

ストレッチャブル電子デバイスの開発

生活資材開発課 横山義之 機械電子研究所 坂井雄一

1. 緒言

近年、多くの産業分野において、デジタルトランスフォーメーション(DX)の要求が非常に高まっている。DXの基盤となるIoT/AI/ビッグデータ解析では、あらゆる対象物からの情報収集・共有が重要となり、手軽に任意の表面(衣服・機械・構造物等の複雑な曲面や伸縮する部位)への貼付けを可能とするストレッチャブルな電子デバイス(各種のセンサやディスプレイ、アンテナ等)が求められている。さらに、近年注目を集めている「肌や目に直接張り付けるスキンエレクトロニクス」においては、ストレッチャブルな電子デバイスが透明であることも、人に身に付けていることを意識させない重要な要素となってきた。

これまでに、当センター独自の感光性ナノファイバーを駆使することで、金属(AI、アルミニウム)ナノネットワークからなるフレキシブルな透明配線をPET(ポリエチレンテレフタレート)フィルム上に作製している(図1)。この配線は、金属ナノネットワークの網目を伝って電気が流れ、同時に、網目の隙間を光が通り抜けることで、透明に見える。その際、網目の線幅が可視光の波長程度に細いため、網目自体は、ほとんど視認されない特徴を有している。

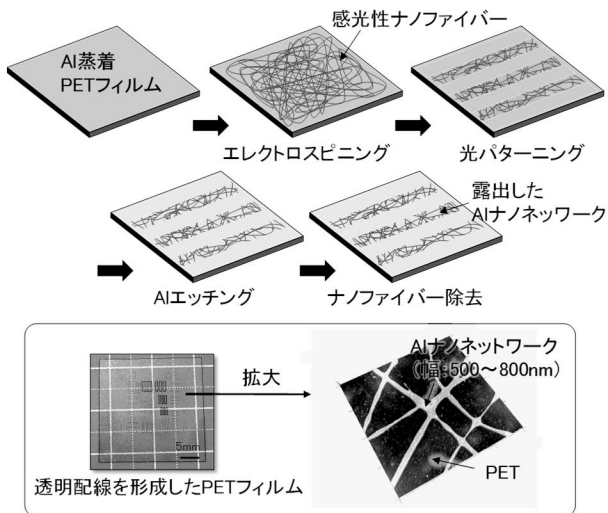


図1 PETフィルム上での透明配線の形成プロセス

我々は、このフレキシブルな透明配線の形成技術をさらに発展させ、大きな伸び・ねじりにも追従できる“ストレッチャブル”な透明配線の形成技術の開発に取り組んでいる。具体的には、金属ナノネットワークからなる透明配線をPETフィルム上から、より大きな伸縮性を示すシリコンシート上に転写する技術²⁾、および、金属ナノネットワークの素材自体を固体金属であるAIから、より変

形や伸縮に追従できるように、常温で流動体として振る舞う液体金属へと置き換える技術の開発を行っている。本報告では、金属ナノネットワークの素材を液体金属に置き換えるために必要となる「液体金属を光パターニングする技術」について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

常温以下に融点を持ち、毒性が低く安全な液体金属として、ガリウム系の合金が多く報告されている。本研究では、低温での実験が行いやすいように、常温に比較的近い温度領域に融点を持つガリウム-インジウム合金(融点:15.7°C)を選択し、実験に使用した。

図2に、本研究で考案・実施した低温リソグラフィプロセスを示す。はじめに、常温で、基板上に液体金属を滴下し塗膜を形成した。次に、感光性樹脂を重ね塗りした後、液体金属の融点以下に基板を冷却することで、液体金属を固体状態とした。フォトマスクを介した露光、現像、エッチングをそれぞれ低温で液体金属を固体状態に保ちながら行い、光パターニングを実施した。最後に、常温で流動性を取り戻した液体金属がパターン外に漏れ出さないように、封止材を用いて液体金属の封止を行った。

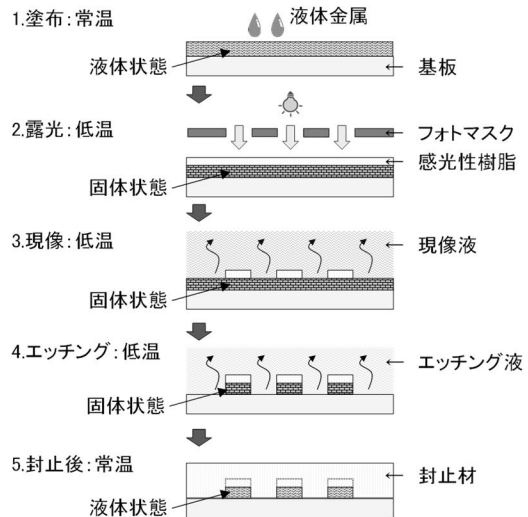


図2 低温リソグラフィプロセス

3. 実験結果および考察

3.1 液体金属の塗布性の改善

液体金属は、表面張力が高く、基板やフィルムの素材によっては、面状に塗布することが困難であった。そこで、液体金属の塗布性の改善を検討した。基板(ここではシリコン)上に、塗布下地として金を薄くスパッタ成膜(厚み:

