

論文

マイクロ部品作製のための高アスペクト比リソグラフィ

加沢エリト^{*1)} 上野武司^{*1)} 篠田 勉^{*2)}

High-aspect-ratio lithography for micro module fabrication

Elito KAZAWA, Takeshi UENO and Tsutomu SHINODA

Abstract The ability to machine small parts using pattern electroplating is of growing interest in the electronics field, such as semiconductor test probes, sensors and waveguides for optical networks. Many of these applications require high-aspect-ratio lithography using thick resist films. Therefore, we examined the SU-8 which is a negative, epoxy-type, near-UV photoresist. We found refractive index changes in SU-8 formation with penetration light observation. By performing penetration light observation, it became possible to rationalize process in a short time.

Keywords SU-8, LIGA, HARMS, MEMS, PEB

1. はじめに

加速度センサや半導体検査プローブなどのマイクロ部品を作製するために UV-LIGA の手法を検討した。これは、厚膜フォトレジストを鋳型としてめっきでパーツを形成したり、厚膜フォトレジストを構造材料として利用する技術のことで、微細で高アスペクト比の形状を得ることができる。同様の技術には X 線を用いた Xray-LIGA があるが、高価な設備が必要であるため代替技術が求められていた。

従来の厚膜レジストは、その断面にテーパがついてしまう欠点を有しており、さらに、膜厚を厚くすることができないため、高アスペクト比の構造作製には不向きである。そこで、断面プロファイルがほぼ垂直になり、膜厚を厚くできる紫外線厚膜フォトレジストの SU-8 を用いた。¹⁾²⁾

SU-8 のパターンニング工程には微細な調整が必要で、微細パターン「剥がれ」「倒れ」が生じやすく、さらに、パターン間をめっきで埋めた場合に、めっきが SU-8 の下に潜り込むなどの問題が起きる場合もあった。しかしながら、走査型電子顕微鏡 (SEM) や金属顕微鏡を用いたパターン外観検査では工程の不具合を見出すことが困難で、適正条件を見出すのに時間がかかり作業効率を低下させる要因になっていた。

本研究では、透過光観察を用いることによって工程の適正化を短時間で行えることを見出したので報告する。

2. 実験方法

2.1 SU-8 の材料組成および硬化原理

SU-8 の主成分はビスフェノール A ノボラックで、これに酸発生剤を添加している。紫外線を照射することで酸 (プロトン) を発生し、これを加熱することで架橋され硬化するものである。架橋前の SU-8 のガラス転移点はおよそ 50 で、架橋後のガラス転移点は 200 以上になる。

SU-8 を用いたパターンニング工程は、1) コーティング、2) プリベーク (ソフトベーク)、3) 露光、4) PEB (露光後ベーク)、5) 現像・リンスである。各工程については次項に述べる。

2.2 実験工程

2.2.1 基板

基板サイズおよび形状ならびに表面状態 (材質) が次項のコーティングにおいて膜厚に影響をおよぼすため、基板条件を一定とした。本研究では、厚さ 1.0 μm の熱酸化膜をつけた単結晶シリコン基板を使用し、38 mm × 38 mm の正方形に切り出して実験を行った。

2.2.2 コーティング

SU-8 のコーティングにはスピンコート法を用いた。コーティング条件は次のとおりである。

- 1) 初速 200rpm 5 秒間一定、
- 2) 加速時間 20 秒一定、
- 3) 主速 1000 ~ 6000rpm 5 秒間

予備実験においてコーティングにおける初速の影響が大きいことが判った。本研究では初速を 200rpm 一定にし

*1) 電子技術グループ *2) 中小企業振興公社城東センター

ている。この条件は、基板寸法とレジスト滴下量によって調整が必要である。

本研究では、加速時間一定として実験を行ったため、塗布回転数によって加速度(ランプ)が異なる。各回転数に対する加速度を表1に示す。

表1 コーティングの加速(ランプ)

主回転数rpm	1000	2000	3000	4000	5000	6000
加速度rpm/sec	50	100	150	200	250	300

本研究では振り切りを行っていない。これは、予備実験において膜厚に対する振り切りの影響が大きく膜厚が薄くなってしまったためである。振り切りに関しては今後の課題としたい。

2.2.3 プリバーク

一般的に、厚膜レジストをバークするには、電気炉(オープン)を用いるよりも、ホットプレートの方が適しているといわれている。電気炉を用いてバークした場合には、レジストに内部の溶媒が乾燥除去される以前に表面が固まり、内部の溶媒が封じ込められ、レジスト全体が柔らかな状態になってしまうためである。

