

# 表面技術

HYOMEN GIJUTSU

2001  
VOL.52  
No.11

HYGIEX 52(11)725-799(2001)

小特集 ニッケル電鍍とその応用



社団法人 表面技術協会  
The Surface Finishing Society of Japan

小特集/ニッケル電鍍とその応用

## 光ディスク原盤の高速電鍍

山原利行\*

\*アクセスエンジニアリング(株) (〒204-0021 東京都清瀬市元町1-3-42)

## High Speed Electroforming of Optical Disk Stamper

Toshiyuki YAMAHARA\*

\*Access Engineering Co., Ltd. (1-3-42, Motomati, Kiyose-shi, Tokyo 204-0021)

Key Words: Electroforming, Optical Disk, Stamper

昭和化学株式会社

## 1. はじめに

レコード製作における電鍍技術を応用し、光ディスク用の電鍍装置が開発されて、早18年余りが経過する。レコード製作において培われてきた電鍍技術は、光ディスクの時代に入りある程度の成熟期を迎えたと思われる。

レコード原盤の製作では、初期で電鍍時間が24時間かかっていた。デジタル記録である光ディスク原盤では、スルファミン酸ニッケル浴と電鍍装置の改良によって、電鍍時間の短縮が図られてきたが、ディスクの高密度化や前工程での高速化、光ディスクの低価格化が進む中、今までの電鍍技術では不十分なものとなってきた。特に、問題視されているのは電鍍時間の更なる短縮である。本稿では、光ディスク用スタンパーの高速電鍍装置の開発過程を現場での事象を中心に解説する。

## 2. なぜ電鍍の高速化が進まなかったのか

電鍍の高速化は、光ディスク用スタンパーに必要とされる物性(平滑性、厚み精度、応力、硬度など)に大きな影響を与えてしまう。そのため、従来の光ディスク電鍍装置(図1)と表1に示すスルファミン酸ニッケル浴の組成および作業条件では、電鍍の高

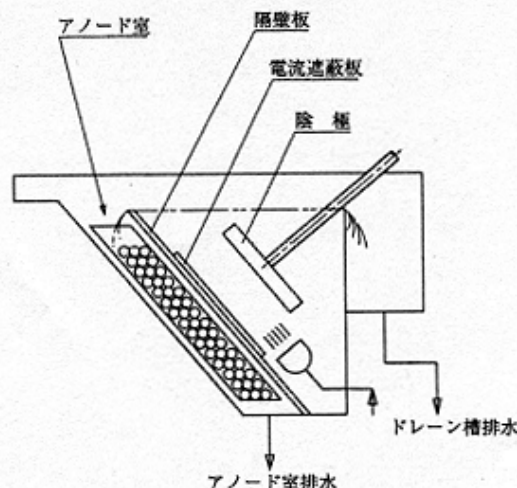


図1 従来の光ディスク電鍍装置の槽構造

速化と必要とされる物性とを満たすことに限界があった。

一方、スルファミン酸ニッケル浴において、最大電流密度が90 A/dm<sup>2</sup>まで可能と言う説<sup>1)</sup>があるが、これはただ単にニッケルが析出できると言うだけで、光ディスク製造に必要な物理的特性を考慮すると不可能な領域だと思われる。現実到现在まで使用されてきた電流密度は、17 A/dm<sup>2</sup>~20 A/dm<sup>2</sup>(電鍍時間に換算すると約90分程度の電鍍時間となる。)位が限度であり、海外などでは25 A/dm<sup>2</sup>位(電鍍時間に換算すると約70分程度の電鍍時間となる。)かけて電鍍しているが、この電流密度から製作されたスタンパーは裏面が粗雑で、かなりの応力を持ったものとなっている。高電流密度(この場合20 A/dm<sup>2</sup>以上の電流密度を言う)をかけたスタンパーに見られる現象は、①裏面の粗雑化、②応力の増大、③硬度の低下である。