約 10mm 程度)すると、滴下した液体金属と基板表面の金との間で合金形成が生じ濡れ性が大きく向上した。これにより、回転塗布による面状塗布が可能になった(図 3)。

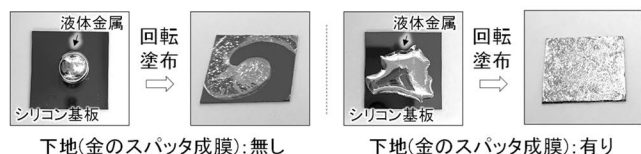


図 3 液体金属の塗布性に対する下地(金薄膜)の効果

3.2 液体金属の光パターニング

透明な素材であるガラス(φ30mm)を基板に用い、金薄膜をスパッタ後、液体金属を回転塗布した。続けて、可視光領域が透明なネガ型の感光性樹脂を選択し、上から重ね塗りした。その際、液体金属と感光性樹脂の間には相溶性が無く比重も大きく異なる事から、層間のミキシングは起こらず、良好な重ね塗りが行えた。次に、基板を-30°Cまで冷却し液体金属を完全な固体状態にした後に、冷却ステージ(4°C)を組み込んだ露光装置に移し、フォトマスクを密着させながらコンタクト露光を行った(図 4)。

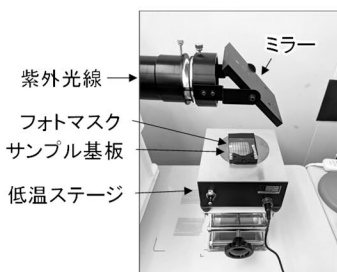


図 4 低温での露光実験

次に、感光性樹脂の未露光部分のみを溶解できる溶剤を現像液として選択し、氷浴中での現像を行い、フォトマスクに描かれていたパターン形状を感光性樹脂に転写した(図 5 左)。続けて、この感光性樹脂をエッチングマスクとし、氷浴中でのウェットエッチングを行い、固体状態の液体金属をパターニングした(図 5 右)。エッチング液とし

ては、液体金属として今回用いているガリウム合金を良好に溶解できる溶液を探索し、これを用いた。

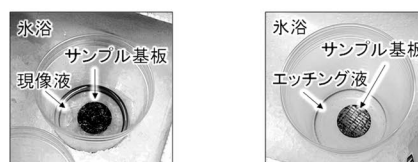


図 5 低温での現像(左)と、エッチング(右)

最後に、透明な封止材として、露光時に用いた感光性樹脂を再度用い、エッチングによりパターニングされた液体金属を覆った後、全面露光による硬化を行い封止した(図 6)。封止後は、常温で液体金属が流動性を取り戻しても液体金属のパターン外への漏れ出しは見られなかった。

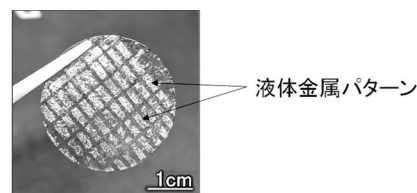


図 6 光パターニング後に封止した液体金属(常温)

4. 結言

本研究では、ストレッチャブル電子デバイスの開発にむけて、液体金属の光パターニング技術について検討を行った。液体金属を固体状態に保ちながら行う「低温リソグラフィープロセス」によって、これまでの固体金属と同様に液体金属を光パターニングできる可能性を見出した。

参考文献

- 1) 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
- 2) 富山県産業技術研究開発センター研究報告 37, 87(2023)

キーワード：ストレッチャブル透明回路、液体金属、低温リソグラフィ、感光性ナノファイバー

Development of Stretchable Electronic Devices

Life Materials Development Section; Yoshiyuki YOKOYAMA
Mechanics and Electronics Research Institute; Yuichi SAKAI

We have developed “flexible” transparent conductive wiring consisting of Al nano-networks using photosensitive nanofibers. Currently, we are further developing this technology to develop “stretchable” transparent conductive wiring. In this study, we have investigated photo-patterning techniques for liquid metals, which are necessary to replace solid metals such as Al with liquid metals as the material for metal nano-networks. Specifically, we have developed a “low-temperature lithography process” that is performed at temperatures below the melting point of liquid metal. By using this method, it has become possible to pattern a gallium alloy, which is a liquid metal, into any shape using light.