

## 微細パターニングのためのダイレクトインプリント技術の開発

### Development of Novel Direct Imprint Lithography for Fine Patterning

○長目 淳 (豊橋技科大)      田中真二 (豊橋技科大)      正 柴田隆行 (豊橋技科大)  
川島貴弘 (豊橋技科大)      久保田俊夫 (茨城大)      御田 護 ((株)MEPJ)

Atsushi NAGAME, Toyohashi University of Technology, 1-1 Hibarigaoka, Tempaku-cho, Toyohashi  
Shinji TANAKA, Toyohashi University of Technology  
Takayuki SHIBATA, Toyohashi University of Technology  
Takahiro KAWASHIMA, Toyohashi University of Technology  
Toshio KUBOTA, Ibaraki University  
Mamoru MITA, MEPJ Co., Ltd.

#### 1. はじめに

近年、携帯電話などの電子情報機器の小型化・高性能化にともない、プリント配線基板に対する微細化・高密度化の要求が高まっている。しかし、従来のフォトリソグラフィは装置が高価であり、プロセスが複雑であるため、製造コストと時間が大きな問題となる。このため、フォトリソグラフィの代替技術として、ナノインプリント技術が注目されている。これは、微細な凹凸を形成した硬質な金型（ニッケル金型など）を樹脂材料などに押し付けることで、所望のパターン形成を簡便に行える方法である。

本研究では、フッ素系ポリマーを軟質のスタンプ表面に付着させ、目的とする基板上へ直接転写し、線幅  $10\mu\text{m}$  程度の銅配線パターンを簡便、かつ低コストで形成する新規なダイレクトインプリント技術の確立を目標としている。

#### 2. ダイレクトインプリント技術

図 1 に提案するダイレクトインプリント技術の概要を示す。まず、①溶剤に溶かしたフッ素系ポリマー (poly(MMA-co-C8FA), 以下 C8FA と呼ぶ) を Si 基板上にスピコートした後、軟質なシリコン樹脂 (PDMS) 製のスタンプを押し当てることで表面に付着させる。ここで、C8FA は独自に開発したマスク材料であり、フッ素系の撥水性ポリマーに揮発抑制剤として N-メチル-2-ピロリドン (NMP) を添加したものである。次に、②PDMS スタンプに付着させた C8FA を加熱した Cu 箔 (Cu 膜厚  $3\mu\text{m}$ , ポリイミド膜厚  $25\mu\text{m}$ ) 上に押し当て ( $600\text{g}$ ,  $140^\circ\text{C}$ ,  $5\text{s}$ )、③C8FA パターンを転写する。最後に、④塩化第二鉄溶液 (40wt%) でエッチングを行い (1min), Cu 配線パターンを形成する。

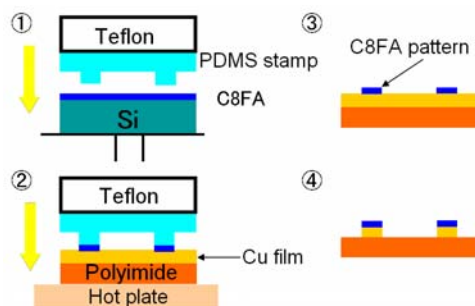


Fig. 1 Direct imprint lithography

図 2 にダイレクトインプリント用に開発した装置の概要を示す。これまでの基礎実験の結果から、再現性を向上させるためには、Cu 箔と PDMS スタンプ表面との平行度を高い精度で調整する必要があることがわかった。そこで、本装置では、PDMS スタンプを固定するヘッド部と Cu 箔を加熱するホッ

トプレートとの角度を 2 軸の傾斜ステージ (最大傾斜角:  $\pm 2^\circ$ ) を用いて調整可能とした。また、ヘッド部は 2 本の直交するレールに沿って横方向と縦方向に移動するため、平行度調整後に、Cu 箔に対して再現性よく PDMS スタンプを垂直に押し付けることができる機構となっている。

本研究では、PDMS スタンプに付着させる C8FA 量および揮発抑制剤として用いた NMP の濃度の影響を調べ、目標とする線幅  $10\mu\text{m}$  程度の Cu 配線パターンの形成を試みた。

