

L I G Aプロセスの最前線と産業展開

株式会社オプトニクス精密
代表取締役 絹田精鎮
代市敬之

はじめに

LIGAに代表されるX線リソグラフィーは、工業生産性を考えた場合に適正か否かの議論がある一方で、特殊用途を中心に根強い需要がある。従来のLIGAにおける課題は、1. 限られた露光面積、2. 大型X線マスクの欠如、3. 微細成形技術が未成熟、4. 電鍍技術の材料の制限、5. 成形材料を導体化するためのスキルとコスト、6. 他の競合技術とのコラボレート、などが挙げられるが、これ等の諸問題を一つずつ解決することにより、優れた生産プロセスとして再認知されるはずである。以下X線リソグラフィーの問題点について述べその解決に努力している現状を述べ新たな展望を概観したい。

1. X線リソグラフィー

X線リソグラフィーの要はX線マスクと電鍍技術であると言える。これらを自在にコントロールすることが出来れば、多彩な3次元形状や機能を生み出すことができる。これが可能になれば様々な分野に応用が可能となる。ライバル技術としてDeep RIEが注目を浴びており進化を続けているが、それぞれにメリット、デメリットがありX線リソグラフィーの完全な代替技術とすることは難しい。例えばアスペクトの高い側面形状の表面粗さや側面のテーパ角度の制御などではX線リソのほうが数段優れている。一方、Deep RIEは装置は高価であるが入手さえすれば手軽に自社内で処理ができ納期的にも有利である。しかし、X線リソグラフィーとDeep RIEを組み合わせることで、また新たな応用が生み出される可能性は十分にあり、期待される。

2. X線マスクの従来の問題点と現状

一般に、X線マスクは以下の課題をかかえている、

- 1、X線露光用フォトマスクは高価である。
- 2、パターンエリアが狭い。
- 3、大面積マスクが実現すると熱膨張による位置ずれの制御が必要。
- 4、同様に、大型マスクにおいてもサブミクロンの微細形状の実現も困難。

などであるこれでは手軽に使用できないので普及は難しい。そこで弊社では、メンブレン材料をポリイミドとして安価なマスクを製作した。(Fig. 1) (1) また、大面積が可能という特徴も有している。しかしながら、当初このマスクは熱安定性・パターンのシャープさ・微細パターンへの対応が問題点としてあげられており、熱膨張の問題により大面積の場合の位置コントロールやパターン形状に問題が

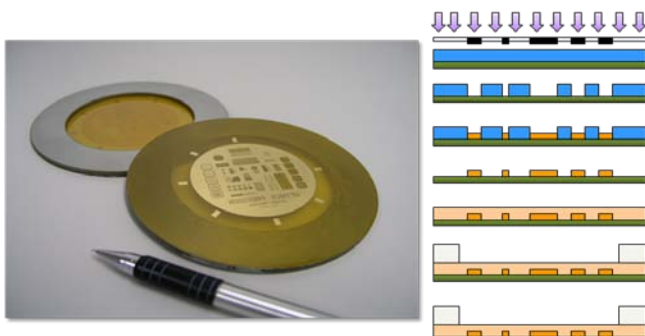


Fig. 1 オプトニクス製X線マスク

あるとされた。例えばFig. 2-aはX線マスクのパターンであるが、露光中に熱がかかり熱膨張によって位置がずれてしまうと、パターンはFig. 2-bのように伸びた方向に形状が変化してしまう問題があった (2)。

上記の欠点を改善するため、現在では弊社では独自の技術によりメンブレンの熱膨張率をコントロールすることに成功。従来のSiC、SiN、などのメンブレンを用いたマスクと同程度の低熱膨張係数を実現した

(3)。この新型マスクを使うことで、露光パターン形状は変形せず再現性のよい結果が得られた。(Fig. 2-c)、メンブレンの熱膨張係数を制御することが可能になったため大面積においてもパターンの位置ずれを大幅に小さくすることが可能となり A4 サイズの X 線マスク製作も実現し、それ以上の大きさの X 線マスクにも挑戦している。また、微細なパターンの場合には、UV リソグラフィーだけではなく、EB 描画による直描パターン形成が可能である。これでパターンのサブミクロンの微細さ・シャープさの問題点を解決している。

