光沢めっき法による複眼レンズ金型製造の検討

川崎 実*, 浅沼 豊人**, 鈴木 哲也**

Production of Compound Eyes Metal Molds by Bright Plating Method

Minoru KAWASAKI*, Toyohito ASANUMA** and Tetsuya SUZUKI**

Production of compound eyes lens metal molds are cutting method etc. But, the report of plating method investigated.

Therefore, production of compound eyes lens metal molds by bright plating method were investigated.

We was studied production of compound eyes lens metal mold by bright plating method.

We made a hemisphere metal mold with a surface roughness (R_{max}) of 40~120nm and the radius curvature of 0.44~1.4mm when we controlled a nickel sulfate concentration and a integrating current and a hole diameter of photo-resist pattern and a electro-conductive film.

R_{max} was lowest with a nickel sulfate concentration of 20~30%, and decreased with increasing an anode size, e. g. maximum R_{max} was 40nm with a nickel sulfate concentration of 20% and an anode size of 0.25dm².

Curvature radius decreased with increasing a nickel sulfate concentration, and decreased with increasing a integrating current.

When we used copper electro-conductive with low electric resistance, curvature radius was smaller than it used nickel electro-conductive film with high electric resistance.

When a hole diameter of photo-resist pattern increased, curvature radius was a large.

Key Words : Production, Compound Eyes Mold, Bright Plating Method

1. 緒 言

エンジニアリングプラスチックの成形品がOA機器などの電子部品に広く使用されてきている。プラスチックレンズも成形品として各種分野で実用化されているが、立体映像や半導体および液晶分野において小形の複眼プラスチックレンズの実用化への期待が高まっている。

複眼レンズ金型の製造方法には切削法や圧子法および球レプリカ法などがある。しかし、いずれの方法においても、小さな半球が格子状に整列した鏡面金型を造るのには困難である。しかし、電鍍技術で鏡面の複眼レンズ凸形金型を造り、その凸形金型を転写すると鏡面の複眼レンズ凹形金型ができる。そして、これらの金型から転写することにより凹形の複眼レンズと凸形の複眼レンズを造ることが可能である。そこで、孔の空いたレジストパターンが形成されている電導性基板上に、光沢剤が添加されているスルファミン酸ニッケルめっき液を用いて光沢のあるニッケル金属を析出させながら、半径と面の粗さが小さい半球を格子状に整列させた複眼レンズ凸形金型を造る方法を検討した。本論文では、その結果を報告する。

Fig. 1 Compound eyes lens convex metal mold.

2. 方 法

2. 1 複眼レンズ凸形金型の構造

製作した複眼レンズ凸形金型の構造を図1に示す。50×50mmガラス板（厚さ1.0mm）に直流スパッタ法でニッケル膜（膜厚100nm）または銅膜（膜厚100nm）を形成した。次に、これらの金属膜の上にスピコート法でレジスト膜（1.7μm）を塗布した。フォトリソグラフィ技術を用いてピッチ0.7mm、直径が200, 300, 400μmの孔をそれぞれ格子状に整列したレジストパターンを造り、その上にニッケル金属を析出させて図1に示す凸形を形成した。

2. 2 めっき装置

ニッケル金属を析出させるめっき装置の構造を図2に

* 日本ビクター(株) (〒239-8550 神奈川県横浜須賀野市神明町58-7) Victor Company of Japan, Ltd. (58-7, Shinmei-cho, Yokosuka-shi, Kanagawa 239-8550)

** 日本ビクター(株) (〒242-8515 神奈川県大和市下鶴間1612-1) Victor Company of Japan, Ltd. (1612-1, Shimoturuma, Yamato-shi, Kanagawa 242-8515)

Fig. 2 Plating equipment.

