

CNT forest film の電気特性に及ぼす CNT 構造の効果 Effect of CNT structure on electrical properties of CNT forest film

1265042 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. 背景・目的

本研究で CNT(Carbon Nanotubes) 接点間接触を制御し電気的コンダクタンスに応用する研究が行われ、本研究では電極への印加電圧 ON/OFF による垂直配向 CNT 間電気的コンダクタンス制御を目指した。

従来研究[1]では、膜厚 $1\mu\text{m}$ 以上の CNT forest film において、根元成長初期に形成された上層部ランダム配向 CNT 層により、横方向電気伝導率が上昇し、必要とする低い電気伝導率が得られない課題があった。一方 $1\mu\text{m}$ 以下 CNT forest film ではランダム配向膜厚不均一 CNT forest film の課題[2]があり、均一性改善のため触媒密度やサイズに影響を与える触媒アニール時間について、従来 3.5 min から 2.75 min への減少させることで CNT 長さ均一性向上とランダム配向成分が減少し、横方向電気伝導率を減少させることに成功した [3]。

CNT は触媒微粒子から成長することから CNT の小直径化には触媒微粒子サイズの減少が必要である。触媒サイズに影響を与えるパラメータとして、CVD 炉内残存酸素分圧、基板温度、アニール時間等で制御が可能であることが知られている。本研究は、熱 CVD 法で表面の大きな小直径 CNT を作製し、構造と電気特性の関係を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

熱酸化 Si 基板上に RF マグネトロンスパッタ装置を用い $\text{AlO}(30\text{nm}) / \text{Fe}(1\text{nm})$ を堆積させ触媒基板を作製した。次に炭素源ガス(C_2H_2)を用いて熱 CVD 法により基板表面を 740°C と 715°C で合成して比較し、合成時間 1.0 sec, アニール時間は $1.5 \sim 10\text{min}$ の範囲で変化させ CNT forest film を作製した。作製した CNT forest film の膜厚は走査型電子顕微鏡により断面観察を行い、画像解析ソフト ImageJ により CNT フォレストフィルム膜厚と CNT 平均直径を評価した。 740°C 試料には横方向金電極を蒸着後電圧印加し CNT の横方向導電率を評価した。掃引した電圧はステップ幅 $25\mu\text{V}$ とし、 $-0.01\text{V} \sim +0.01\text{V}$ の範囲で電圧を掃引した。

3. 結果・考察

図 1 に作製した CNT forest film の断面 SEM 画像から得られた基板温度ごとのアニール時間と CNT 高さ (CNT フォレストフィルム膜厚) の相関を示す。図 1 から基板温度 740°C ではアニール時間 3.5min の時最大膜厚 829 nm となり、 715°C では 6.5min で最大膜厚 1271nm となった。図 2 に基板温度ごとのアニール時間と CNT 直径の相関を示す。図 2 からアニール 3.5min について低温化により直径が 13nm から 12nm に減少した。図 3 に 740°C 試料の導電率に対する CNT 直径と CNT 本数密度の相関を示す。CNT forest film の最大膜厚が基板温度の減少により CNT が最大膜厚となるアニール時間がアニール 3.5min から 6.5min となったことについて考察した。基板温度を減少させることで、触媒微粒子の凝集が抑制され、CNT 膜厚が最大となるアニール時間が増加したことが原因と考えた。CNT 構造と導電率の関係を考察した。CNT 小直径化 (13nm から 9nm) (図 3) で導電率は 0.72 から $0.13\Omega^{-1}/\text{cm}$ へ減少したが、同時に密度は 0.66×10^{11} から $1.22 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$ に増加したため、構造との相関に限定すると、CNT 直径の縮小または密度増加により導電率が減少したと結論した。

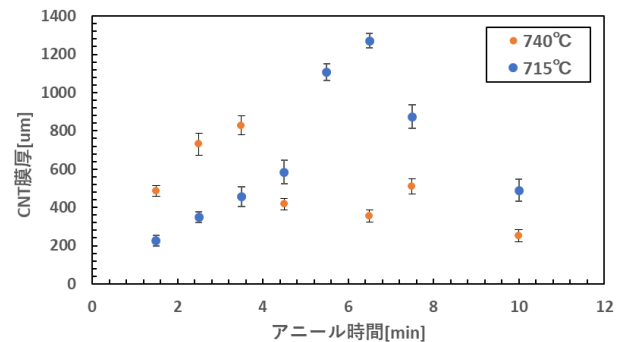


図 1 合成温度($715, 740^\circ\text{C}$)で合成した CNT フォレスト膜膜厚のアニール時間依存性

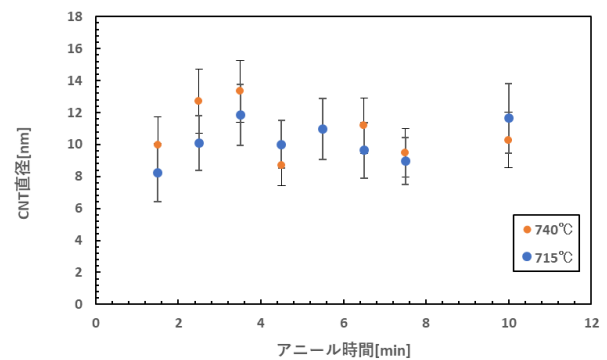


図 2 合成温度($715, 740^\circ\text{C}$)で合成した CNT 平均直径のアニール時間依存性

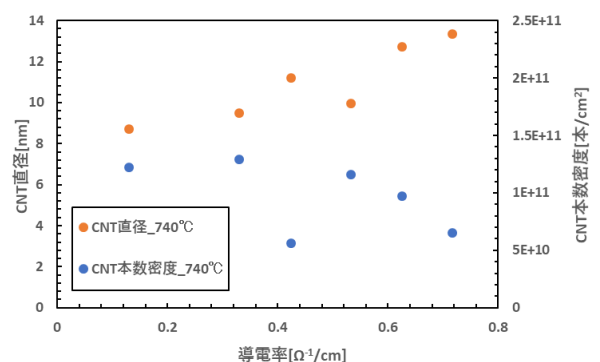


図 3 合成温度 740°C で合成した CNT forest film の導電率に対する CNT 直径と CNT 本数密度の相関

参考文献

- [1] 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
- [2] 亀岡伸義他, CNT forest の電気抵抗評価, 2021 年度応用物理学会中四国支部学術講演会, 2021.07.31, ONLINE
- [3] 亀岡伸義, 初期成長 CNT フォレストの横方向電気伝導特性, 卒業研究報告書, 2022.2.17