

ワンステップでカーボンナノチューブ薄膜の微細パターンを形成する技術を開発 - 透明導電膜やタッチパネルの省エネ・省資源製造につながる技術 -

名古屋大学の^{大野雄高准教授}らは早稲田大学の^{野田優教授}らと共同で、ワンステップの転写プロセスにより、カーボンナノチューブ薄膜の微細パターンを 10 μm 以下の解像度でプラスチック上に形成する技術を開発しました。

この技術を用いて、微細グリッド構造を持つカーボンナノチューブ透明導電膜を作製し、従来問題であったシート抵抗と光透過率のトレードオフを超えて、性能向上を実現しました。さらに、開発したワンステップパターンニング技術により、マルチタッチ動作可能な静電容量式タッチパネルを簡便に製造できることも実証しました。この技術により、透明導電膜デバイスの製造工程において、真空プロセスやリソグラフィプロセスが不要となるばかりでなく、100%の材料使用効率でカーボンナノチューブを目的のデバイスに用いることが可能となります。本技術はタッチパネル等の省エネ・省資源製造を実現するものであり、製造にかかる二酸化炭素排出量の削減につながります。

本件は、4月1日付のアメリカの科学雑誌 ACS Nano^(注1)にオンラインで掲載されました。

なお、本研究は、科学技術振興機構 先端的低炭素化技術開発(ALCA)の助成を受けて行われたものです。

(注1) <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn4041975>

ワンステップでカーボンナノチューブ薄膜の微細パターンを形成する技術を開発 - 透明導電膜やタッチパネルの省エネ・省資源製造につながる技術 -

1. 背景

透明導電膜はディスプレイやタッチパネル等に広く使用されていますが、従来型の透明導電材料であるITO(酸化インジウムスズ)はレアメタルであるインジウムを含み、資源問題や価格変動の問題があります。カーボンナノチューブ薄膜はITOの代替材料として期待されており、簡便なプロセスにより低コストで成膜できることから、最近、スマートフォンのタッチパネルに搭載されるようになってきました。また、化学的安定性、光の反射や散乱が少ないなどの特徴に加え、高い柔軟性を併せもつため、将来のフレキシブルデバイスへの応用も期待されています。

透明導電膜を用いてタッチパネル等のデバイスを実現するためには、透明導電膜を用途に応じた形状にパターンニングする必要がありますが、従来、煩雑なエッチングプロセスが用いられており、コスト高の要因になっていました。今回、ワンステップの転写プロセスにより、カーボンナノチューブ薄膜の微細パターンニングを実現する技術を開発しました。また、この技術に基づき、微細グリッド構造を持つ高性能なカーボンナノチューブ透明導電膜や静電容量式タッチパネルを簡便なプロセスで実現しました。本技術は非真空・非リソグラフィプロセスであるばかりでなく、カーボンナノチューブの材料使用効率は 100%であり、タッチパネル等の透明導電膜デバイスの省エネルギー・省資源製造につながる技術です。

2. 成果の特徴

(1) ワンステップでカーボンナノチューブ薄膜の微細パターンニングを実現

従来、カーボンナノチューブ薄膜をパターンニングする場合、基板全面に成膜した後、リソグラフィ、プラズマエッチングにより、不要な部分を除去する方法が用いられていました。この場合、プロセスが煩雑で高額な装置が必要であることに加え、多くの化学薬品を使う必要がありました。今回、転写プロセスにより、カーボンナノチューブ薄膜をワンステップで基板上にパターンニングする技術を開発しました。

この技術では、図 1(a)に示すように、カーボンナノチューブを浮遊触媒化学気相成長(FG-CVD)法により成長し、メンブレンフィルタにより濾過・捕集します。このとき、予めメンブレンフィルタ上にフォトリソグラフィによりレジストの微細パターンを形成しておくことにより、カーボンナノチューブはレジストの開口部のみに捕集されます。このようにメンブレンフィルタ上に準備したカーボンナノチューブ薄膜は容易に所望の基板に転写でき、CNTパターンを形成することが可能です。

