

光電子材料と薄膜センサーの開発に関する研究

- 樹脂フィルムへの微細加工 -

材料環境部
平井智紀
研究企画課
臼井一郎

フォトリソグラフィ法を用いてウェアラブルデバイス（身につける機器）¹⁾の作製に必要とされる樹脂フィルム上への微細加工を行った。併せて、曲面用フォトマスクを用いてガラス曲面への微細加工が可能であることを検討した。その結果、ポジ型レジストを用いたコンタクト露光法で樹脂フィルム上に対して線幅 2 μm の微細加工が可能であること、そしてガラス曲面への微細加工が可能であることが判明した。

1. はじめに

電子素子の作製で用いられる微細加工技術の精度は数十 nm という世界に入っており、ますます微細化されている。そして、我々のライフスタイルも変化し、医療・福祉分野における計測センサー²⁾や機器³⁾、あるいは音楽や映像の情報産業における携帯機器や電子ペーパーなどの機器を身につけたいという要求が高まり、機器の小型・軽量化によるウェアラブルデバイスとそれに伴う新たな市場が期待されている。現在、それらの装置の大半ではプリント基板に配線が施されており、身につける機器を実現するには、配線の微細化による集積化とデバイス自体が軽く、薄く、時には曲がる必要がある。

当センターではフォトリソグラフィ法による微細加工技術を用いて光干渉効果を持つ表面の作製技術の研究に取り組んできた。本研究では、その技術を樹脂フィルム上に応用することでウェアラブル化に必要な技術へと発展できるかを検討した。併せて、透明な樹脂を用いることで曲がるフォトマスクの作製と曲面に対するフォトリソグラフィの可能性について検討した。

2. 実験方法

2.1 試料作製方法

2.1.1 樹脂フィルムへのフォトリソグラフィ

フォトリソグラフィとは、光を照射して被加工物である基板に回路パターンを形成する方法で、半導体デバイスの作製などに用いられている。基板にレジストと呼ばれる感光樹脂を塗布し、あらかじめパターンが施されたフォトマスクの形状を光で転写する。今回は 10mm × 10mm × 0.15mm の PET（ポリエチ

レンテレフタレート）に AI 配線の加工を行った。主な工程と作製条件を表 1 に示す。フィルムをアセトン、エタノール、純水の順でパドル洗浄し、乾燥空气中で水分を飛ばした後、ホットプレートにて乾燥を行った。その後、直流スパッタ法により厚さ 65nm 程度の AI 薄膜を形成した。次に、HMDS（東京応化工業製ヘキサメチルジシラザン）を用いてフィルムの AI 膜側とレジストの密着性を向上させた後、スピナー（共和理研製 K-390SD-2）でレジストを塗布した。更に、プリベークを行った後、フォトマスクとレジスト塗布面を密着させ、コンタクト露光装置（共和理研製 K-310P-100S、光源波長 365 nm、露光強度 35mW/cm²）を用いて露光を行った。最後に、現像液（東京応化製 NMD-3）にて現像し、純水でのリンスを行った。なお、フォトマスクは可視光を四方に干渉させる目的のため、縦と横に線幅 2 μm の L&S（ラインアンドスペース）が構成されている。

表 1 主な工程と作製条件

工程名	方法など	作製条件
1. フィルム洗浄	アセトン エタノール 純水	30sec 30sec 30sec
2. 塗布前ベーク	ホットプレート	373K, 300sec
3. AI 成膜	直流スパッタ法	膜厚約 65nm
4. 表面処理	HMDS デジケータ 室温乾燥	300sec 300sec
5. レジスト塗布	レジスト剤 塗布回転数	0FPR-800 20mPa・s 4000rpm 20sec
6. プリベーク	ホットプレート	60sec
7. 露光	コンタクト露光法	$\lambda=365\text{nm}$
8. 現像	NMD-3 浸漬法	60sec
9. リンス	純水 浸漬法	60sec

2.1.2 AI 薄膜のエッチング

前項のレジストパターンを施した AI 薄膜付き PET フィルムを AI エッチング液 ($\text{H}_3\text{PO}_4:\text{HNO}_3=20:1$) に浸漬し、レジストが被われていない部分の AI 薄膜を溶かし、可視光を干渉する AI 配線パターンを作製した。

2.1.3 曲面フォトリソグラフィ

前項で作製した可視光干渉 AI 配線パターンを曲がるフォトマスクとして用い、曲面に対するフォトリソグラフィを行った。直径 16.5mm のガラス製試験管に各種洗浄とオープンによる乾燥を行い、HMDS 処理、ディップ法によるレジスト塗布、オープンでのプリベークを行った。その後、 $8.5\text{mm} \times 3.6\text{mm}$ の曲面用フォトマスクをレジスト面に密着させ露光し、現像、リンスを行った。露光の際、曲面マスクは試験管中心軸から約 60° の範囲の円筒面を覆うように貼り付けた。