光ディスク用スタンパーに望まれる物理的特性はおおむね決まっているので、それらを考慮した上で高速化を計らなければならない。

## 3. 高速電鍍装置の開発コンセプト

まず電鍍装置を開発するに当たっては、次の事柄を考慮して開発に着手した。

- 1) めっき液組成の単純化
- 2) めっき液の少量化(装置の小型化)
- 3) 電鍍の高速化(電鍍時間は60分以下であること)
- 4) 高速電鍍におけるスタンパーの物理的特性の改善

## 3.1 めっき液組成の単純化

電鍍作業を続けていく中で、維持管理が難しいのは浴管理である。通常、表2に示すように、スルファミン酸ニッケルめっき液

表1 スルファミン酸ニッケル浴の組成および作業条件

スルファミン酸ニッケル	350~400 g/L
塩化ニッケル	5~10 g/L
ホウ酸	30 g/L
ラウリ硫酸ナトリウム	0.3~0.5 g/L
温度	45~50°C
pH	4.0
電流密度	30 A/dm <sup>2</sup>

昭和化学株式会社

表2 一般的なスルファミン酸ニッケル浴の標準濃度と許容濃度

◎ 昭和化学株式会社		
配 合	標準濃度 g/L	許容濃度 g/L
スルファミン酸ニッケル	350	250~450
塩化ニッケル	5	10
ホウ酸	30	30~40
ラウリル硫酸ナトリウム	0.3~0.5	

表3 単純化したスルファミン酸ニッケル浴の最適濃度

配 合	標準濃度 g/L
スルファミン酸ニッケル	600
塩化ニッケル	添加なし
ホウ酸	40~過飽和
ラウリル硫酸ナトリウム	0.15~0.3

を主体に、アノードの不動態化を防ぎ、アノードの溶解を維持するために塩化ニッケルを5~10g/L程度添加してきた。そしてpHの緩衝剤としてホウ酸を30g/L程度添加し、ピット防止として界面活性剤を0.3~0.5g/L添加したスルファミン酸ニッケル浴が用いられてきた。しかし、塩化ニッケルは電鍍とともに減少すると、電着応力を増大させるので使用しない方向で浴の組成を検討した。

◎ 昭和化学株式会社

スルファミン酸ニッケルめっき液は昭和化学製のNS-160を使用した。NS-160はスルファミン酸ニッケルが900g/Lで金属ニッケルが165g/Lの濃厚液である。テスト開始濃度は、スルファミン酸ニッケル700g/Lからテストを行い、徐々に濃度を下げていった。濃度が700~650g/Lまでは電気的に良好であるが、この範囲内では、スタンパーの裏面にピット発生の問題が残った。これはスルファミン酸ニッケルめっき液自体の溶液粘度が高いため、許容範囲内でのピット防止剤や液のかく拌だけでは100%解決するには困難な濃度範囲であった。検討を重ねた結果、液温55°Cにおいて表3に示すようにスルファミン酸ニッケル600g/L前後で良好なスタンパーを作製することができた。できるだけめっき液組成の単純化を図った結果、ホウ酸はスタンパーの裏面粗度を改善するので40g/Lから過飽和までの添加が望ましい。界面活性剤においては、通常、ラウリル硫酸ナトリウムを使用するが過度に添加すると泡立ちが激しいので注意が必要である。しかしながら、界面活性剤にはピット防止の役割だけでなく、ある程度の応力抑制効果も望めるので、可能な限り添加した方が望ましいことが分かった。

### 3.2 めっき液の少量化

昨今環境問題が取りざたされるなか、めっき液の使用量にも規制が問いただされるようになってきた。従来、スルファミン酸ニッケルめっき液の総量は、レコードの時代から電解槽の3倍以上の容量を持たなければならないとされてきたが、従来の装置においては5倍以上の容量を確保していた。電解槽に対して過大な総液量を持つと言うことは、電鍍作業から考えると非常に有利なこと、多少の浴組成に変化が起きても電鍍に及ぼす影響が現れにくいと言うことである。従来の装置は、電解槽の容量が大きく約50L~70L程あった。これに対して総液量が5倍程度であるから、電解槽1槽に対して250L~350Lもの量になってしまう。

