

(様式第4号)

BL09 による LIGA プロセス微細構造の形成

市野沢義行 山梨隆史 齋田克明 絹田精鎮

株式会社オプトニクス精密

1. 概要

当社オプトニクス精密が新たに開発した新規 X 線マスク（特許登録済み）は、X 線の吸収体材料として Au、メンブレン材料としてポリイミドの有機膜を利用したものである。この X 線マスクは、1)パターンが非常に精確、2)熱的安定性に優れる、3)非常に安価、という優れた特徴を有し、X 線リソグラフィーを工業的に幅広く利用できるように開発したものである。このマスクを利用し、国内のシンクロtron施設である立命館大学、兵庫県立大学における適用性の検証を実施し、良好なパターンを得ることができている。そこで本稿では、新たに九州シンクロtron光研究センターの光を利用し、この新規 X 線マスクの適用性を検証し、実用化を図ったものである。

2. 背景と研究目的

ディープ X 線リソグラフィーは、シンクロtron放射光のリングから高輝度、高透過性で指向性の非常に高い X 線の特徴を有効的に用い、高精度、高アスペクト比を有する構造体を形成する手法として極めて有力なものである。そして、このディープ X 線リソグラフィーは、リソグラフィーに用いる X 線マスクと等倍リソグラフィーの手法であることから、X 線マスクに求められる技術要素は、非常に高度なものへと要求も高まってきている。また、この X 線リソグラフィーを利用した LIGA プロセスは、世界中の数多くの研究機関、企業で研究され、多くの報告がある。しかしながらこのプロセスは、研究レベルから飛躍的に脱却することなく、工業的な技術として普及していないのが現状である。これは、前述の X 線リソグラフィーに必要なシンクロtron放射光が限られた場所にしかないこと、また、X 線マスクが高価であることなどから、この X 線リソグラフィーの工業的な普及を妨げていると考えている。

そこで、本稿では、安価で高精度の X 線マスクを提供することを目的とし、従来にない X 線マスクの開発をした。この X 線マスクについては国内の立命館大学、兵庫県立大学が保有する SR 光施設における適用性検証は実施し、良好な結果が得られている。本報では、国内の有力な SR 施設である九州シンクロtron光研究センターにおける BL09A を利用し、当社製 X 線マスクの適用性の検証を実施した。

3. 実験内容

当社製 X 線マスクを利用し、厚さ 300 μm の PMMA 基板に露光(照射)することで微細構造体を形成した。Fig.1に今回使用した X 線マスクを示した。構成は以下のとおりである。

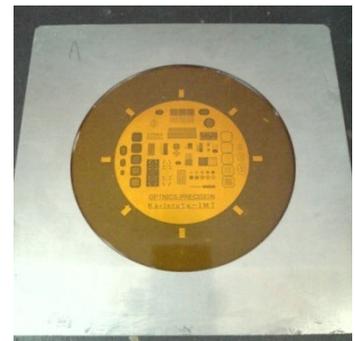


Fig.1 X 線マスク外観

- 1) パターン有効エリア：2インチ
- 2) X線吸収体材料：Au (3 μm 厚さ)
- 3) メンブレン材料：ポリイミド45 μm
- 4) マスクフレーム：SUS材 (1mm厚さ)

なお、今回使用したパターンは、最小ライン幅 5 μm とする解像度テストパターンを利用した。

露光条件については、九州シンクロtron光研究センターにおける X 線リソグラフィーの知見とご指導をいただきながら、DOSE量を 330mAh~600mAhとし、4条件（うち2条件は再現性確認のため同条件）での実験を試みた。詳細の露光条件をTable1に示した。

照射後は、直ちに GG 現像液を利用し現像を実施し、得られたパターンの加工深さを確認するとともに、金属顕微鏡および SEM による観察を実施した。

Table 1 X線照射条件

条件	DOSE量	ステージ速度
1	500mAh	2mm/sec
2	330mAh	
3	500mAh	
4	600mAh	

4. 結果、および、考察

4.1 最適現像条件

4 条件の露光を実施した後、GG 現像液にて現像を実施した。現像は、照射条件 1 の試料を利用し、慎重に現像を進め、現像が完了した時点の時間を基に、他の 3 条件の試料についても一定の条件で実施した。

今回模索して得られた最適な現像条件およびその後の処理は以下の通りであった。

- 1) 現像液温度：37°C一定
- 2) 揺動条件：スターラー攪拌による
- 3) 現像時間：2 時間
- 4) 現像後処理：DI 水で 1 時間揺動リンス
- 5) 乾燥：ホットプレート乾燥

4.2 加工深さ

今回の各条件で照射して得られ PMMA パターンの加工深さを顕微鏡の視差を利用して計測した。結果を Table2 に示し、グラフにプロットしたものを Fig.2 に示した。グラフからも分かるように DOSE 量と加工深さには相関関係が得られたことと同時に、X 線マスクで Au で遮断した未露光部の PMMA 表面にも X 線によるダメージが見られなかったことから、Au の厚さ 3 μ m についても今回の露光条件において十分なコントラストが得られていたものであると考えられた。

