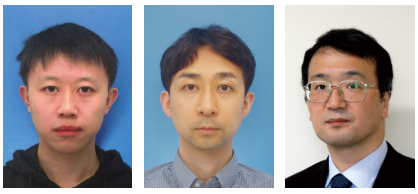
電子デバイス、構造材料

ナノダイヤモンドを成長核とした長尺配向カーボンナノチューブの合成

工学研究科　物理学系専攻

博士後期課程 劉 元嘉
助教 井ノ上 泰輝
教授 小林 慶裕

Researchmap https://researchmap.jp/inoue_t
Researchmap https://researchmap.jp/koba_ap_eng_ou



研究の概要

本研究では、ナノダイヤモンドを成長核に用いて、長尺かつ配向したカーボンナノチューブ（CNT）を合成する手法を開発した。シリコン基板上にナノダイヤモンド粒子をパターン担持し、化学気相成長における成長温度と原料ガス流量を制御することで、CNT がガス流に沿って長尺成長することを見出した。2次電子収量のマッピングおよび原子間力顕微鏡による分析を併用することで、不純物金属粒子とナノダイヤモンド粒子を区別し、CNT がナノダイヤモンド粒子から成長していることを示した。

研究の背景と結果

カーボンナノチューブ（CNT）は優れた電気的・光学的・機械的・熱的特性を持つことから、様々な分野に応用可能なナノ材料として期待されている。特に長くて特定の方向に配向した CNT は電子デバイスなどに適しており、そのような CNT を効率的に成長させる方法が求められている。CNT の主要な成長方法である化学気相成長法では、一般的に金属ナノ粒子を触媒に利用して CNT を成長させるが、この手法では金属不純物が CNT 周囲に残ってしまう問題がある。金属不純物は CNT の特性に悪影響を及ぼし、デバイスの性能を低下する可能性があるため、こうした不純物を含まない CNT の成長が望まれている。本研究では、この課題を解決するため、非金属であるナノダイヤモンド粒子を成長核として CNT を成長させる手法を探った。ナノダイヤモンドは高温で安定であり、金属不純物が残らず、低欠陥の CNT を生成できる可能性がある。実験の結果、成長温度および原料ガス流量を厳密に制御することで、長さが100 μm を超える CNT の配向成長に成功した。また、CNT の成長に金属不純物が関与しているかどうかを見分ける新しい分析法として、電子顕微鏡の２次電子収量を用いた手法を開発した。この手法によって、CNT の先端に金属粒子がないことが確認され、原子間力顕微鏡による分析と合わせて、ナノダイヤモンドに由来する粒子が CNT 成長を引き起こしていることを示した。さらに、構造解析の結果、成長した CNT は高い結晶性を持ち、直径が比較的小さいことが分かった。本研究により、初めて非金属成長核による CNT の長尺配向成長が実証され、金属不純物を含まない CNT の成長が可能であることが示された。この手法は、金属除去工程を省略できるため、将来的に高性能な CNT 電子デバイスの作製につながる可能性がある。

研究の意義と将来展望

カーボンナノチューブ（CNT）を高性能電子デバイスなどへ応用するには、長尺かつ配向した CNT を基板上に形成することが必要となる。これまで、化学気相成長においてガス流を活用した CNT の長尺配向成長技術は知られていたが、その成長核は金属粒子を用いたものであった。このような金属粒子は不純物として残存することが問題となっていた。本成果で実現した金属不純物フリーな長尺配向 CNT は、次世代の電子デバイス応用につながることが期待される。

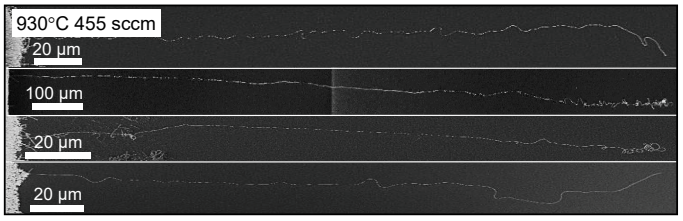


図1　ナノダイヤモンドから成長した配向 CNT の電子顕微鏡像。

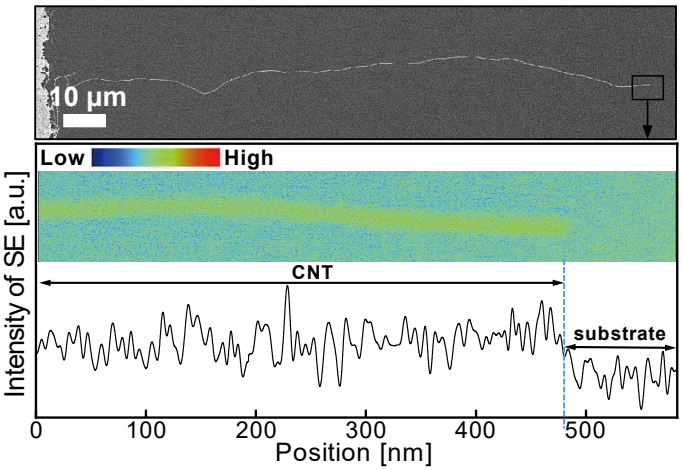


図2　ナノダイヤモンドから成長した配向 CNT の走査型電子顕微鏡像および2次電子収量像。

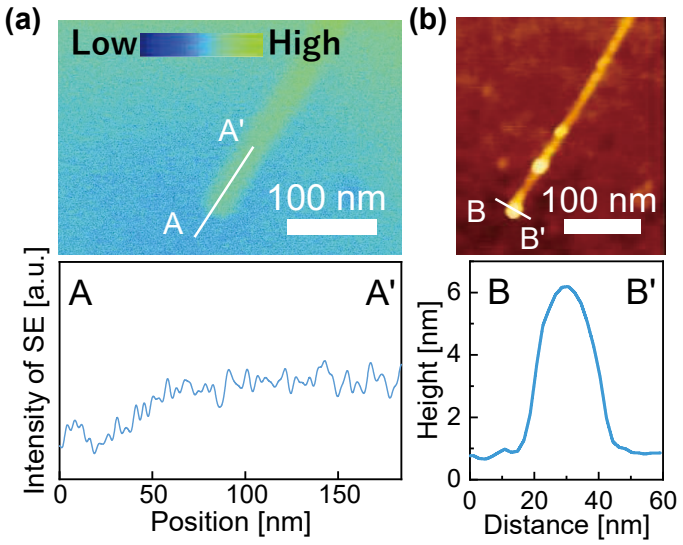


図3　配向 CNT の先端の（a）2次電子収量像および（b）原子間力顕微鏡像。

特　許
論　文 Liu, Yuanjia; Inoue, Taiki; Wang, Mengyue et al. Gas flow-directed growth of aligned carbon nanotubes from nonmetallic seeds. Carbon. 2023, 214, 118309. doi: 10.1016/j.carbon.2023.118309
参考URL http://www.ap.eng.osaka-u.ac.jp/nanomaterial/index.html
キーワード ナノカーボン材料、カーボンナノチューブ、化学気相成長