しかしながら、ホットプレートを用いた場合にはレジスト表面が最後まで固まらないため、スティッキングとよばれるマスクへの張り付き現象の要因になりやすい。

本研究では、電気炉を使用することによってスティッキングを防止するとともに、降温時間を長くすることによって溶媒乾燥を促進した。プリバークの温度プロファイルを図1に示す。プリバーク温度を90とし、昇温時間20分、加熱時間20分、降温時間170分、計210分間のプリバーク条件とした。

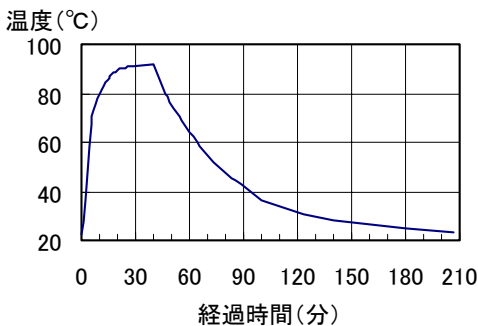


図1 プリバーク温度プロファイル

2.2.4 露光

露光はコンタクト方式で行い、マスクと基板の間にギャップを設けていない。しかし、マスクエッジの回折現象によるパターンの膨らみなどの影響が大きく発生すること

はなかった。

本研究では、露光量(ドーズ量)は300mJ/cm²一定とした。通常のレジストは膜厚変化に対して適性露光量も変化するが、SU-8は露光量の変化にあまり左右されない。これは、SU-8の紫外線透過率が高く、100μm程度の膜厚では紫外線吸収量が大きくないためである。さらに、この性質により、SU-8のパターニング断面プロファイルが垂直に近くなることが知られている。

テストパターンは幅10~500μm、長さ10mmの矩形とした。

2.2.5 PEB(露光後加熱)

標準的な手法であるホットプレート加熱によりPEBを行った。

コーティングの際、基板裏面に少量のレジストが回り込み、基板がホットプレートに張り付いてしまう場合があるため、ホットプレート上にフッ素系樹脂シートを敷く事によって貼り付きを防止した。

加熱時間10分とした場合の温度プロファイルを図2に示す。昇温時間8分、加熱時間10分、降温時間72分、計90分間である。

昇温時間および降温時間を一定として、加熱時間を10、20、40分とした時の仕上がり形状、および透過光プロファイル調べた。

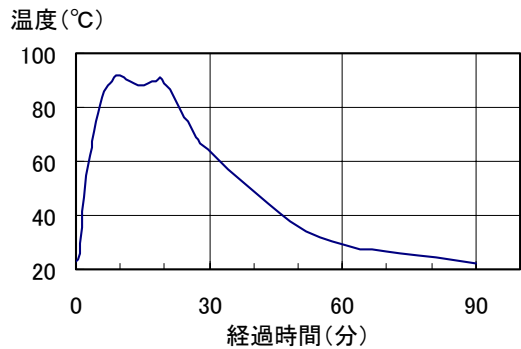


図2 PEB温度プロファイル

2.2.6 現像、リンス

現像液には専用現像液を用いた。主成分は酢酸2-(1-メトキシ)プロピル(CAS: 108-65-6)である。

現像時間はSU-8のコーティング厚さによって変化する。本研究では次のとおりとした。

表2 現像時間 - 塗布回転数

主回転数rpm	1000	2000	3000	4000	5000	6000
現像時間	8分	6分	4分	3分	3分	3分

2.2.7 観察

パターン形成された基板を幅3mmに切り出し、光学顕微鏡を用いて断面観察および寸法計測を行った。観察には落射光と透過光の両方を用いている。

一般的に微細パターン形成用の厚膜レジスト評価には透過光観察は用いられていない。これは、フォトリソの光透過率が小さく、観察に適していないためである。しかしながら、SU-8の可視光透過率は他の厚膜レジストに比べて高く、透過光観察を容易に行うことができた。

