ナノフォーミング —超微細転写技術による電鋳・金型形成技術—

小林 道 雄*

*(株)ヒキフネ (〒124-0014 東京都葛飾区東四ツ木 2-4-12)

Nano-forming—Electroforming and Die Forming Using Ultrafine Transfer Printing

Michio KOBAYASHI*

*Hikifune Co., Ltd. (2-4-12, Higashi-Yotsugi, Katsushika-ku, Tokyo 124-0014)

Key Words : Nano-forming, Electroforming, Nanoscale, Nanotechnology, Lithography, Die

1. はじめに

通常の生活のなかで、「ナノの世界」を覗くことが出来るのはごく限られた専門の技術者や研究者であり、普通の人達にはあまりないと思われる。しかし、写真集などで「マイクロやナノの世界」を見ると、いつも見ていたものが、全く異なる姿—超微細で精緻な構造—を表していることに驚く。このように走査電子顕微鏡だけでなく、原子間力顕微鏡(AFM)などを用いて、より微小の世界を垣間見ることができるようになってきた。「ものづくりの世界」では、たとえば、自動車の制御部品やデジタル家電などを中心に電子基板をはじめ各種半導体部品などは、より軽く、高精度・高密度化を追及する結果、それら構造物の寸法はミクロン、サブミクロン、そしてナノの領域に入ってきている。数10nmの線幅や膜厚などもサブミクロンからナノメートルでの制御が行われ、また要求されている。

先日、携帯電話を購入した際、従来手元にあったものに比べて表示面積が大きく、かつ明るく鮮明な画像には驚かされた。液晶画面を構成する基盤技術のめざましい技術改良によるものである。画像の輝度を高めるには光源を明るくすれば良いと考えるが、消費電力を考えるとそれほど電力を割けることができない。エネルギーロスを無くし、効率良く画面に反映させるかが課題となる。高輝度を実現するためには、図1に示すプリズムシート、拡散シートならびに導光板などの光が通る素材表面の微細形状が重要な役割を持っている。この微細形状の形成・加工に、電鋳技術が使われている。携帯電話の液晶関連部品だけでなく、デジタルカメラ、DVDレコーダー、プラズマテレビ、液晶テレビなどに代表されるデジタル家電においても、さまざまな製造工程で部品や治工具に電鋳技術が用いられている。

本稿では、数10nmの凹凸も寸分変わらず転写することが可能な電鋳技術の、新しい応用について紹介する。

2. 電 鋳

電鋳は、電気めっきを厚く析出させ、母型よりはく離して正確な複製品を作ったり、素材上に厚くめっきしたロール、スクリーンなどで用いられている。このように、通常の表面処理の目的とは異なったものである。電鋳は、Moritz Hermann von Jacobi が1838年に母型から同形状のものを銅めっきし得たことに始まる。電鋳は字のごとく「電気鋳造」を意味する。通常の機械加工や切削技術では製作ができない製品や寸法精度の高い部品の製造に用いられている。その特徴は、高精度の転写性である。皆さんが毎日使っている電動かみそりの外歯(金属の薄い網)、CDやMDの成型用金型は

図1 バックライトユニットの構成部品のモデル図(偏光板、導光板、拡散板など光を明るく通す工夫がされている)

※ SONY ホームページより

Niで作られている。図2に、一般的なNi電鍍金型の一例を示す。めっき技術を用いて数ミリの厚みを施した上で、被めっき物(原形・マスター)から剥がすことで得られる(図3)。

3. 電鍍の応用

従来から電鍍技術により、印刷版、血液ろ過フィルター、電気カミソリの外刃、各種光学系のスリット、複写機用メッシュなど精密度な部品が製造されている。さらにはインクジェット用ノズルやFDP(フラットパネルディスプレイ)の導光板、高機能フィルムならびに誘導灯や回折格子、マイクロレンズなどの光学素子などにも電鍍技術が用いられている。最近では、種々の製造加工技術を融合させて光スイッチやアクチュエーターなどマイクロマシンの稼働部品の開発が進められている。