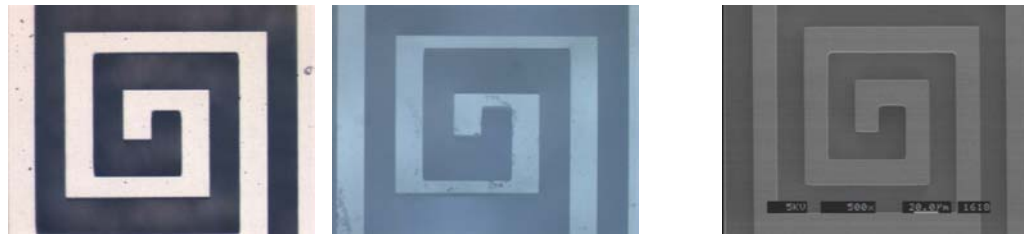


Fig. 2 a. 従来の X 線マスク b. 形状変化後 c. 新型マスク

3. 電鍍技術の問題点と現状

電鍍技術の問題点としては、電鍍出来る素材に限られており、現状では Ni、Ni/Co 合金、Cu など限定的である。つまり精度の良い金型や製品はできるが物性の選択範囲が狭いのが現状である。

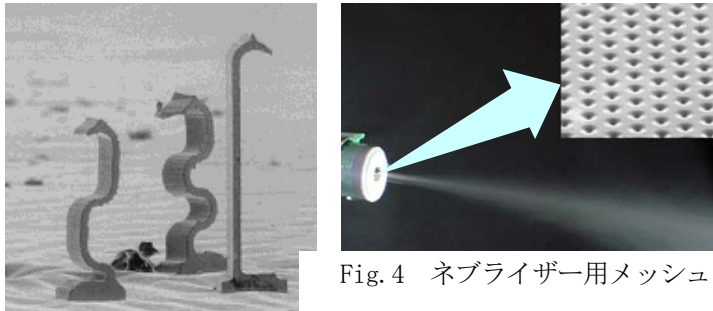


Fig. 4 ネブライザー用メッシュ

一方、インクジェット関係のノズルに関して言えばどのようなインクを使っても腐食しない電鍍ノズル、人体にアレルギーを起こさない医療用電鍍部品、などは電鍍素材の化学的安定性の要求であり、検査用プローブにおいては弾性係数と疲労強度が高く、電気伝導度、耐摩耗性など物理的、機械的機能の優れた電鍍素材を要求している。一般的

にこのような多様な機能や性能の要求には電鍍素材は応えられていない。この問題の解決策として、弊社では電鍍できる素材の種類を増やすこと、すなわち物性要求に対し電鍍技術は素材が重要であると位置付け、種々の合金の開発を行い、要求される物性に応じた電鍍製品を提供可能としている(4)。例えば、プローブピン (Fig. 3) などの場合には高弾性などの物性が要求されるが、新規開発の材料 (OPT-SUPER) を用いることで従来の Ni や Ni/Co の物性を凌駕した高弾性プローブ (機械的特性: Fig. 5, 6) を提供している。その他、医療分野においてはネブライザー用メッシュ (Fig. 4) などに生体になし活性な材料を開発し用いることで、高精度かつ安全性の高い製品として評価を得ている。

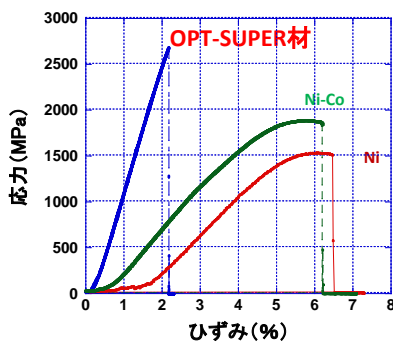


Fig. 5 各材料の応力-ひずみ曲線データ

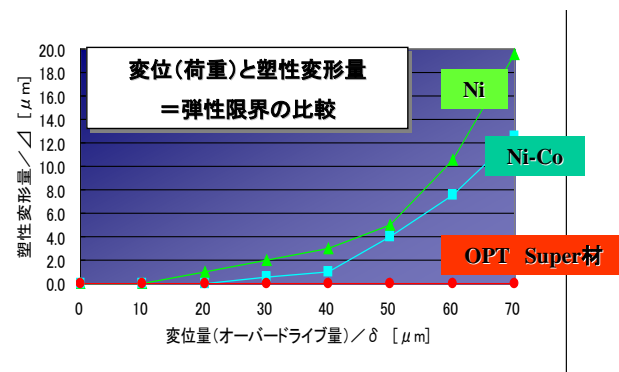


Fig. 6 各材料の弾性限界の比較

4. ニュースパル (BL-2) における露光実験結

果

今回、製作した弊社 X 線マスクを用いてニュースバルの波長可変型大面積露光ビームライン BL2 にて露光実験を行った。形成した構造物 (Fig. 7) は側壁も非常にシャープに出来ており、先端の微細部分も問題なく解像できている。また、Fig. 8 のパターンでは、テーパ形状が高精度に形成できており、その側壁面の滑らかさは他のプロセスに比べ非常に優れている。このような特徴を生か