3. 結果

3.1 回転数 - 膜厚特性

測定結果を図3に示す。再現性高くコーティングすることができた。

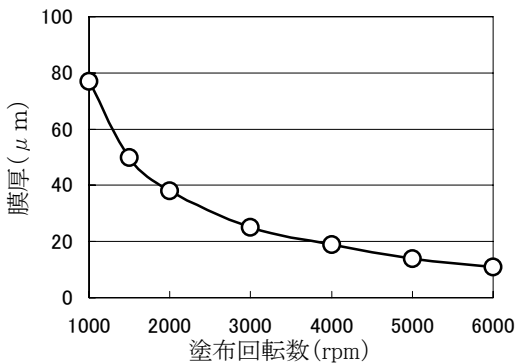


図3 塗布回転数 - 膜厚特性

3.2 透過光断面観察

SU-8の微細パターンの全体は透明であるにもかかわらず、長手方向に導光し、透過光観察を行うとコントラストが生じることを見出した。これは、微細パターンに屈折率差が生じており、一種の光導波路構造を形成しているために起こる現象と考えられる。パターン断面の中央部が明るく、周辺部が暗いことから、中央部が屈折率の高いコアに相当し、周辺部が屈折率の低いクラッドに相当していると思われる。

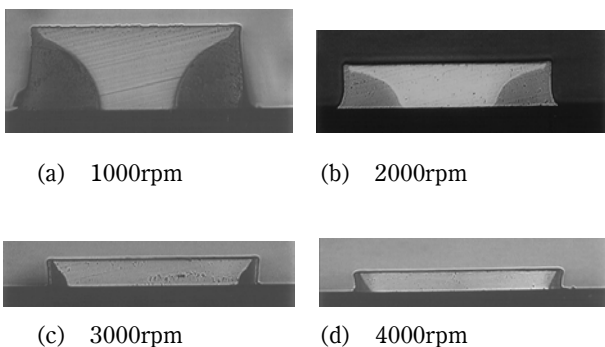


図4 塗布回転数による膜厚およびコントラストの変化

PEB時間が一定の場合には、膜厚が薄いほど光が透過する面積が増加する。PEB加熱時間を10分間一定とし、塗布回転数を1000~4000rpmに変化させた場合の断面透過写真を図4に示す。図4のパターン幅100μmである。

膜厚が一定の場合には、PEB時間が長いほど光が透過する面積が増加することが判った。塗布回転数2000rpm一定とし、PEB加熱時間を10~40分に変化させた場合の断面透過写真を図5に示す。図5のパターン幅は100μmである。

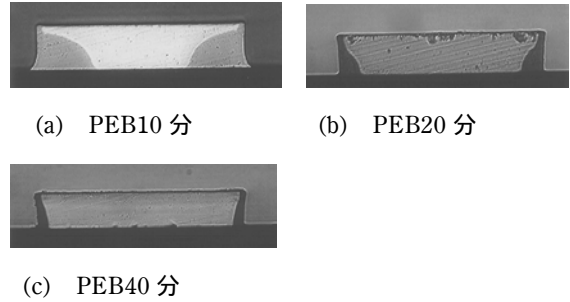


図5 PEB時間によるコントラストの変化

透過光による断面観察において、コントラストが明るい領域が増加するのはSU-8の膜厚が薄い、または、PEB時間が長いことから、SU-8に熱が加わった状態、すなわち、SU-8の硬化状態が断面観察におけるコントラストに影響を与えていると考えられる。

3.3 ドーズ量増加によるSU-8硬化の促進

SU-8の硬化には、PEB工程の加熱以外にドーズ量(露光)量に関係しており、また、透過光断面観察におけるコントラストの明るい領域が広いのはパターン表面側(反基板側)であることから、ドーズ量を4倍にして実験を行った。結果を図6に示す。

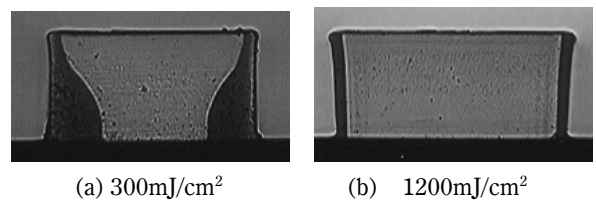


図6 ドーズ量によるコントラストの変化

ドーズ量を4倍にした場合には、コントラストの明るい領域がほぼ全面になるものの、パターン幅も広がってしまった。このパターンの広がり、元のパターン幅(マスク幅)には依存せず、およそ15μm程度であった。ドーズ量の増加によってコントラストが明るい領域は拡大するものの、パターン精度が落ちてしまう。

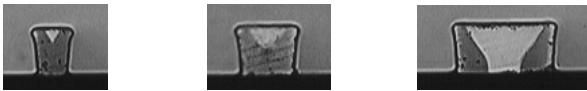
PEB条件、もしくは、ドーズ量のいずれによってもコントラストが変化することから、屈折率差はSU-8の硬化