2.2 評価方法

本研究において加工するパターンは線幅 $2\text{ }\mu\text{m}$ の L&S で構成されており、可視光を干渉させる設計である。評価方法は目視、カメラ及びレーザー顕微鏡 (オリンパス光学製 OLS1100) による表面観察である。また、フィルム断面の評価では、通常のヘキ開法では困難であるため、FIB 加工機 (集束イオンビーム加工機、日立製作所製 FB-2000A) を用いた。その際、導電性付与のため、CVD 法を用いて試料表面に Os (オスミウム) 膜を数 nm コーティングした。

3. 結果及び考察

3.1 樹脂フィルムへのレジストパターン形成

図 1 に露光時間によるレジストパターンの平均線幅をスペース (現像で溶解した部分) 幅として示す。この時のプリベーク温度は 373K である。マスクの線幅である $2\text{ }\mu\text{m}$ に最も近いのは露光時間 1.2sec であった。0.1sec ではレジストでフィルムが被われ、2.0sec ではレジスト線幅が小さく、一部レジストの剥離も生じた。レジストの厚みが約 $0.6\text{ }\mu\text{m}$ の場合は 1.2sec 付近が最適な露光時間であり、これより短いと光量不足のため光による可溶化反応が進まずパターンが塞がり、長いと光量多寡で可溶化反応が進みレジストが細くなってしまうと考えられる。また、レジストの剥離は露光時間が長くなるとレジストのライン (現像で不溶だった部分) 幅が小さくなり、AI 薄膜との密着力が低下したことに起因すると考えられる。ただし、レジスト膜厚を変えるとレジスト内で露光の照射形状と強度が変化するため、最適な露光時間も変化すると考えられる。図 2 にプリベーク

温度によるレジスト断面形状の変化を示す。観察は鉛直方向から 30° 傾けて行った。ここでは露光時間を 0.8sec とした。393 K で最も膜厚が大きく、鋭い形状であったが、フィルムの一部に反りが生じた。プリベーク温度が下がるにつれて、膜厚が小さくなり、形状も丸みを帯びている。プリベーク温度は高いほどレジストに含まれる溶媒が揮発し、露光の光による可溶化反応が未露光部に拡散しにくく、形状が鋭くなったと考えられる。しかし、高温になるとフィルムと AI 薄膜の熱膨張係数が異なることによる反りが発生する。今回の実験からプリベーク温度を 393 K より低くするか、PMP (ポリメチルペンテン) などの透明・高耐熱のフィルムを使用することが必要と考えられる。

3.2 AI 薄膜エッチング

図 3 にレジストパターンを施した AI 薄膜に対し時

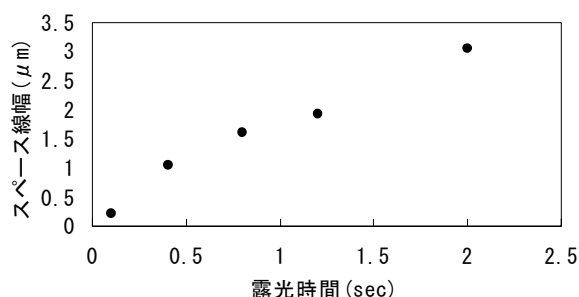


図 1 露光時間によるスペース線幅の変化

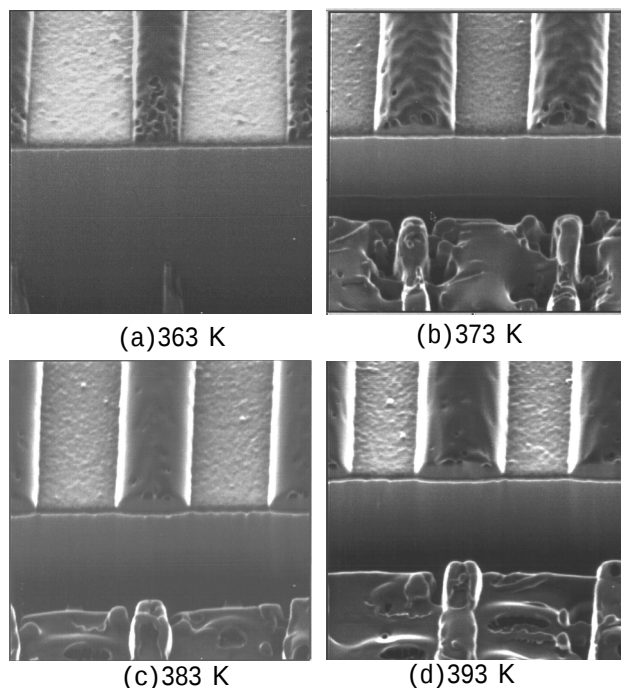


図 2 プリベーク温度による現像後のレジスト形状
(図の横幅は $8\text{ }\mu\text{m}$)

