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 Yamanashi³

[°]Yasushi Nakamura ¹, Yoshiyuki Suda ¹, Toru Harigai ¹, Tamio IIda ², Hirofumi Takikawa ¹,

Hitoshi Ue³, Hiroyuki Shima⁴

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5μm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。



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。

文献

(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