

ファンデルワールスヘテロナノチューブの合成

Synthesis of van der Waals Heteronanotubes

大阪大工¹, 東京大工² ○井ノ上 泰輝¹, 鄭 永嘉², 馮 雅², 柳 銘², 項 榮²,
千足 昇平², 丸山 茂夫²

Osaka Univ.¹, Univ. of Tokyo², °Taiki Inoue¹, Yongjia Zheng², Ya Feng², Ming Liu², Rong Xiang²,
Shohei Chiashi², Shigeo Maruyama²

E-mail: inoue.taiki@ap.eng.osaka-u.ac.jp

グラフェン, 窒化ホウ素 (BN) 原子層, MoS₂ 原子層などの 2 次元物質を積層したファンデルワールス (vdW) ヘテロ構造[1]は, 格子定数の整合などに制限されない自在な物質設計を可能とすることから注目を集めている。1 次元的なナノチューブ (NT) 物質としても, カーボン NT (CNT) [2], BNNT, MoS₂NT などが知られ, これらを同心状に複合化した vdW ヘテロ NT (以下, ヘテロ NT) を構築しうる (Fig. 1)。ヘテロ NT 合成の先駆的報告[3-5]はあるが, 入れ子構造における順序の制御や長尺化は困難であった。一方, 2 次元物質の化学気相成長 (CVD) の発展により, 異なる原子層の積層合成が可能となっていた。我々は, 単層 (SW) CNT をテンプレートに用い, その表面に BNNT や MoS₂NT を成長することで, 2 種や 3 種の層から成るヘテロ NT の合成に成功した[6]。同心複合構造の自在な制御により, 1 本のヘテロ NT による電子・光学素子や, 機能性ヘテロ NT 薄膜としての応用が期待される。本講演では, 我々が取り組んでいるヘテロ NT の合成, 構造評価, 物性計測, および応用について発表する。

薄膜状または孤立架橋の SWCNT をテンプレートに用い, 一般的な低圧・ホットウォール CVD 装置により粉末原料を用いて BNNT や MoS₂NT を積層合成した[6]。以下では, A の外側に B を形成したヘテロ NT を A@B と表現する。透過型電子顕微鏡などにより SWCNT@BNNT を観察し, BNNT のエッジ構造や, 内層と外層の対掌性や結晶方位の関係など, 独特の結晶成長機構を分析した[7]。単結晶ヘテロ NT の長尺化に向けたグラファイト上の単結晶 BN 原子層の大面积合成[8]や, 多孔質担持材を用いた SWCNT@BNNT の収量向上[9]も行っている。また, 1 本の SWCNT@BNNT@MoS₂NT を用いて, 直径 11 nm のヘテロ NT 中の同心接合構造によるダイオードを作製した[10]。SWCNT@BNNT 薄膜の熱および電気伝導特性の計測を行い, BNNT 被覆による熱伝導度の向上と電気伝導度の保持を確認した[11]。BNNT 被覆により SWCNT@BNNT の空气中耐熱温度も向上[6]しており, ヘテロ NT は 2 種の NT の特長を併せ持つといえる。内層の SWCNT の燃焼除去を活用して BNNT@MoS₂NT 薄膜を作製し, MoS₂NT による蛍光発光を観測した[12]。

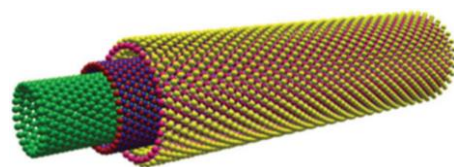


Fig. 1 Schematic image of an example of a vdW heteronanotube consisting of a CNT, a BNNT, and an MoS₂NT.

[1] A.K. Geim et al., *Nature* **499**, 419 (2013). [2] S. Iijima, *Nature* **354**, 56 (1991). [3] K. Suenaga et al., *Science* **278**, 653 (1997). [4] W. Mickelson et al., *Science* **300**, 467 (2003). [5] L. Chen et al., *J. Am. Ceram. Soc.* **87**, 147 (2004). [6] R. Xiang, T. Inoue, Y. Zheng et al., *Science* **367**, 537 (2020). [7] Y. Zheng, A. Kumamoto et al., *Proc. Natl. Acad. Sci.* **118**, e2107295118 (2021). [8] H. Arai et al., *Nanoscale* **12**, 10399 (2020). [9] Y. Feng et al., *J. Appl. Phys.* **129**, 015101 (2021). [10] Y. Feng et al., *ACS Nano* **15**, 5600 (2021). [11] P. Wang et al., *ACS Nano* **14**, 4298 (2020). [12] M. Liu et al., *ACS Nano* **15**, 8418 (2021).