

初期成長 CNT フォレストの横方向電気伝導特性

1220049 亀岡 伸義 (先進エネルギーナノ材料研究室)

(指導教員 古田 寛 教授)

1. 研究背景・目的

近年ニューラルネットワークを材料の中で実現する人工神経模倣回路の研究[1, 2]が注目を集めており、本研究室では CNT フォレストを媒体とする人工神経模倣回路(カーボンナノチューブメタネットワーク)を作製し、それを使った光・電気信号入出力による画像学習識別を目指して研究を行っている。

従来研究[3]ではアニール時間の短縮により触媒微粒子を均一化することで、 $1\mu\text{m}$ 以上の CNT forest film を均一膜厚で合成することに成功した。しかし、 $1\mu\text{m}$ 以上の CNT forest film では、根元成長の初期に形成された上層部のランダム配向 CNT 層により、横方向電気伝導率が上昇してしまう課題があった。そこで合成時間を 1.0sec から 0.2sec に変更し、アニール時間を 3.5min から 2.75min と減少させることで $1\mu\text{m}$ 以下の短尺で均一な CNT forest film の作製に成功した[4]。

本研究では $1\mu\text{m}$ 以下の短尺かつ均一な CNT forest film を作製し、横方向電気伝導特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

th-SiO₂ 基板に RF マグネトロンスパッタ装置を使用し AlO(30nm) / Fe(1nm)を堆積させることで触媒基盤を作製する。次に炭素源ガス(C₂H₂)を用いて熱 CVD 法により合成時間を 0.2sec に固定し、アニール時間を 2.75min、3.50min とし CNT forest film を作製した。アニール時間の変更により CNT の膜厚変化と均一性の変化について評価を行った。作製した CNT forest film の膜厚は走査電子顕微鏡を用いることで断面の観察を行った。作製した試料に金電極を取り付けることでパルス電圧を掃引し CNT の横方向コンダクタンスを評価した。また比較として抵抗器 100kΩも同様にパルス電圧を掃引し評価を行った。掃引するパルス電圧はパルス幅 10ms、パルス周期 20ms、周期数は 100 周期として電圧値を 0.1V、1.0V、5.0V、10.0V と変化させた。

3. 実験結果

図 1 に合成時間を 0.2sec に固定し、アニール時間を 2.75min、3.50min と変更させたときの CNT forest film の断面 SEM 画像を示す。図 1 の断面 SEM 画像から画像解析ソフト ImageJ を用いて膜厚分布を波形とみなすことで、膜厚を算出した。図 2 に ImageJ により得られたアニール時間 2.75min、3.50min 試料のアニール時間に対する膜厚依存性を示す。図中では平均膜厚を点、標準偏差をエラーバーとしている。また合成時間 0.2sec を 0.2s、アニール時間 2.75min、3.50min を 2.75m、3.50m と表記している。図 2 からアニール時間が 3.50min から 2.75min に減少することで標準偏差の値が減少し、より均一化された。次にアニール時間 2.75min、3.50min 試料と抵抗器 100kΩにパルス電圧を掃引し、得られた電流値からコンダクタンスを求めた。求めたコンダクタンス S と電圧 V の相関を図 3 に示す。図 3 からアニール 3.50min 試料のみ電圧の増加に対してコンダクタンスが上昇した。1~10V について 3.50min 試料は電圧の増加に対しコンダクタンスが上昇し、10V で $3.2 \times 10^{-5} \Omega^{-1}$ の値を取った。2.75min 試料は電圧の増加に対しコンダクタンスが緩やかに減少し 10V で $0.2 \times 10^{-5} \Omega^{-1}$ の値を取った。抵抗器 100kΩは電圧 1~10V 間では $1.0 \times 10^{-5} \Omega^{-1}$ 一定の値を取った。

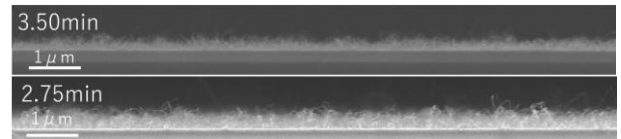


図 1. CNT forest film の断面 SEM 画像

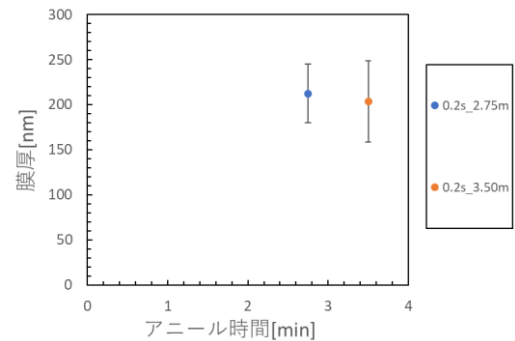


図 2. CNT forest film のアニール時間変化による膜厚依存性

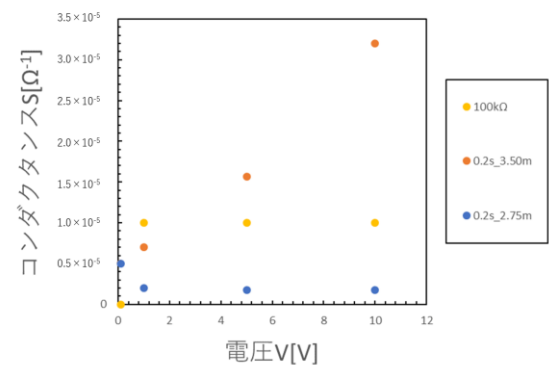


図 3. コンダクタンス S と電圧 V の相関

4. 考察

パルス測定において電圧の増加により、アニール時間 3.50min 試料のみコンダクタンスが上昇した理由は、掃引する電圧の上昇により CNT 同士が接点を持つようになったのではないかと考えた。アニール時間を増加させると触媒微粒子のサイズが大きくなり、微粒子サイズが大きくなる時 CNT の密度と成長速度は低下すると考えられている。また CNT は成長する時となりあう CNT 同士が支えあって垂直方向に成長することから、密度が低い試料では水平方向成分が増加すると考えた。そのためアニール時間 3.50min では 2.75min に比べ微粒子サイズが大きくなり、CNT の密度と成長速度が低下したため不均一になったと考えた。より不均一なアニール時間 3.50min では 5V、10V に対し膜構造が変化し CNT 同士の接点が増えることでコンダクタンスが上昇したと考えた。

参考文献

- [1] H. Tanaka, M. Akai-Kasaya, A. Termeh Yousefi et al., Nat. Commun 9, 2693 (2018).
- [2] M. Kimura et al., Jpn. J. Appl. Phys., 54, 03CB02 (2015).
- [3] 沢田侑斗他, 垂直配向 カーボンナノチューブフォレストの横方向導電率評価, 2021 年第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 2021.03.16-19, ONLINE
- [4] 亀岡伸義他, CNT forest film の電気抵抗評価, 2021 年第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 2021.07.31, ONLINE