Table2 照射条件と加工深さの関係

照射条件 (DOSE 量)	加工深さ
1 500mAh	210 μ m
2 330mAh	110 μ m
3 500mAh	210 μ m
4 600mAh	290 μ m

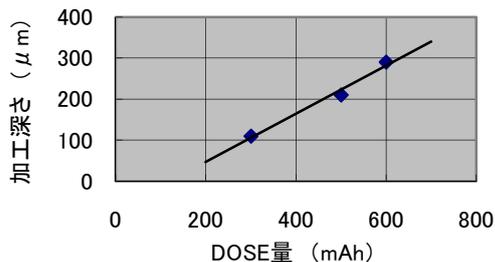


Fig.2 DOSE 量と加工深さの関係

4.3 パターン

4 条件のそれぞれで得られた PMMA のパターンを観察したところ、どの DOSE 量においても良好なパターン形状を得ることができた。4 条件の代表として最も加工深さが深く、アスペクト比が大きく得られた DOSE 量 600mAh で露光して得られた PMMA のパターンについて SEM 観察した写真を Fig.3 に示す。なお、写真は使用した X 線マスクとのパターンを対比して示したものである。

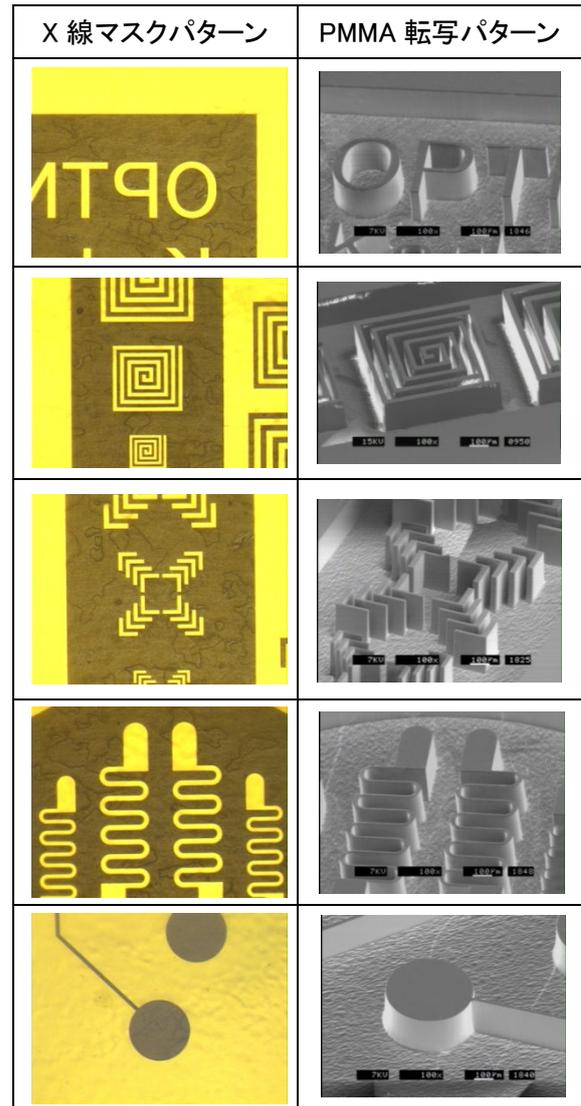


Fig.3 X 線マスクの詳細パターンと、DOSE 量 600mAh で得られた PMMA のパターンプロファイル

5. 今後の課題

当社製の新規 X 線マスクを用い、BL09A における露光実験を実施したところ、他 SR 施設と特に変わることなく良好なパターンプロファイルを得ることが可能であった。しかしながら、以下 3 点について課題と捉えた。

1) マスクと露光基板のセッティング

今回の露光実験において、X線マスクと露光基板（PMMA 基板）の駆動ステージへのセッティング不具合（Fig.4 参照）により、微細な領域でのパターン歪が発生



（Fig.5 参照）して Fig.4 X線マスクのセット外観
おり、精度の良い
等倍露光ができなかった。この不具合の原因はセッティングの治具に依存し、容易にかつ精度良くセッティングが可能な治具の改良が必要である。

X線マスクパターン	PMMA 転写パターン

Fig.5 セッティング不具合を起こした際の
パターンプロフィール

2) 照射エリア

今回の照射はビーム幅 50mm に制限された。将来的にはX線リソグラフィーを工業的な利用するためには照射エリアの拡大が必要である。

3) 露光時間

今回 50mm²のエリアを 200 μ m の深さで加工するために、約 2 時間を要している。将来的な工業化に適用するためにはスループットの短縮化は必須である。今回のレジストは PMMA のポジ型を利用したことから、X線光に感度が高いネガレジストを適用し、短時間での露光の検証と共に実用化を図る必要がある。

6. 論文発表状況・特許状況

特になし

7. 参考文献

8. キーワード

・LIGA プロセス

LIGA プロセスは、X線リソグラフィーと電鋳および成型を組み合わせ、アスペクト比(加工幅に対する深さ(高さ)の比)の大きな形状を作る製法で、1980年代にドイツ・カールスルーエ原子核研究所で開発された技術である。