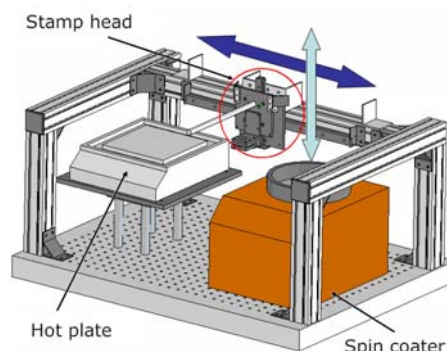


Fig. 2 Experimental apparatus for direct imprint lithography

#### 3. C8FA 膜厚の影響

PDMS スタンプに付着させる C8FA の量をスピンコートの際の回転数によって制御し、その影響を検討した。ここでは、スピンコートの回転数が大きいほど PDMS スタンプに付着する C8FA 量が相対的に少ないことを意味する。図 3 に Cu 箔上へ C8FA のラインパターンを転写した結果を示す。PDMS スタンプ線幅は  $15.3\mu\text{m}$ , NMP 濃度は 50% 一定として実験を行った。回転数が  $4000\text{min}^{-1}$  および  $5000\text{min}^{-1}$  の場合、転写された C8FA のライン幅はほぼ一定であり、両端部の直線性もよい良好なパターニングが行われていることがわかる。このときの C8FA 線幅はそれぞれ  $17.4\mu\text{m}$ ,  $18.6\mu\text{m}$  となっている。一方、回転数を  $6000\text{min}^{-1}$  まで増加させると、PDMS スタンプへ付着させる C8FA 量が少なすぎたために、部分的に C8FA が Cu 箔上に転写されておらず、パターンが明瞭となっていない。

図 4 は C8FA パターン (図 3 に対応) をマスクとして Cu 箔をエッチングしたときの結果である。エッチング後の結果を比較すると、回転数が  $4000\text{min}^{-1}$  の場合には、C8FA 線幅に対し、形成された Cu 線幅は  $22.8\mu\text{m}$  と大きく、ラインパターン両端部の直線性も低い。さらに、隣接するライン同士の隙間にはエッチングされていない箇所も認められ、C8FA 転写パターンが見た目の幅よりも横方向に広がっていたことを示唆している。これは、PDMS スタンプに付着させた C8FA 量が過剰であったために、溶剤が蒸発して固化するまでに C8FA

が横方向へ流動したことが原因と考えられる。一方、回転数が  $5000\text{min}^{-1}$  の条件では、線幅  $9.0\mu\text{m}$  の良好な Cu ラインパターンが形成されていることがわかる。しかし、さらに回転数を  $6000\text{min}^{-1}$  まで増加させると、Cu ラインパターンの形成が行われていないことがわかる。これは、Cu 箔上への C8FA の転写が不十分であった前述の結果と一致する。以上の結果から、PDMS スタンプへ付着させる C8FA 量を制御することが、良好な Cu ラインパターンを形成するために重要となる。

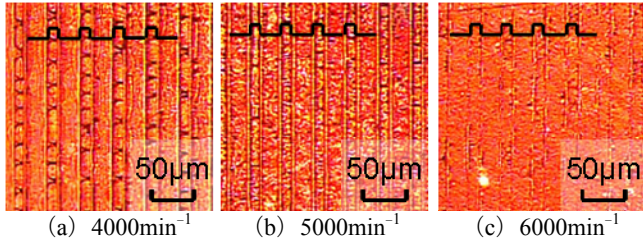


Fig. 3 Effect of spin speed on imprinted C8FA line patterns on Cu

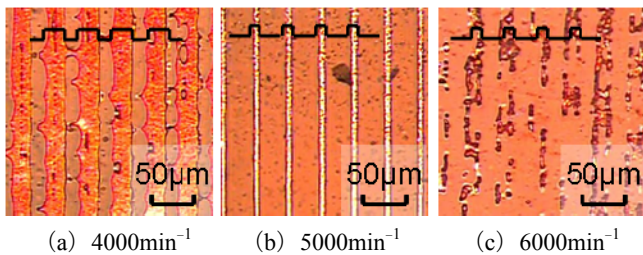


Fig. 4 Cu line patterns formed by etching with C8FA etch mask

#### 4. NMP 濃度の影響

揮発抑制剤として添加した NMP 濃度の影響を図 5 に示す。PDMS スタンプ線幅は  $15.3\mu\text{m}$ 、回転数は  $5000\text{min}^{-1}$  一定である。C8FA 線幅は、NMP 濃度 40% で  $22.0\mu\text{m}$ 、60% で  $23.1\mu\text{m}$  となっており、良好な結果が得られた濃度 50% の条件 (図 3(b) 参照) と比較して、いずれの条件でも大きくなった。

図 6 は C8FA パターン (図 5 に対応) をマスクとして Cu 箔をエッチングしたときの結果である。濃度 40% では、形成された Cu 線幅は  $22.8\mu\text{m}$  となっている。さらに、隣接するライン同士がつながっている箇所も多く認められ、C8FA 線幅が見かけよりも大きくなっていったことを示している。本来、揮発抑制剤として添加している NMP 濃度が小さな条件では、溶剤が揮発しやすくなるため C8FA の横方向への流動が抑えられると考えられる。しかし、予想に反し、むしろ多くの C8FA が Cu 箔上に転写されたことを示唆している。これは、NMP の添加濃度を減少させたことで、溶剤中に含まれる C8FA 自身の濃度 (分量) が大きくなったことに起因していると考えられる。すなわち、前述した回転数の影響の中で、低い回転数の条件 (PDMS スタンプ上に付着する C8FA 量が多い条件) と同様な現象が起こったものと考えられる。以上の結果から、適量以上の揮発抑制剤を添加することで、PDMS スタンプに付着させた C8FA は乾燥固化する前に Cu 箔上に転写できることがわかる。このような条件下では、溶剤中に含まれる C8FA の濃度の制御が重要となる。