間を変えてエッチングを行った結果を示す．図ではレジストをアセトンで除去している．120sec では除去される Al がまだ残っており，480sec では Al ラインが侵食されている．240sec で最もラインエッジがシャープである．また，240sec エッチングを行ったときの Al 線幅は $2\mu\text{m}$ とマスクの線幅である $2\mu\text{m}$ とほぼ一致した．現像時間が最適であれば，浸漬法でも $2\mu\text{m}$ 程度のエッチングは精度よく行えるといえる．併せて，図 4 に直径 51mm，厚さ 0.15mm の PET フィルムに加工した Al 薄膜の可視光干渉パターンを示す．全体に干渉光が確認され，均一なレジスト加工とエッチング加工であることが分かる．

3.3 曲面加工への試み

前項の Al 干渉パターンを施した PET フィルムを曲

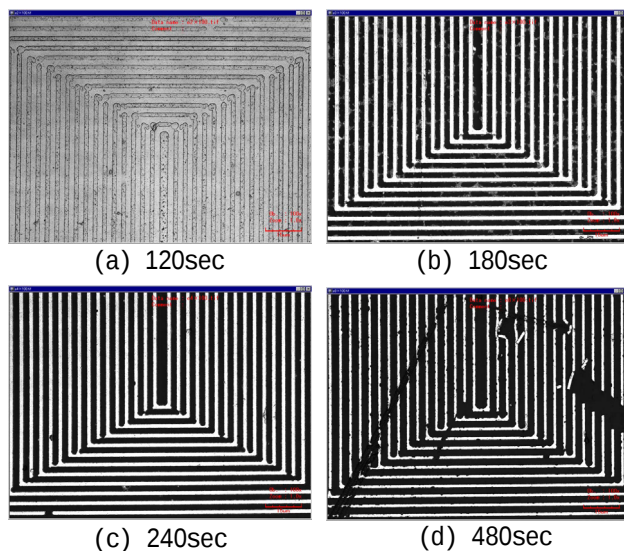


図 3 エッチング時間と Al 線の形状

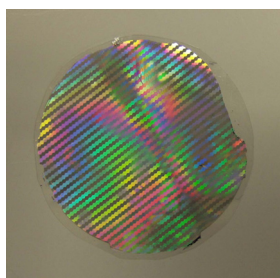


図 4 PET フィルム上の可視光干渉パターン

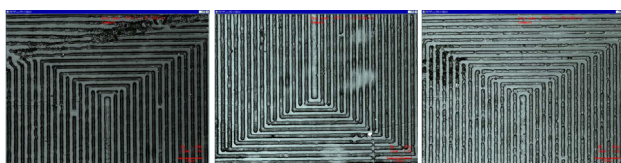


図 5 曲面に作製したレジストパターン

(左から露光光に対して左 30° ， 0° ，右 30° の曲面)

面フォトマスクとして用い，試験管の外周曲面のレジストへフォトリソグラフィを行った．その結果を図 5 に示す．約 $2\mu\text{m}$ のレジストパターンが形成されているのが分かる．しかし，前項の樹脂フィルムのレジストパターンより曲面でのレジストパターンでは Spece 幅が小さくなった．この実験では，ディップ法によるレジスト塗布を行ったため，スピンコート法より膜厚が大きくなり，レジスト断面がテーパ状になったことが原因と思われる．改善策として 露光時間を長くする，レジストの粘度を下げ膜厚を小さくする，スプレー法など別の塗布方法を行うことが考えられる．加工条件を最適化することで，曲面へ微細線幅のフォトリソグラフィが可能であると思われる．

4. おわりに

これまで Si 基板上にコンタクト露光法を用いた可視光干渉パターンの作製条件について最適化を行ってきた．今回はこれまでの技術をウェアラブルデバイスに必要と考えられる樹脂フィルム上への微細加工に応用した．更に，この技術に応用した曲面へのフォトリソグラフィの可能性を調査した．結果は以下のとおりである．

- (1) PET フィルムへ Al 薄膜を形成し，レジストパターン作製とエッチングを行うことで $2\mu\text{m}$ の L&S 加工が可能であることを確認した．
- (2) 上記フィルムをフォトマスクとして用いることで，曲面へのフォトリソグラフィが可能であることを明らかにした．

最後にフォトリソグラフィに関してご指導いただきました独立行政法人産業技術総合研究所の秋永広幸博士，ナノプロセッシングパートナーシッププログラム (NPPP) および AIST ナノプロセッシング施設 (AIST-NPF) のスタッフの皆様に深く感謝いたします．

参考文献

- 1) 玉川憲・上條昇・井上忠宣，コンピュータを着る - ウェアラブルコンピュータ - ，日本機械学会誌，Vol.106 No.1014，pp357-361(2003)
- 2) 牧川方昭，計測器を着る - 日常身体活動のモニタリング - ，日本機械学会誌，Vol.106 No.1014，pp370-373(2003)
- 3) 川村貞夫，ロボットを着る - 可変拘束装置とパワーアシスト - ，日本機械学会誌，Vol.106 No.1014，pp366-369(2003)