単一カーボンナノコイルのコイル径と電子伝導特性の関係

The relationship between the coil diameter

and electron conduction properties of single carbon nanocoil (CNC)

豊橋技術科学大学 1, 岐阜高専 2, 東海カーボン 3, 山梨大学 4

中村 康史1, 須田 善行1, 針谷 達1, 飯田 民夫2, 滝川 浩史1, 植 仁志3, 島 弘幸4

Toyohashi Univ. of Technol. ¹, Natl. Inst. Technol., Gifu Coll. ², Tokai Carbon Co., Ltd. ², Univ. of Yamanashi ³

"Yasushi Nakamura ¹, Yoshiyuki Suda ¹, Toru Harigai ¹, Tamio IIda ², Hirofumi Takikawa ¹,

Hitoshi Ue ³, Hiroyuki Shima ⁴

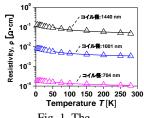
E-mail: nakamura.yasushi@pes.ee.tut.ac.jp

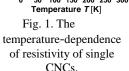
1. はじめに

カーボンナノコイル (CNC) は螺旋形状を有する繊維状炭素ナノ材料である。この特徴的な構造から、ナノスプリング ⁽¹⁾ やナノインダクタ ⁽²⁾ 等、様々な分野への応用が期待されている。しかし、デバイスなどへの応用のためには CNC 一本の機械的・電気的特性の測定が不可欠である。これまで複数の単一 CNC の直流電気特性を測定し、CNC がコイル径によって抵抗率が変化することが確認され、CNC の電気的特性を形状によって制御できる可能性を示した ⁽³⁾。本研究では単一のカーボンナノ材料のための電気抵抗測定系を用いて、複数の CNC について直流電気抵抗値の温度依存性を測定し電気伝導機構を用いて考察した。

2. 測定試料の作製

CNC は研究室内で開発した逐次基板型連続化学気 相合成装置によって合成した(1)。また、合成物の一部 を 2873 K で加熱することで黒鉛化 CNC (GCNC) を作 製した。抵抗率の温度依存性測定用試料は集束イオン ビーム加工観察装置 (FIB) により作製した。ガラス基 板上に約 150 µm 程度の隙間ができるよう蒸着マスク を設置し真空蒸着法によって線状 Au 電極を形成した。 次に FIB により Au 電極を横切るように 1×150 μm エ ッチングを行い、線状 Au 電極を二つに分けた。さら に CNC 取り付け部を形成するために Au 線状電極の分 離部分を 5 μm 四方でエッチングを行い CNC を架橋し た。そして CNC の両端を Pt デポジションにより固定 した。作製した試料をクライオスタット装置に導入し, 金線と Ag ペーストを用いて試料とクライオスタット の測定用電極とを接続した。クライオスタットの測定 用電極にはソースメータが取り付けられており、電圧 を 0-0.3 V 印加し電流を測定した。測定前にクライオ スタット内を 1×10⁻³ Pa 以下に真空引きし, さらに He コンプレッサを用いて4Kまで冷却した。その後温度 コントローラを用いて 280 K まで変化させながら直流 電気抵抗を測定した。





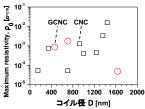


Fig. 2. The relationship between the $\rho 0$ and the coil diameter.

3. CNC の形状と電気抵抗率の関係

構築した測定系を用いて複数の CNC について電気抵抗値の温度依存性を測定した。図 1 に単一 CNC の抵抗率の温度依存性を示す。CNC の抵抗率は温度を下げると増加した。従って CNC は半導体特性であることが分かった。またコイル径が異なることで抵抗率が大きく異なっていた。

CNC の抵抗率の温度依存性はアモルファス材料の電気伝導機構に適用される Mott-David variable range hopping (VRH) モデルと報告されている ⁽⁴⁾。図 2 に VRH モデルにおける定数の一つである最高抵抗率とコイル径の関係を示す。CNC のコイル径と最高抵抗率の間には正の相関がみられた。また最高値と最低値の間で値が約 290 倍異なることが分かった。一方 GCNC は相関がみられなかった。

謝辞 本研究の一部は、豊橋技術科学大学 EIIRIS プロジェクト、JSPS 科研費 24360108、15K13946、公益財団法人豊田理化学研究所「豊田理研スカラー」を受けて行なわれた。

汝献

- (1) T. Yonemura, et al: Carbon, 83, 183 (2015)
- (2) S. Motojima, et al: Diamond & Related Materials, 13, 1989 (2004)
- (3) Y. Nakamura, et al: Appled Physics Letters, submitted.
- (4) H. Chiu, et al: Carbon 47 (2009), 7, 1761-1769