3. 1 インクジェットノズル

インクジェットプリンターのヘッド先端には直径20~30 μm の真円の穴が加工されている。この穴を通じて印刷イン

クが飛び出し印刷される。このヘッドノズルプレートは電鍍にて加工される。ノズルプレートは単純に微細な穴が開いているのではなく、裏表の形状が異なっている。このような形

図3 Ni電鍍が完成するまでの流れ

図2 従来からの一般的なNi電鍍金型の一例

図4 Niスタンパー電鍍装置にて作製したノズル
※九州日立マクセル ホームページより

状は電鍍技術とリソグラフィーの組み合わせによって実現される。インク滴を紙面に正確に打ち込むにはノズルからまっすぐに吐出する必要がある。このとき正確に打ち込むには 1° の曲がりしか許容されていない。穴周辺に不均一な濡れが生ずるとインクが表面張力によって引っ張られるため曲がりが生ずる。そのためにノズル表面に撥インク性のめっきを施すことで安定した正確な印刷を得ることができる(図4)。

3. 2 導光板の転写技術

液晶ディスプレイ(LCD)では、裏側にある蛍光管の光をムラ無く明るく照らし出すのに偏光板、ガラス基板、拡散板、反射板そして導光板など各種の板が積み重なっている。その中で導光板はアクリル板やPET樹脂などに微細なパターンを形成している。この導光板がNi電鍍によって作られる。アクリル樹脂をミクロン、サブミクロンオーダーで微細加工し電鍍によって表面形状を反転転写する(図5)。

3. 3 最近の動向

最近はシリコンウエハからの電鍍転写が多くなっているが、 SiO_2 や SiO_2 + 各種スパッタ皮膜が施された状態で持ち込まれるケースもある。また、レジストにおいてもSU8(エポキシ系レジスト)のような強固なレジスト皮膜により凹凸が形成されたものも用いられる。

精度も250nmまでの超微細パターン(図6)ならびに針状や山状の表面の転写電鍍が求められている。CDスタンパー装置による $300\mu\text{m}$ の電鍍箔では、離型面のゆがみや耐久性に問題があることがある。より耐久性を増すには電鍍の厚みを5mmもしくは10mmといった非常に厚い電鍍金型にまで引き上げる必要がある。電流密度を短時間で変化させて応力を緩和することも考えられる。パルス電解により析出の結晶を変化させて応力をゼロの方向に持って行くことも検討されている(図7)。

図5 アクリル導光板より転写したNi電鍍製品

図6 シリコンウエハパターンの形成方法の一例

3. 3. 1 応力・歪み

従来の電鍍金型と呼ばれる部類は、析出電鍍に応力が残り表面に歪みが発生していたとしても、形状が立体的で比較的表面には現れなかった。そのためスパイラルコントラクター応力測定装置などで処理液自体の応力を管理することで比較的安定した電鍍を作製することができた。これに対し最近では、素材がシリコンウエハやガラスなど極端に平面度が高い材質を用いることになっている。

最終的に分かってきたことは、いかに均一な電流密度で均一な電鍍をマスターに施すかと言うことに終始する。母型マスターから離型された電鍍そのものが「暴れる」ということが知られている。たとえば、離型直後電鍍転写面のゆがみを測定した際、圧縮側に数 μm のオーダーでゆがみが発生し

ていたとする。恒温恒湿槽に一昼夜放置後の測定では、逆に引っ張り側にゆがみが移動していることがある。離型の際に電鍍離型面に外的力が加わって一方向にゆがんだ面が、時間経過とともに変動することがある。

3. 3. 2 問題点

電鍍製品の金型キャビティーとして用いる場合の問題点は次のとおりである。

- 1) 壁面の脱落：抜き角度の出せないシリコンウエハ表面では、離型時のシリコンの破壊による残渣が大きな問題となる。場合によっては、シリコンマスターの溶解を行う。さらにレジストを用いたリソグラフィーにおいても、離型の際にレジストの残渣が多く見られることがある(図8)。
- 2) Ni電鍍中の浴温度によるマスターと電鍍転写面のず

図7 微細な凹凸パターンのNi転写電鍍(10mm厚)