状態の差によって生じているものと考えられる。SU-8は、その硬化原理から、ドーズ量が大きい、または、PEB時間が長いと硬化が促進される。すなわち、樹脂の硬化が進むことにより屈折率が大きくなっている。

しかしながら、この硬化状態の差は微妙で、パターン外観にはほとんど影響しないため、通常の観察方法では硬化状態の判別が困難である。本研究で用いた透過光観察が工程の評価に適している。

3.3 透過光観察のファインパターンへの適用

SU-8の硬化状態を透過光観察により判別できることを、幅20~50μmのファインパターン形成に適用し、確認した。塗布回転数3000rpm、膜厚25μm、PEB時間40分の条件で形成されるファインパターンの透過光写真を図7に示す。



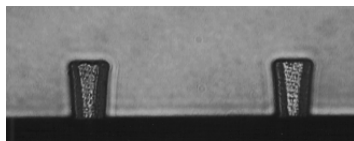
(a) 幅 20 μm (b) 幅 30 μm (c) 幅 50 μm

図7 パターン幅による光透過状態の変化

観察の結果、パターン幅(マスクの開口幅)によらず硬化不足の領域がほぼ同じであった。このことは、パターン幅が狭くなるほど硬化不足を生じやすいことを意味している。

膜厚が25μmを超えるものについては、パターン形成できても基板から剥離してしまっただけでなく、高アスペクト比のファインパターンを形成するためには40分のPEB時間では硬化不足である。そこで、PEB時間を3倍の120分にしてパターン形成を行った。結果を図8に示す。

図8(a)は膜厚が25μm、図8(b)は膜厚が50μmの観察結果で、パターン幅は20μmである。



(a) 膜厚 25 μm, PEB120 分間



(b) 膜厚 50 μm, PEB120 分間

図8 高アスペクト比ファインパターン

PEB時間を増加することによって透過光画像のコントラストが大きく変化し、さらには、短時間のPEBでは基板上から完全に離脱してしまう微細なパターンも維持で

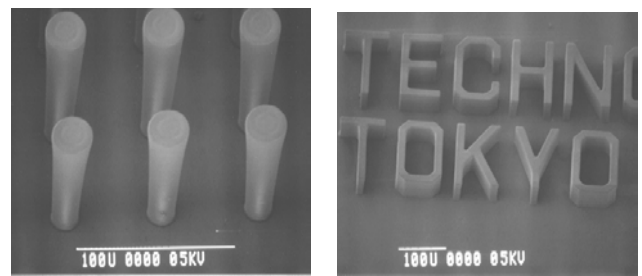
きた。PEB時間を増すことによって硬化が促進され、この結果、微細構造の密着性や強度向上につながることを確認できた。

UV-LIGAでマイクロ部品を作製することを想定して、さらに複雑で高アスペクト比の微細構造形成を試みた。高アスペクト比を得るためにSU-8を2回塗りして試作を行った。試作結果を図9に示す。

図9(a)は直径15μmの円柱で、高さは約100μm、アスペクト比に換算するとおよそ7である。

図9(b)はアルファベット文字をパターン形成した例で、文字の構成要素である板(壁)の幅は20μmである。

透過光観察を行うことにより、工程の最適化を短時間に行うことができた。



(a) 15 μmの円柱

(b) 立体文字

図9 パターン試作のSEM像

4. まとめ

加速度センサや半導体検査プローブを作製するために必要となる高アスペクト比リソグラフィについて研究を行った。紫外線硬化型厚膜フォトリソグランドであるSU-8を用いることにより、パターン断面が垂直でアスペクト比の高い微細構造を形成することを試みた。

SU-8で形成した微細パターンの硬化状態を外観から判別するのは困難であったが、透過光観察を用いることによって硬化判別を行えることを見出した。微細パターンには、その硬化状態により屈折率の異なる2つの領域が形成されており、これらは露光およびPEB条件によって大きく変化することが判った。

透過光観察を行うことにより、SU-8の硬化状態を判定し、工程の適正化を短時間で行うことが可能となった。

参考文献

- 1) N. LaBianca, J. D. Gelorme, Proc SPIE Vol. 2438, 846-852(1995).
- 2) M. Despont, H. Lorenz, N. Fahrni, J. Brugger, P. Renaud and P. Vettiger: MEMS'97, 6412.

(原稿受付 平成14年8月1日)