

3D プリンタを活用して配線加工した CNT フォレストの作製

1230180 山本 十夢 (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

無線通信技術が進展し第 6 世代通信システム(6G)の到来に向けて超高速・大容量通信の実現が望まれている。カーボンナノチューブ(CNT)は優れた電子・光特性を持ち光の波長以下の微細周期構造をもつメタマテリアルへの応用が期待されている。本研究室では FIB を用いたパターンニングによりフィッシュネット形状に加工された霜柱状 CNT フォレストを作製し、赤外線領域における光吸収の増大[1]を報告したが、6G での利用が想定されるテラヘルツ波領域への応用においては FIB による微細加工では電極の大量化が課題となる。そこで昨今進歩の著しい 8k 解像度をもった 3D プリンタで作製したハードマスクによるパターンニングの大量化と 2D プリンタによるパターンニングを提案する。

本研究では 2D/3D プリンタによるメタマテリアルの作製を目指し 3D プリンタで作製したハードマスクによるパターンニングプロセスを調査し、フィッシュネット形状に加工した CNT フォレストを作製することと 2D プリンタによる細線印刷条件調査を目的とする。

2. ハードマスクの作製

スパッタ時、スパッタ粒子が入射角により構造物に衝突し側壁部近傍の膜厚が薄くなるシャドウイング効果(図 1(a))と残留ガスやスパッタ粒子に衝突して構造物の影にも堆積する回り込み(図 1(b))の低減を図るため 3D プリンタの印刷条件出しとハードマスクの固定方法を調査した。

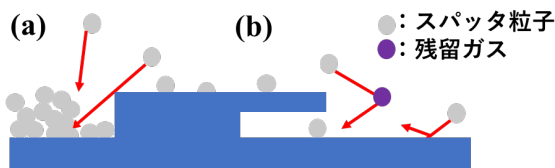


図 1 (a)シャドウイング効果, (b)回り込み

調査結果より、ハードマスクのフレーム部 0.16mm、パターン部 0.01mm の高さで配線幅、ピッチともに 110 μ m のフィッシュネットパターンを設計、作製し金で被膜した。調査中、パターンの開口部は露光時間の減少で 1.224s で穴が現れ、0.648s で印刷に失敗した(図 2)。固定表面はアルミ板で作製した治具で(図 3(a))。裏面はカプトンテープで固定した(図 3(b))。

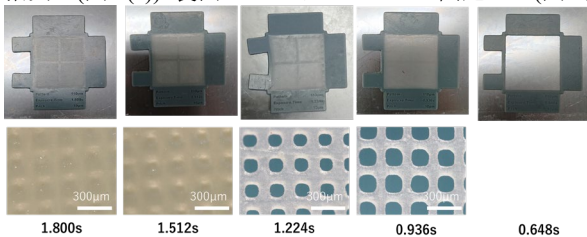


図 2 露光時間依存性

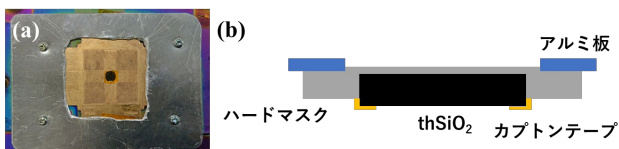


図 3 ハードマスク(a)固定図, (b)断面モデル図

3. CNT フォレスト

thSiO₂ 基板上に RF マグネトロンスパッタ装置を使用し Al₂O₃(30nm)/Fe(1nm)を堆積後作製したハードマスクにより Al₂O₃(30nm)パターンニングした。CNT フォレストの合成は熱 CVD 法により、合成温度 730 $^{\circ}$ C、アニール時間 3.5min にて

C₂H₂ ガスを 7.8sccm で導入し合成時間 10sec で合成し SEM 観察した。CNT フォレストがフィッシュネット上に成長し(図 4(a))、パターンからの距離により膜厚の違いを観察した(図 4(b))。

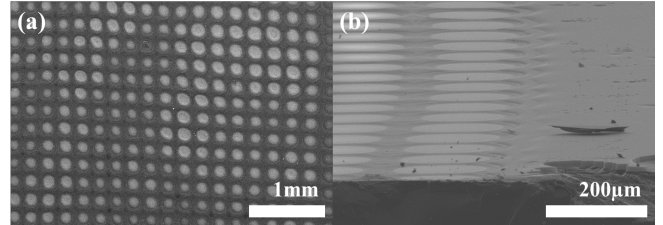


図 4 パターンニングした CNT フォレスト SEM 画像(a)表面, (b)断面より傾斜有

4. 細線印刷

電極(図 5(a))パターンの配線幅 w を 1mm から 0.01mm までの間で変化させて回路設計した。印刷前に 120 $^{\circ}$ C5min 加熱し銀ナノインクをインクジェットプリンタで印刷した。印刷後に 120 $^{\circ}$ C30min 加熱後抵抗値を測定した(図 5(b))。コンダクタンスは概ね線形だが一部データは顕微鏡観察(図 5(c))により配線がドット状に分布したことによる断線で測定できなかった。

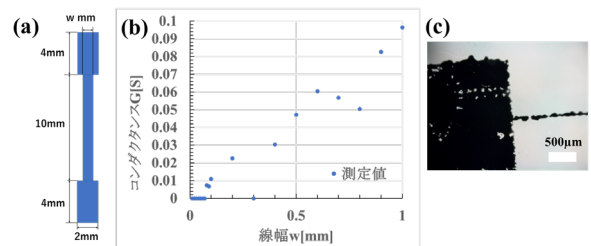


図 5 (a)電極パターンモデル図, (b)銀ナノインクの G-w 特性, (c)電極の顕微鏡画像

5. 考察・まとめ

3D プリンタ印刷ハードマスクを用いた CNT フォレストの作製において、CNT 膜厚にマスクパターンサイズによる違いが生じた理由は、スパッタ粒子のマスクに対する回り込みによりマスクエッジ近傍で Al₂O₃ が薄く堆積し、Fe がオーバーコートされることで熱 CVD 時の触媒量に面内分布が生じ、CNT フォレストの成長高さに面内分布が生じたと考察した。露光時間依存性の調査結果から、露光時間を調整することで設計を変えず配線幅の調整が可能であると見込んでいる。導電性インクジェットプリンタによる電極印刷において断線が生じた原因は、ドットサイズはインクジェットプリンタのノズル径に依存するため、濡れ性の向上により断線に対する対策が必要であることを提案した。

微細加工を施したメタマテリアルを作製し、電気・光学評価を今後の課題とする。

参考文献

- [1] H. Miyaji, A. Pander, K. Takano, H. Kohnno, A. Hatta, M. Nakajima and H. Furuta, "Optical reflectance of patterned frost column-like CNT forest for metamaterial applications," *Diamond and Related Materials*, vol. 83, pp. 196-203, 2018.