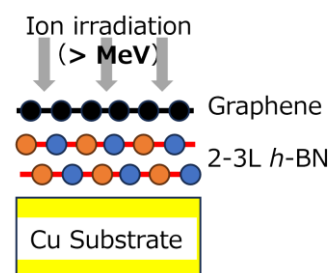


Fig.1 Schematic representation of the formation of the BCN film by high-energy ion irradiation.

科学技術研究開発機構のイオン照射施設(TIARA)にて行った。イオン照射後、真空中で700℃に昇温することで照射欠陥等を緩和した。

立命館大学SRセンターBL-8にてイオンビームの照射量の異なるグラフェン/h-BNについて、B, C, NのK吸収端XAFS測定を行い、電子状態および局所構造を解析した。測定モードは部分電子収量(PEY)にて行った。

結果, および, 考察

Fig.2 に B, C, N の K 吸収端 XANES スペクトルを示す。イオン照射量の増大に伴い観察される B3, C1, C2, N1 のピークはBCN 形成に伴う構造であることから[6,7], グラフェン/h-BN ヘテロ構造への高エネルギーイオン照射により BCN が形成されたことが示唆された。B K 端 XANES で観察される B1, B2 構造はそれぞれ B_3N_2O および B_3NO_2 に由来する構造と考えられるが[4], 照射量が 10^{15} ions $\cdot$ cm $^{-2}$ をこえると同ピークが高エネルギー側へとシフトすることが分かった。B-C 結合形成に伴う寄与が考えられる。一方で N K 端 XANES で観察される N2 ピークは、N と Cu 基板との相互作用に起因する構造である[3]。さらに B1,B2,B3,C1,C2 構造の強度は X 線の入射角に依存して顕著に変化することから、BCN は基板に平行なシート状の構造を有することが示唆された。

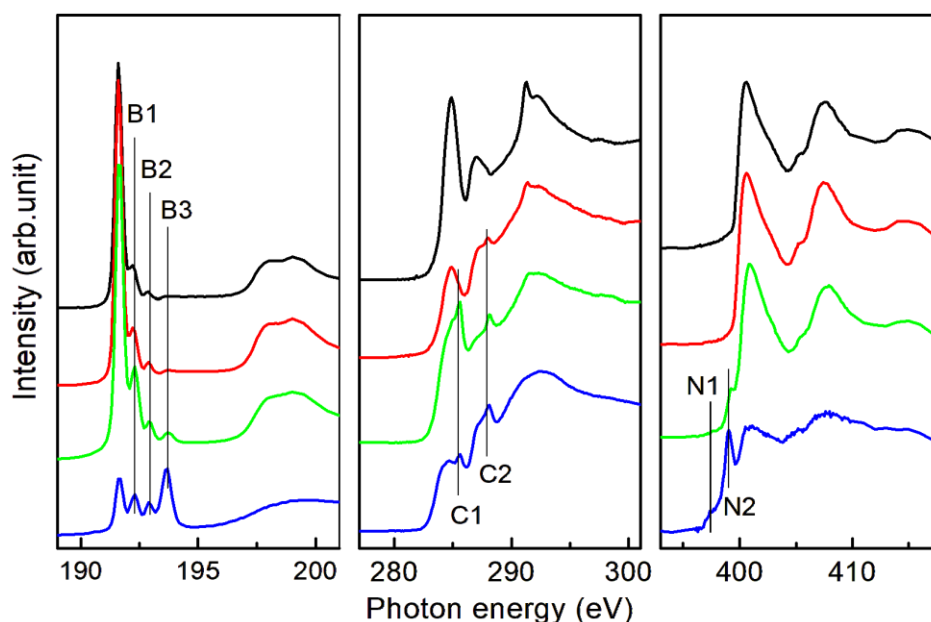


Fig.2 B K-edge, C K-edge and NK-edge XANES spectra of pristine graphene/h-BN/Cu (black), 10^{14} (red), 10^{15} (green) and 10^{16} ions $\cdot$ cm $^{-2}$ irradiated graphene/h-BN/Cu (blue). The incident angle of X-ray beams to the surface is set to 30°.

参考文献

[1] A.Y. Liu, *et al.*, Phys. Rev. B 39 (1989) 1760. [2] S. Entani, *et al.*, RSC Adv. 6 (2016) 68525. [3] S. Entani, *et al.*, Nanotech. 31 (2020) 125705. [4] S. Entani, *et al.*, Appl. Surf. Sci. 475 (2019) 6. [5] S. Entani, *et al.*, Surf. Sci. 704 (2021) 121749. [6] S.C. Ray, *et al.*, Diamond Relat. Mater. 13 (2004) 1553. [7] C.I. Sathish, *et al.*, Adv. Sci. 9 (2022) 2105603.

研究成果公開方法／産業への応用・展開について

- ・本研究成果は 2025 年第 86 回応用物理学会秋季学術講演会にて成果公開予定である。
- ・本研究成果は論文（投稿先未定）として投稿予定である。