図 1(b)は、プラスチックフィルム上にグリッド状のCNTパターンを形成した例です。レーザー顕微鏡により形状を測定し、幅 7.6 μm の微細なCNTパターンが形成されたことを確認しました。これは人間の目に視認できない大きさであり、表示デバイス等への応用が可能です。

この転写プロセスは、1) 大気圧・室温プロセスでありプラスチックフィルムにも適応可能、2) 従来のエッチングプロセスに比べて化学薬品の使用量を大幅に低減、3) 成長されたCNTはすべて目的のパターンに使用され材料の使用効率は 100%であるなどの利点があります。なお、メンブレンフィルタにパターンニングを施す工程においてフォトリソグラフィを使用していますが、メンブレンフィルタは再利用可能であることを確認しています。

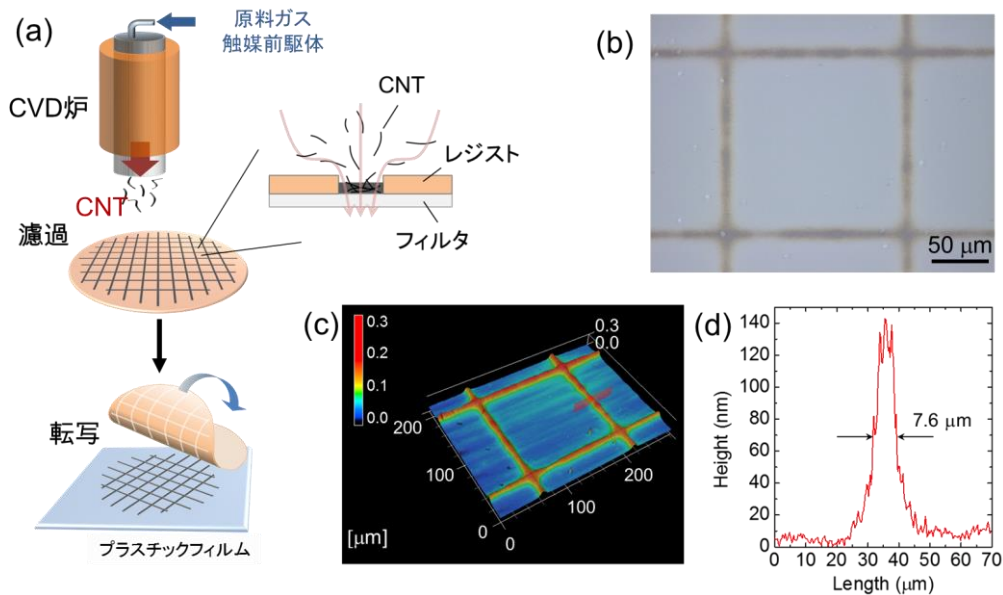


図1 CNT薄膜のワンステップパターニング. (a) プロセス概略図, (b) プラスチックフィルム上に形成したグリッド状のCNT薄膜, (c) レーザー顕微鏡により測定した形状像, (d) 断面形状.

(2) 微細グリッドによるカーボンナノチューブ透明導電膜の高性能化手法を提案・実証

従来、カーボンナノチューブ透明導電膜のシート抵抗と光透過率の間にはトレードオフがあり、高性能化のためにはこれらの両立が課題でした。本研究では、前述の微細パターニング技術を応用して、グリッド構造をもつカーボンナノチューブ透明導電膜を提案・実現し、トレードオフ問題を解決しました。

今回提案するカーボンナノチューブ透明導電膜は、図 2(a)に示すように、従来の均一なCNT薄膜に加え、微細なCNTグリッドを付加した構造をもちます。この構造では、グリッドの開口部により光透過性を確保しながら、グリッド配線によりシート抵抗の低減が可能です。

図 2(b)に示すように、グリッドを付加した場合、従来の均一膜の場合に比べて、最大で48%の低抵抗化を実現し、80%の透過率で53 Ω/sq.のシート抵抗を得ました。グリッドの開口率を向上するとともに、グリッド配線の形状を工夫することにより、より高い透過率も実現可能です。