そこで、まず電解槽の液量をどこまで減らすことができるかと言うことが課題である。

電解槽のサイズは、国内および海外におけるガラス原盤の流通・使用状況から、φ240mmまでのガラス原盤が使用できる電解槽でなければならないとした。これを踏まえた上で槽構造を検討した結果、1槽当たりの電解槽の総液量を約25L程度まで縮小させた。これにより電解槽をひとつ持つ装置の総液量を90Lにまで縮小させることができた。たいいては電解槽が2つの2槽式が一般的なもので、めっき液は180Lの総液量となる。

### 3.3 電鍍の高速化

これまで述べてきた条件を整理すると、次のようになる。

- 1) めっき液の総量(2槽式の場合) 180L
- 2) スルファミン酸ニッケル 約600g/L
- 3) ホウ酸 40g/Lから過飽和
- 4) 界面活性剤(ラウリル硫酸 Na) 0.15g/L
- 5) 液温 55°C
- 6) pH 3.8~4.1

上記条件を見る限りでは、塩化ニッケルが入っていないだけで、ごく一般的な高濃度スルファミン酸ニッケル浴と変わりはない。上記条件での電鍍テストは、光ディスクの電鍍担当者の方なら1度は試したことのある条件ではないだろうか。しかし、満足の行くスタンパーが得られなかったのは、なぜであろうか。それは、従来の構造の電鍍装置でテストを繰り返してきたからである。では、従来の装置を使用しての電鍍テストでどのような個所が問題となってくるのであろうか。考えられる項目は、①アノードにおける液循環不良、②高電流密度時での電圧の影響、③陽極と陰極の間に流れる液の流量と吐出の向き、である。

#### 3.3.1 アノードにおける液循環不良

通常、電解槽においてニッケル濃度が薄くなった液はアノード室に入り、チタンケース内のニッケルペレットの溶解液とともに調整槽に戻らなければならない。しかし多くの電鍍装置(図1)は、アノードケース内のめっき液の循環性が悪く、濃度分極を起し、ニッケルの溶解不良を招き易い構造となっている。電鍍装置のアノード室の形態はニッケルペレットを入れるチタンのケースと、電解槽とを区分けする樹脂製の隔壁板および電流の流れをコントロールする電流遮蔽板(バツフル板)とで構成されている。従来は、アノード室の容積に対してチタンケースは小さく、アノード室にチタンケースが漬かっている形態をとっている。この形態だと、電解槽からアノード室に入った液はニッケルペレットの抵抗により、チタンケース内にはほとんど入れず、チタンケースを取り巻く隙間に液が流れ込み、調整槽に戻ってしまうため、アノードにおいて液循環不良を起こす。濃度調整が十分に行われなかった液は、調整槽に戻り、ろ過され電解槽に送られる。またチタンケース内の液は、循環が悪いので、上部と下部とで濃度差ができアノード室の濃度分極が発生する。この濃度分極により、ニッケルペレットの溶解不良とpHの不安定を起しやすくなる。

この対策として図2に示すように、アノード室の大きさとチタンケースの大きさを同じくし、アノード室に入ってきた液を100%ニッケルペレットが入っているチタンケース内に入れるようにした。アノード室に入れる液量は電解槽に流れている液量の80%程度とし、残りの20%を後部のオーバーフロー槽側に入れる。本来は100%流したいのだが、ニッケルペレットが液抵抗

