

面内異方性を有するフレキシブルな透明配線パターンの作製

電子デバイス技術課 横山義之

生活工学研究所 寺田堂彦^{*1}

1. 緒言

近年、太陽電池やタッチパネルの需要拡大と共に、ITO (Indium Tin Oxide) 膜を用いた透明導電性フィルムや透明配線パターンの市場が拡大している。しかし、レアメタルであるインジウムはコストが高く、脆弱で曲げ耐性もあまり無いため、代替材料の開発が強く求められている。

また、エレクトロスピンニング法 (電界紡糸法) の発展によって、衣服・電池・医療など多くの分野で高分子ナノファイバーの利用が進み始めている。その中で、高分子ナノファイバーが持つ細い網目構造をエッチングマスクとして利用し金属薄膜をエッチングすることで、可視光の波長よりも細い金属ネットワーク構造からなる透明導電性フィルムを形成する手法が新たに研究されている^{1,2)}。

さらに、我々は、エレクトロスピンニング法で得られる高分子ナノファイバーに感光性を付与し、堆積したナノファイバーシートを光で任意の形状にパターンニングする技術 (感光性ナノファイバー化技術) を開発してきた³⁾。

本研究では、高分子ナノファイバーを利用した透明導電性フィルムの形成手法に、独自の感光性ナノファイバー化技術を組み合わせることで、様々な物理的・機械的な面内異方性を有するフレキシブルな透明配線パターンの作製を試みた。本報告の中では、この面内異方性を得るために新たに調整した感光性ナノファイバーの種々の特性について報告する。

2. 実験方法

図1に、感光性ナノファイバーを利用した透明配線パターンの形成プロセスを示す。

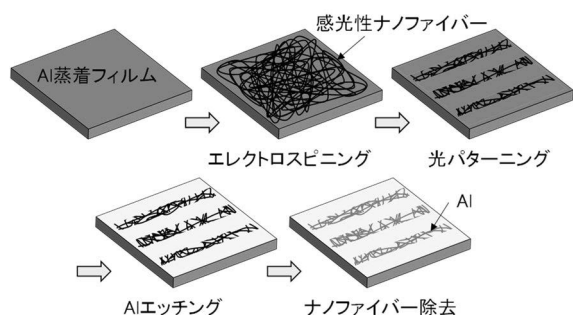


図1 感光性ナノファイバーを用いた透明配線パターンの形成プロセス

このプロセスでは、はじめに、PET フィルムに蒸着した AI 薄膜上に、エレクトロスピンニング法によって感光性ナノファイバーを堆積する。次に、任意の配線状に光パ

ターンニングした後、これをマスクとして、AI 薄膜をエッチングする。最後に、ナノファイバーを除去し、AI の細い網目状ナノネットワーク構造からなる透明配線パターンを露出させる。この透明配線では、AI ナノネットワークを伝わって電気が流れるため導電性を持たせることができ、同時に、AI ナノネットワークの隙間を光が通過することで、透明性も持たせることができる。

本研究で調整した感光性ナノファイバーには、溶解阻害型のポジ型 (光が当たった部分が消失し、当たらなかった部分がパターンとして残る) 感光機構 (図2) を組み込んだ。この感光性ナノファイバーは、ベースポリマーと光反応性の溶解阻害剤から構成されている。ベースポリマーは、アルカリ性の現像液に対してある程度の溶解性を示すが、溶解阻害剤を一定量以上加えることで、現像液に対して不溶となる。しかし、溶解阻害剤は光が当たると、化学反応により溶解促進剤へと大きく特性が変化することから、露光部では、現像液に対して再び溶解性を示すようになる。このように、露光部と未露光部で現像液に対する溶解性にコントラストをつけることで、光パターンニングを可能にしている。

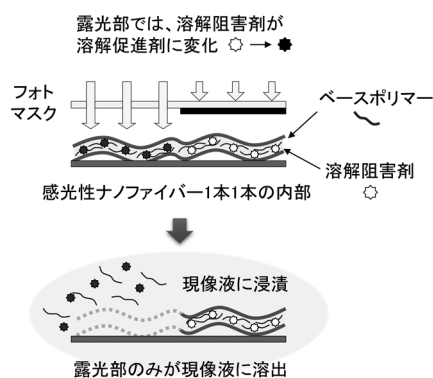


図2 溶解阻害型のポジ型感光機構

また、エレクトロスピンニング時に、連続して広範囲に均一なナノファイバーの堆積が行えるように、感光性ナノファイバーの溶液組成についても、複数の紡糸助剤を組み合わせる等の改良を新たに行った。