図8 フォトリソグラフィーにより作製したマスターからのNi転写電鍍

れ：特に微小面でのズレ

- 3) 離型した電鍍キャビティーを金型にはめ込むためには、精寸加工をする。ここでの加工方法や条件によっては離型面にゆがみが生ずる。
- 4) 成形樹脂の性能を高めることでの問題点は、成形時に発生する樹脂からのアウトガスによって金型表面に焼き付きなどの劣化が生じることにある。この点はドライプロセスによる蒸着やスパッタリング技法から無電解Niめっきに移行することで解決できるというほど簡単ではない(図9)。
- 5) 量産品でないため、現物ひとつに対し、導電性付与の方法ならびに電鍍電解条件を設定する必要がある。

4. 今後の展開

より微細な形状が求められるが、電鍍技術とフォトリソグラフィ技術の融合ならびにその他ナノテクノロジーから創設される技術を用いた超微細形成技術がブレークスルーに繋がると考える。また、ナノプリント技術による超微細パターンの成型方法と電鍍転写技術との関わりも見逃せない応用技術である(図10~11)。

今後の市場からの要求は、大型化である。シリコンウエハ

をマスターに使っている限り12インチ以上の高精度の大面积電鍍は得られない。アルミニウムの陽極酸化による均一なポーラスな表面や金属表面の微細なエッチングによる凹凸面を用いた表面デザインは、新しい機能性表面を作り出すことが可能である。これらの技法を応用することで超微細な形状を大面积で作り出すことができる。アルミニウムの陽極酸化皮膜に生成する微細な凹の表面にNi電鍍を施して離型した表面を示す。この写真では形状が崩れているが、撥水性もしくは親水性の微細な凹凸表面が得られる(図12)。

5. おわりに

電鍍技術とその前後の工程である母型マスターの制作(金属やアクリルの微細加工、シリコンウエハなどのリソグラフィによる微細加工)ならびに金型技術、さらに成形技術といったさまざまな、生産技術の向上がより精度の高い製品を作り上げることが可能となる。特にナノレベルの電鍍金型を制作するに当たって、マスターの精度は大きな要因である。種々の加工方法が研究されているが、次工程の電鍍加工を考慮してのマスター制作には至っていない。技術領域が異なる分野での交流は、最終製品のでき不できに拘わる重要な点で

図9 光学素子の成型用Ni電鍍による転写パターン

図11 インプリントによる樹脂レプリカからのNi電鍍

図10 シリコン原板からのNi転写電鍍

親水性 or 撥水性 ?

アルミ陽極酸化皮膜は、均一で微細な孔が表面に形成される。

・今回はアルミ陽極酸化皮膜にて干渉色が出ているものをNi転写電鍍したものである。

・この干渉膜を転写することでグラデーションの転写が可能となる。

図 12 機能性表面の形成
アルミ陽極酸化表面からの Ni 転写電鍍

ある。

めっきや電鍍によるもの作りは製造における基幹産業であり、この業界の発展無くしてハイテク産業はなり得ないと考ええる。

なお、本分野についての参考文献を下記に示すので、参考にされたい。

(2005-10-19 受理)

文 献

- 1) 伊勢秀夫；電鍍技術と応用, p. 341 (1996)
- 2) 安部保之；実務表面技術, 35, 423 (1988)

- 3) Guide to Nickel Electroforming, インコ・リミテッド
- 4) R. T. Howe, R. S. Mulle, K. J. Gabriel, S. N. Trimmer : Silicon micromechanics : Sensors and actuators on a chip, IEEE, Spectrum, pp. 29-35, July 1990
- 5) 吉田裕道；東京都立工業技術センター, 2, p. 1 (1998)
- 6) 碓井 稔；ファインケミカル, 24, No. 6 (1995)
- 7) 九州日立マクセル；「エレクトロ・ファイン・フォーミング」カタログ, 9, 1999
- 8) 機能めっき皮膜の物性；電気めっき研究会編
- 9) http://www.vaio.sony.co.jp/Products/Inside/Lcd/index_01_body.html