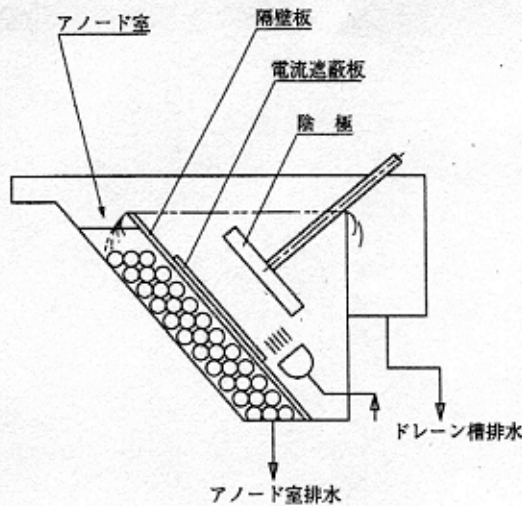


図2 光ディスク高速電鍍装置の槽構造

となるため、電解槽で流れている流量をアノード室だけでは排水しきれないためである。

### 3. 3. 2 高電流密度時での電圧の影響

電流密度が高くなると、スタンパーの応力は増加する。めっき液の組成や、電鍍条件(温度、pH)のことを考えないとすると、高速化のために電流密度を高くすると電圧も高くなるため、電鍍時の電圧が応力に関係している。ほとんどの装置は、例外はあるものの定電流制御なので負荷に関係無く電流を一定に保つようになっている。電流を上げて行けばそれにともない電圧は上昇して行く。極間距離の違いにより多少異なるが、定電流制御型電源では電流 50 A において電圧は約 15 V 前後である。

φ 200 のガラス原盤では、電流密度は 50 A で約 16.8 A/dm<sup>2</sup> 位である。この時のスタンパーの応力は良好で、ほとんど歪みのないスタンパーができる。そこで、この電圧値でどこまで電流を上げることが可能か試みた。その結果、電流値で 85 A、電流密度で約 30 A/dm<sup>2</sup> まで上げることができた(電鍍時間約 52 分)。作製されたスタンパーは、電流密度 16.8 A/dm<sup>2</sup> の時のものと同等以上にフラットなものとなった。

### 3. 3. 3 陽極と陰極の間に流れる液の流量と吐出の向き

従来装置において極間に流れる流量は約 20 L/min である。高速で電鍍する場合、電着速度が速いため流量の不足や、流速が遅いと極間の液に濃度差ができ、適正な電鍍が行われなくなる。極間にいかに早く濃度調整された液を送り込むか必要であると思われる。また吐出の向きも重要で、陰極面全域に均等に液が流れることにより、板厚の均一性や電着効率に大きく影響を与える。

### 3. 4 高速電鍍におけるスタンパーの物理的特性の改善

光ディスク製作において、スタンパーに考慮される物理的特性は、①硬度、②板厚の均一性、③裏面の平滑性、④応力、である。電鍍により上記の項目をすべてコントロールするのは非常に難しいことであるが、装置の構成、液の組成、電鍍条件の3つをうまく制御することにより可能である。

#### 3. 4. 1 スタンパーの硬度

スタンパーの硬度には記録面側の硬度と、スタンパーの裏面側の硬度との2つに分けられる。光ディスクの記録面側の硬度は、スタンパーの直径が小さく、インジェクション成形を行うために 250 Hv 位必要であるが、裏面側の硬度は 180 Hv 位が最適とさ

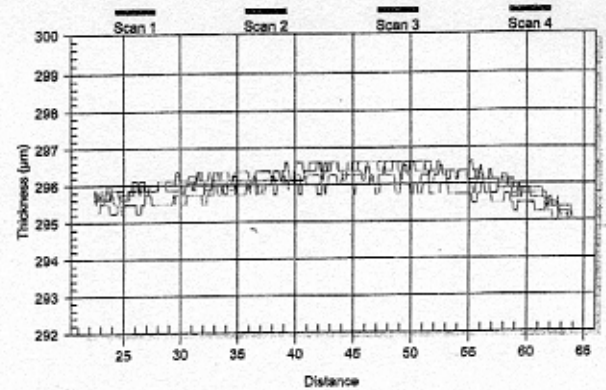


図3 ADE社製厚み測定機によるデータ

れている。その理由として、成形機内で加熱・冷却されるスタンパーにはある程度の延性が必要とされるため、あまり硬度を上げるとクラックを生じる原因となったり、製品によっては金型に合わせた鏡面を得るために裏面を研磨する必要があるからである。