一方、濃度 60% の条件では、個々の Cu ラインパターンが独立して形成されていることがわかる。線幅は  $14.6\mu\text{m}$  となっており、濃度 50% (図 3(b) 参照) に比べて大きくなった。この理由は、揮発抑制剤として添加した NMP 濃度が高すぎると、C8FA が Cu 箔上で固化する時間 (溶剤が完全に蒸発するまでの時間) が長くなり、横方向への流動が顕著になるためと考えられる。また、C8FA を転写した領域の Cu ライン上でもエッチングが起こっている箇所があり、十分な量の C8FA が転写されていなかったことを示している。これは、揮発抑

剤として添加した NMP 濃度の増加によって、C8FA 自身の含有量が減少したことに起因していると思われる。

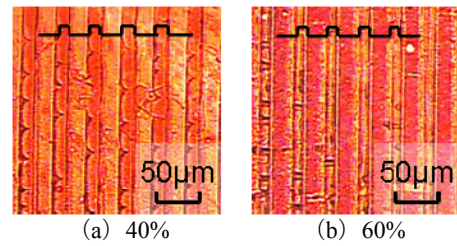


Fig. 5 Effect of NMP concentration on imprinted C8FA patterns

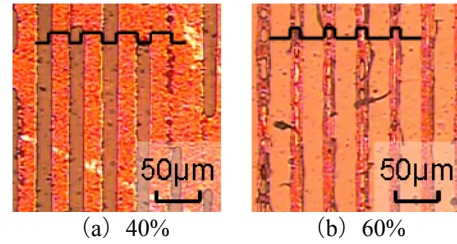


Fig. 6 Cu line patterns formed by etching with C8FA etch mask

#### 5. 転写精度

本実験条件で最も良好な結果となった回転数  $5000\text{min}^{-1}$ 、NMP 濃度 50% の条件でパターンニングを行った際の、C8FA および Cu 線幅のばらつきと再現性を評価した。その結果を図 7 に示す。C8FA 転写パターンでは、1 つの試料内 (6 本のラインで評価) での線幅のばらつきは標準偏差で  $1.3\mu\text{m}$  以下であり、線幅に対して 7% 以下の高い精度が得られた。また、3 つの試料の線幅の平均値から計算した標準偏差は  $0.9\mu\text{m}$  と再現性も高いことがわかった。

Cu ラインパターンでは、1 つの試料内での線幅のばらつきは標準偏差で  $1.6\mu\text{m}$  程度となり、線幅に対して 20% 程度と大きく、改善の余地がある。試料間でのばらつきは標準偏差で  $0.8\mu\text{m}$  である。また、本実験のエッチング条件では、Cu のエッチレートは  $4\mu\text{m}/\text{min}$  であるため、エッチング時間 1min のサイドエッチ (横方向のエッチング量) は  $4\mu\text{m}$  となり、Cu 線幅は  $8\mu\text{m}$  減少することになる。実験結果から、C8FA 線幅に対して Cu 線幅は  $9\mu\text{m}$  程度小さく、この値とほぼ一致した。

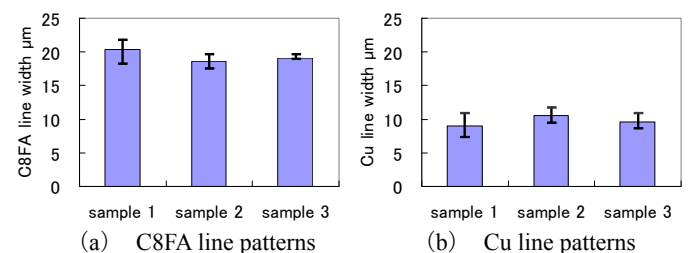


Fig. 7 Patterning accuracy and reproducibility

#### 6. まとめ

PDMS スタンプを用いて撥水性のフッ素系ポリマーを Cu 箔基板上に直接パターンニングし、マスクパターンを形成するダイレクトインプリント技術を検討した。C8FA のインプリントにおいては、PDMS スタンプに付着させる溶剤の全量と溶剤中の C8FA 含有量を制御することが重要であることがわかった。本実験では、スピナーの回転数  $5000\text{min}^{-1}$ 、NMP 濃度 50% の条件で、C8FA 線幅のばらつきが 7% 以下の高精度なインプリントが実現できた。また、形成した C8FA をマスクとして、目標とする線幅  $10\mu\text{m}$  程度の Cu ラインパターン形成が可能となり、提案する手法が高密度配線パターンの作製技術として有効であることを示した。