3. 実験結果

3.1 感光特性および現像特性

ここでは、面内異方性を与えるために新たに調整した感光性ナノファイバーについて、感光特性および現像特性を調査した。はじめに、AI 蒸着 PET フィルム上に堆積

^{*1} 現 企画調整課

した感光性ナノファイバーに、超高圧水銀ランプを光源とするマスクアライナー (PEM-800、ユニオン光学 (株)) を用いて、露光を行った。次に、アルカリ現像液 (PK-DEX4000T、(株) パーカーコーポレーション) を用いた現像を 90 秒間行い、露光部のナノファイバーのみを選択的に溶解させることで、光パターニングを行った。種々の露光量を試した結果、露光量が $50\text{mJ}/\text{cm}^2$ の時、最も明瞭な微細パターンが得られることがわかった。

また、現像時間を変化させた時の未露光部の感光性ナノファイバーの形状を走査型プローブ顕微鏡によって拡大観察した (図 3)。現像時間が 90 秒では、感光性ナノファイバーのネットワーク形状が維持されているのに対し、現像時間が 180 秒になると、未露光部であっても、ナノファイバーの溶解が見られ、大部分のネットワークが断絶してしまうことがわかった。

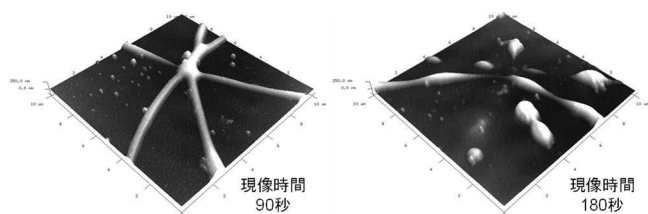


図 3 現像後の未露光部における感光性ナノファイバーの形状

3.2 エッチングマスクとしての特性

ここでは、感光性ナノファイバーのエッチングマスクとしての特性を調査した。エッチング液には、Pure Etch AS1 (リン酸・硝酸・酢酸混合液、林純薬工業 (株)) を用いた。感光性ナノファイバーを最適条件で光パターニングした後、Al 蒸着 PET フィルムをエッチングし、アセ

トンを用いてナノファイバーの除去を行った。図 4 に、エッチング時間を変化させた時の Al ネットワーク形状を拡大観察した結果を示す。エッチング時間が 120 秒では、Al ナノネットワークが転写されているのに対し、エッチング時間が 240 秒では、Al のエッチングが過剰となり、ネットワークの多くが断絶してしまうことがわかった。

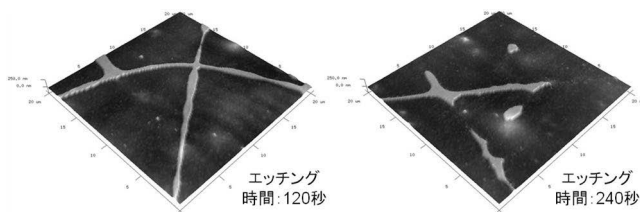


図 4 エッチング後の Al ナノネットワーク形状

4. 結言

本研究では、面内異方性を有するフレキシブルな透明配線を作製するために、感光性ナノファイバーを新たに調整し、その特性を調査した。最適露光量や現像時間、エッチング時間等の検討を行った結果、良好な光パターニングや Al ナノネットワーク形成が行える条件を見出した。

今後は、今回の実験結果を活用しながら、エレクトロスピニング時の堆積方法や形成する透明回路のパターン形状についても検討を行い、様々な面内異方性を有するフレキシブルな透明配線パターンの作製を試みる。

参考文献

- 1) K. Azuma *et al. Mat. Lett.*, **115** (2014) 187-189
- 2) T. He *et al. ACS Nano.*, **8**(5) (2014) 4782-4789
- 3) 特許 6786071, 感光性繊維及び繊維パターンの形成方法

キーワード：ナノファイバー，エレクトロスピニング，感光性高分子，透明電極

Fabrication of Flexible Transparent Circuit Patterns with In-Plane Anisotropy

Electronics and Device Technology Section; Yoshiyuki YOKOYAMA,
Human Life Technology Research Institute; Dohiko TERADA

We have been developing a method to form highly functional transparent conductive wiring patterns to replace conventional ITO wiring patterns. In this method, a photosensitive nanofiber consisting of a mesh-like nanonetwork structure is first fabricated by electrospinning, and then photo-patterned into the desired wiring shape. Next, using the resulting wiring pattern as an etching mask, the metal thin film on the flexible film is etched. Finally, the nanofibers are dissolved and removed to form a conductive, transparent wiring pattern. In this study, the photosensitive nanofibers were modified and their properties were investigated. In the future, we plan to use these photosensitive nanofibers to fabricate flexible transparent wiring patterns with in-plane anisotropy.