通常、電流密度を上げると電着の結晶構造の変化により硬度が低下するので、電流密度を上げて電鍍する場合、浴温を上げ、陰極効率を高めることが重要である。

#### 3. 4. 2 板厚の均一性

ディスクの高密度化が進む中、今後のスタンパーに要求される精度は益々厳しくなっている。その中でもスタンパーの板厚の均一性は最も重要な項目である。今までのスタンパーは約 300 μm ± 5 μm の精度で製作されてきた。当社の高速電鍍装置(図4)と表3の浴を用いることにより、製作されたスタンパーは約 ± 1 μm (図3)の精度で製作することができた。装置面から見た均一電着性に関する項目は、次のとおりである。

##### 1) 陽極と陰極の距離

陽極と陰極の距離は、一般的には離れた方が均一電着性は良くなる。これは陰極分極が影響しているからである。従来装置の極間距離は 60~70 mm である。しかし、この距離で 30 A/dm<sup>2</sup> の電流をかけると電圧が 20 V~25 V 位になってしまう。30 A/dm<sup>2</sup> の電流時に電圧を 15 V 前後に抑えたいので、必然的に極間距離は決まってしまう。しかし、極間距離を狭くすると均一電着性は劣るので、それを補うために電解槽での液の流量を通常の2倍位に増やし、液の吐出ノズルの形状と本数を今までの物と違う構造とした。

##### 2) 電流遮蔽板と回り電流の防止

通常、陰極の給電方式は外周通電で、アノード室と電解室の密閉性が悪いと電流が回り込みスタンパーの外周部が厚くなってしまふ。これを回避するためにも回り電流を抑え、電流遮蔽板の開口部からのみ整流された電流が陰極に向かうように配慮しなければならない。電流遮蔽板の開口径は、陰極面積に対して約 9 : 10 の割合が適しているが、しかし装置の違いにより差があるので微調節が必要である。電解槽とアノード室をしっかりと遮蔽し、回り電流を抑えればスタンパーの板厚のコントロールは電流遮蔽板のみで制御することが可能である。

##### 3) 陽極と陰極との平行度

陰極側のガラス原盤は通電治具と呼ばれる治具にセットされ、陰極駆動部に固定される。陰極駆動部は、通電治具に回転を与える物で機械的加加工物で構成されているので精度は出し易い。それ

## AHE-02

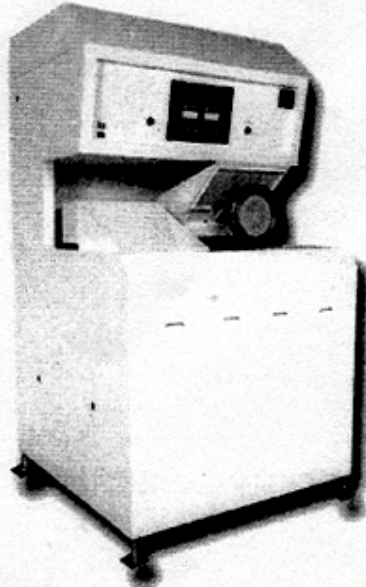


図4 光ディスク高速電鍍装置外観

に比べ陽極のニッケルペレットを入れるチタンケースはラス網で作られているので、強度的に弱くニッケルペレットを詰め過ぎると中央部が膨らんでしまい、陰極との極間を平行に保つのが困難になる。このような状態で電鍍をすると、スタンパーの中央部が厚くなる。これを回避するためにはチタンケースの強度を十分に考慮し、ニッケルペレットを詰め過ぎないようにすることが必要である。