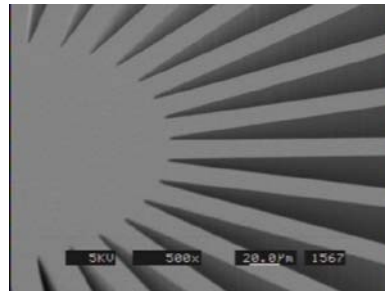
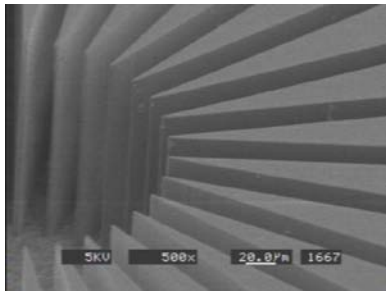


Fig. 7 微細な先端を有するストレート構造 (露光パターン)

し、弊社では X 線リソグラフィー技術と電鍍技術の素材開発を組み合わせ、様々なアプリケーションの開発を進めている。例えば、従来より手がけている蒸着マスク (メタルマスク) を進化させ、ターゲット側が開くようなテーパをつけた断面形状のものを開発した。(Fig. 9) これにより

膜厚の厚い蒸着マスクにおいても蒸着角度からくるシャドウの影響を著しく低減し、またエッチングの欠点であるコーナー部の R 形状が皆無のシャープな形状になり高解像度のパターンが得られて

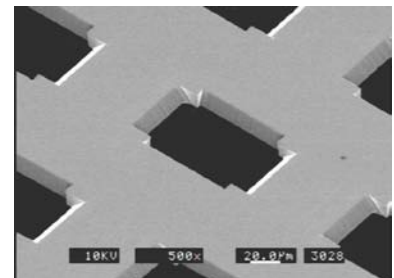
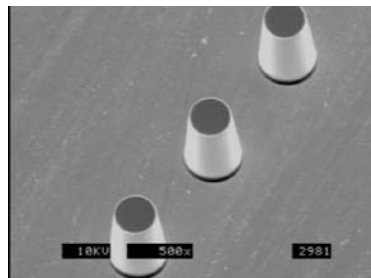
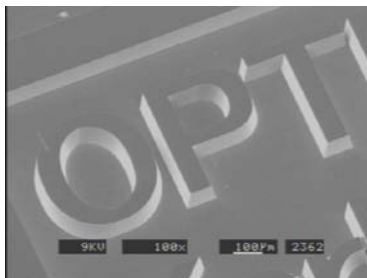


Fig. 8 得られたテーパ形状パターン

Fig. 9 テーパ断面メタルマスク

いる。

5. LIGA に対するデータの収集と工業生産性の実現

LIGA で工業生産性を求められる場合、X 線リソグラフィーで形成された形状を、金型化する必要がある。その後、金型をもとに樹脂材料にパターンを転写していくことでローコスト生産が可能となる。ここで重要なのは、コンプレッションやインジェクション樹脂成型などによる超微細成型技術の条件出しはもちろんのこと、導体化処理などの要素技術が複雑に絡み合うことによって新しい機能を持った製品が生まれるということである。様々な要素技術の集結によって、X 線リソグラフィーはより多彩に発展していくと考えられる。そのためにも試行錯誤のデータ収集と分析が重要である。

おわりに (将来の X 線リソグラフィー)

現在、コストや生産性の点で課題が残る X 線リソグラフィーであるが、微細パターンで大面積化し、金型を用いて高度な成型技術によって製品を作り出すことにより、状況は一変する。超微細製品を低コストで大量生産することは確実に可能である。さらには自在にテーパをコントロールし平滑な側壁面に機能を持たせることで、X 線リソグラフィーは従来に無い金型や部品製作に特徴をアピールでき、さらに新しい分野、例えばバイオ、医療デバイス、微細回路の電子デバイス等のアプリケーションを生み出すはずである。いち早く現在の問題点を解決し、ハイスpekクの量産に期待したい。オプトニクス精密においては今後も LIGA プロセスを使った開発により注力していく所存である。

(参考文献)

- (1) 特許第 3638440 号、特許第 4402568 号、特許第 4402730 号
- (2) Structure quality in deep X-ray lithography applying commercial polyimide-based masks. [Microsystem Technologies, 13, (2007), 349-353] Sven Achenbach, Martin Boerner, Seichin Kinuta, Walter Bacher, Juergen Mohr, Volker Saile and Yasunori Saotome
- (3) Polyimide-based X-ray masks with superior performance of pattern accuracy and thermal stability [HARMST2009] Seichin Kinuta
- (4) 特願 2007-260224 号、特開 2009-216413 号、特願 2009-244758 号