

ストレッチャブル透明回路の作製

電子デバイス技術課 横山義之、國方伸亮

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市場が拡大している。しかし、原料の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^{3,4)}。

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、感光性ナノファイバーを組み合わせることで、ストレッチャブル・フレキシブルな透明配線パターンの作製を試みている。本報告の中では、この技術をさらに発展させ、物理的・機械的な面内異性を有する透明回路について検討した結果を報告する。

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。このプロセスでは、はじめに、柔軟なプラスチックフィルムに蒸着したAl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、これをエッチングマスクとして、Al薄膜をエッチングする。最後に、ナノファイバーを溶解除去し、Al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、Al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、Al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。

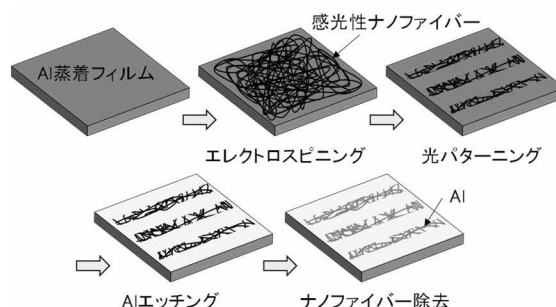


図1 感光性ナノファイバーを用いた透明配線パターンの形成プロセス

3. 実験結果

3.1 配向性を持った感光性ナノファイバーの堆積

従来、エレクトロスピンニング法による感光性ナノファイバーの形成は、Al蒸着フィルムを静置したまま行っており、ランダムに堆積したナノファイバーが得られていた。それに対し、本実験では、Al蒸着フィルムを高速で回転可能な回転ドラム上に張り付け、回転ドラムの回転数を変化させて、エレクトロスピンニングを実施した。それぞれの回転数で得られた感光性ナノファイバーの堆積の様子を図2に示す。

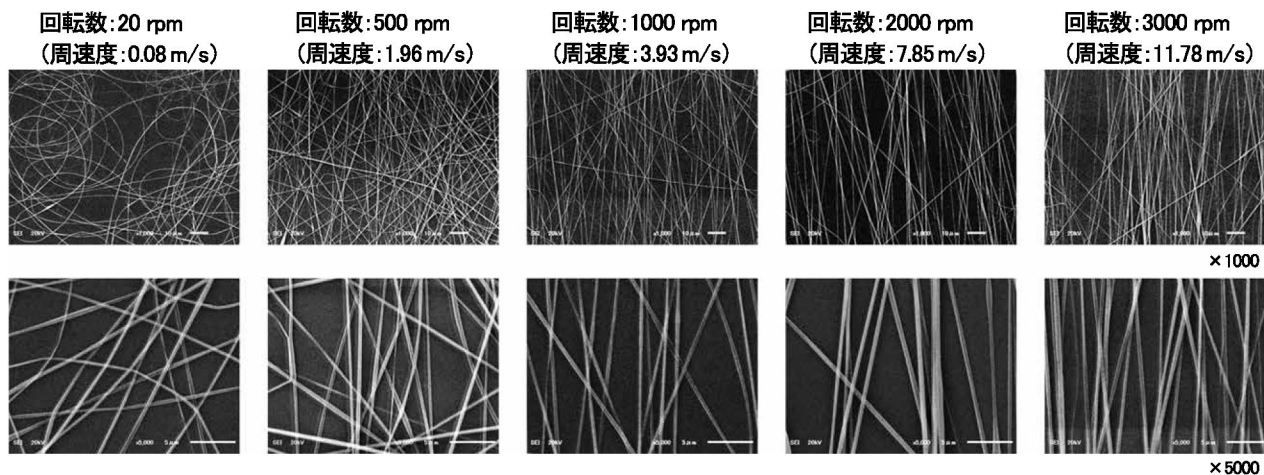


図2 エレクトロスピンニング時の回転ドラムの回転数と、得られる感光性ナノファイバーの配向性の関係

回転ドラムの回転数が低い時(回転数:20rpm、周速度:0.08m/s)には、ランダムな網目状に堆積された感光性ナノファイバーが得られた。回転ドラムの回転数を上げていくにつれて、徐々にドラムの回転方向に配向性を持つ感光性ナノファイバーが得られるようになり、最も回転数が高い時(回転数:3000rpm、周速度:11.78m/s)には、非常に高い配向性を持った感光性ナノファイバーが得られることがわかった。

3.2 感光性ナノファイバーの2次元ネットワーク化

配向性を持った感光性ナノファイバー(回転数:3000rpm、周速度:11.78m/sで堆積)を、感光性ナノファイバーのガラス転移温度(85°C)をわずかに上回る温度(90°C、2min)でベークした。その結果、ファイバー1本1本に熱ダレを起こさせることができ、3次元状に折り重なって堆積されていたナノファイバーを、配向性を維持したまま、Al薄膜に密着した2次元ナノネットワークへと変化させることができた(図3)。

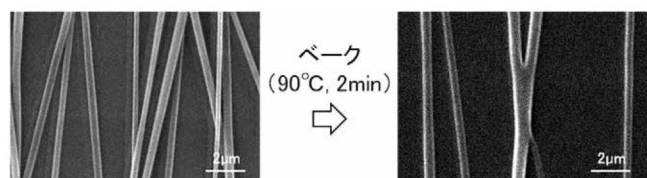


図3 感光性ナノファイバーの熱ダレによる2次元ネットワーク化

3.3 配向性を持ったAlナノネットワーク構造の形成

2次元ナノネットワーク化した感光性ナノファイバーを光パターニングし、線幅100µm以下の微細な配線を含む回路パターンを形成した。続けて、上記の回路パターン

状のナノファイバーをエッチングマスクとして使い、Al薄膜をエッチングすることで、プラスチックフィルム上に、配向性を持ったAlのナノネットワーク構造からなる微細な回路パターンを転写することができた(図4)。

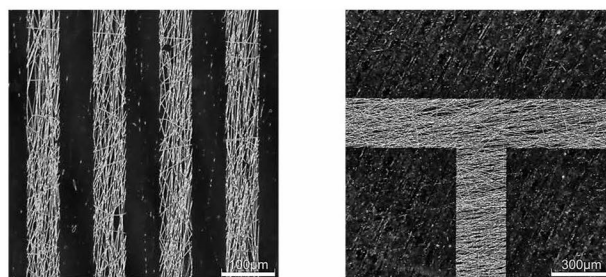


図4 配向性を持ったAlナノネットワーク構造

4. 結言

本研究では、高速回転ドラムを用いたエレクトロスピニング法によって、配向性を持った感光性ナノファイバーを形成することができた。また、配向性を持った感光性ナノファイバーをAl薄膜のエッチングマスクとして用いることで、配向性を持ったAlのナノネットワーク構造を形成することができた。

今後は、ナノファイバーの配向度と、様々な物理的・機械的な異方性の関係を詳細に調査していく予定である。

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
- 4) PCT/JP2020/001296, 感光性繊維形成組成物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, フレキシブル, 透明回路

Fabrication of stretchable transparent circuits

Electronics and Device Technology Section; Yoshiyuki YOKOYAMA and Nobuaki KUNIKATA

We have been developing a method to form stretchable and flexible 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 plastic film is etched. Finally, the nanofibers are dissolved and removed to form a conductive, transparent wiring pattern.

In this study, the conditions of the electrospinning method were improved and the mesh shape of the photosensitive nanofibers and metal nano-network structure was significantly changed. In the future, we plan to investigate various properties of stretchable and flexible transparent wiring patterns with in-plane anisotropy.