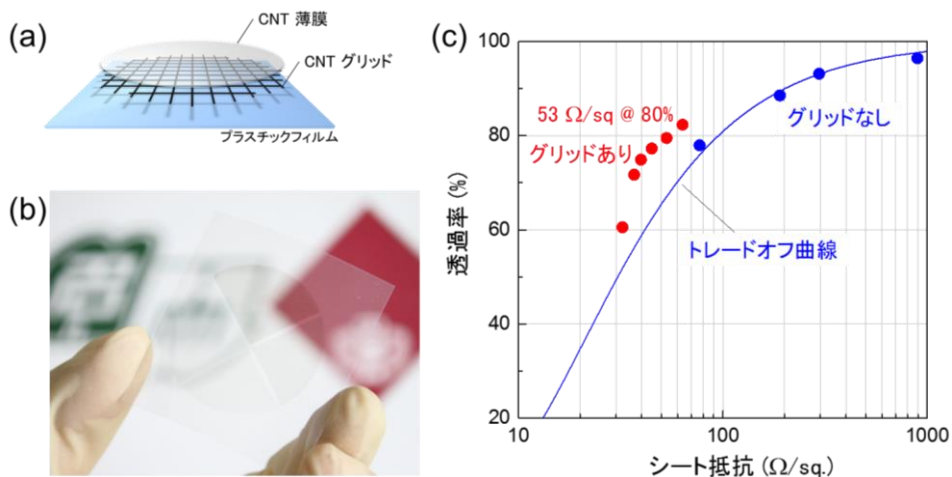


図2 微細グリッド構造をもつカーボンナノチューブ透明導電膜. (a) 構造模式図, (b) 写真, (c) 透過率とシート抵抗の関係.

(3) 投影型静電容量式タッチパネルの簡易製造プロセスを確立

投影型静電容量式タッチパネルはマルチタッチや複雑なジェスチャー検出が可能であり、スマートホン

やタブレット等に広く用いられています。静電容量式タッチパネルは、図 3(a)に示すように、モザイク状にパターニングされた 2 層の透明導電膜で構成されています。従来、ITO を用いた場合、真空スパッタによる成膜の後、フォトリソグラフィとウェットエッチングによるパターニング、有機溶剤によるレジスト除去などの煩雑なプロセスが必要でした。本研究で開発した簡易パターニング技術を応用することで、カーボンナノチューブ薄膜を用いたタッチセンサをプラスチックフィルム上に非真空・非リソグラフィプロセスで実現しました。図 3(c)に示すように、作製した CNT タッチセンサを用いて、文字を描く動作やマルチタッチ動作が可能であることを確認しました。

本技術により、柔軟性を持つ高性能透明導電膜やタッチパネル等の透明導電膜デバイスの製造工程において、省エネ化・省資源化が可能であり、二酸化炭素排出量の削減につながります。

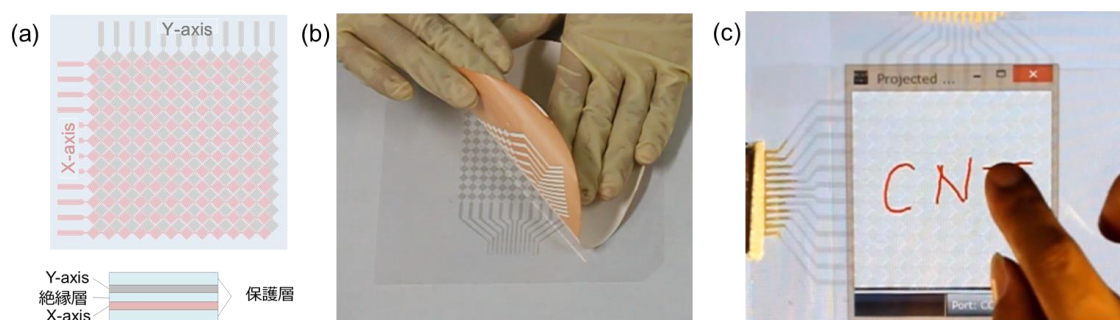


図3 静電容量式タッチパネルの簡易製造. (a) 構造模式図, (b) 転写プロセスの写真, (c) 動作実証の写真.