## 4) アノードバッグのばたつき

通常、アノードバッグはチタンケースに被せるタイプの物が多く、チタンケースの表面にフィットしていない。また、アノード室の隔壁板と電流遮蔽板との間にろ布を挟むタイプのものであるが、アノード室の中でチタンケースが潰かっている形態なので、電解槽での液の対流によりばたついてしまう。このような状態で電鍍をすると、電気力線が微妙に変化し均一電着性に影響がでる。

この対策として、隔壁板と電流遮蔽板との間に挟んだろ布を、チタンケースの表面に密着するようにし、かつ液圧にてろ布がチタンケース表面に張り付くようにするのが望ましい。それによりろ布は電解槽の対流によるばたつきも起きず、電気力線に及ぼす影響もでない。

## 5) 陰極回転数

陰極の回転は主にスタンパーの周方向の板厚に影響し、回転速

度により変化する。陰極回転数は、80 rpm~100 rpm 位である。

## 3. 4. 3 裏面の平滑性

ここで言う裏面の平滑性とは、不純物による裏面荒れではなく、ニッケルの析出の密性を言う。

従来装置と表2のめっき浴を用いて、電流密度  $17 \text{ A/dm}^2$  で電鍍を行うとスタンパーの裏面粗さは、 $\text{Ra } 0.8 \sim 0.9 \mu\text{m}$  程度であるが、図4に示す当社の高速電鍍装置、表3の浴を用いて、 $30 \text{ A/dm}^2$  で電鍍を行うとスタンパーの裏面粗さは、 $\text{Ra } 0.7 \sim 0.85 \mu\text{m}$  であった。約2倍の電流密度をかけても裏面粗さはほとんど変わらない。電流密度をさらに下げると、電流密度  $15 \text{ A/dm}^2$  で  $\text{Ra } 0.20 \mu\text{m}$  になり、 $5 \text{ A/dm}^2$  以下でスタンパーの裏面粗さは  $\text{Ra } 0.15 \mu\text{m}$  程度になった。

通常、電流密度が高くなるにつれ電着ニッケルが粗粒子の結晶構造となるのが一般的であるが、陰極効率を上げることにより裏面の平滑性を上げることが可能となる。また、スタンパーの裏面粗さは、ホウ酸の添加量によってもかなり左右され、上記当社の電鍍条件でホウ酸濃度  $30 \text{ g/L}$  で電鍍を行うとスタンパーの裏面粗さは  $\text{Ra } 0.90 \sim 1.0$  となり、ホウ酸濃度  $40 \text{ g/L}$  ~過飽和の時より裏面粗さは悪くなる。

## 3. 4. 4 応力

応力については先にも述べたが、浴電圧をなるべく低く押さえることが必要である。しかし応力は、電流密度や浴温、pH、不純物など複合的に関係してくるので、これらのことがすべてクリアした上で浴電圧の抑制を行う。

## 4. おわりに

最初是不溶性陽極の開発から始まった実験であったが、その実験から得たデータを元に高速電鍍が可能となったのは実に偶然であった。

電鍍技術は光ディスクなどの製造だけでなく、この技術を用いて液晶の導光板などの大型電鍍やマイクロレンズ、ハイアスペクトな物の電鍍に転化されようとしている。

今後、高速電鍍が各方面に応用されることを期待したい。

## 謝 辞

高速電鍍装置を開発するにあたり、実験に協力していただいた日本コロムビア株式会社技術部諸氏並びに昭和化学株式の山口氏に謝意を表す。

昭和化学株式会社

(2001-9-19 受理)

## 文 献

- 1) 伊勢秀夫；電鍍技術と応用（横書店, 1996）