示す。スルファミン酸ニッケルめっき液、塩化ビニル槽、ニッケルペレット陽極、チタンケース、中心が開いている陽極マスク、レジストパターン電導性基板を固定する陰極ホルダー、温度センサー、ヒーター、かく拌機から構成されている。

2. 3 ニッケル金属析出条件

ニッケル金属析出に用いためっき液の組成を表 1 に示す。

スルファミン酸ニッケルめっき予備テストの結果から、光沢剤は市販の光沢剤の中からピンホールの発生がほとんどなかったウエライト G 1, G 2 (上村工業(株)製)を使用した。

ニッケル金属析出のめっき条件を表 2 に示す。

2. 4 半球の面粗さ

製作した複眼レンズ凸形金型 (50×50mm) の中心の半球をミウラ干渉計¹⁾を用いる走査型白色干渉顕微鏡²⁾ New View 100 (ZYGO 社) を使用して、半球面積 0.13×0.11mm の範囲の粗さを測定した。

2. 5 半球の曲率半径

製作した複眼レンズ凸形金型 (50×50mm) の中心の半球の曲率半径を走査型白色干渉顕微鏡 New View 100 (ZYGO 社) を用い、曲率半径繰り返し反射測定法³⁾で測定した。また、測定した曲率半径の値を断面形状写真より確認した。

3. 結果および考察

3. 1 半球の面粗さ

スルファミン酸ニッケルめっき液中の硫酸ニッケル濃度を 0, 20, 35, 50% に変化させて、ニッケル電導膜 (膜厚 100nm)、レジストパターン孔直径 300 μm (ピッ

Table 1 Nickel plating bath composition.

Matter	Concentration
Ni (NH ₄ SO ₃) ₂	200, 260, 320, 400g/L
NiSO ₄	200, 140, 80, 0 g/L
NiCl ₂	5 g/L
HBO ₃	30 g/L
CH ₃ (CH ₂) ₄ OSO ₃ Na	0.1 g/L
UERAITO brightener	G 1 5 m/L, G 2 1 m/L

Table 2 Nickel plating condition.

Item	Condition
Temperature	55±1.5℃
pH	4.0 ~ 4.5
Interpole distance	100 mm
Cathode size	0.25 dm ²
Anode size	0.09, 0.25 dm ²
Current density	0.8 → 8 A/dm ²
Integrating current	12, 19, 26 AH
Hole diameter (photo-resist pattern)	200, 300, 400 μm (pitch 0.7 mm)
Electro-conductive film	Nickel, Copper (100 nm)

チ 0.7mm, レジスト厚さ 1.7 μm), 積算電流 19AH, 陽極面積 0.09 と 0.25dm² で凸形半球を形成した。形成した半球の面粗さを測定した結果を図 3 に示す。

図 3 より、スルファミン酸ニッケルめっき液中の硫酸ニッケル濃度が 20~30% のとき、半球の面粗さは最も小さくなった。この傾向は面の最大粗さ (図中の○, ● R_{max}) に最も良く表われている。

これは、次のように説明できる。

Fig. 3 Nickel sulfate concentration and the face surface roughness of the hemisphere.

○: $R_{\max}$ of the hemisphere face after plating at anode size 0.09dm^2 , integrating current 19AH , hole diameter of photo-resist pattern $300\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm .

●: $R_{\max}$ of the hemisphere face after plating at anode size 0.25dm^2 , integrating current 19AH , hole diameter of photo-resist pattern $300\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm .

△: R_z of the hemisphere face after plating at anode size 0.09dm^2 , integrating current 19AH , hole diameter of photo-resist pattern $300\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm .

▲: R_z of the hemisphere face after plating at anode size 0.25dm^2 , integrating current 19AH , hole diameter of photo-resist pattern $300\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm .

□: R_a of the hemisphere face after plating at anode size 0.09dm^2 , integrating current 19AH , hole diameter of photo-resist pattern $300\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm .

■: R_a of the hemisphere face after plating at anode size 0.25dm^2 , integrating current 19AH , hole diameter of photo-resist pattern $300\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm .

スルファミン酸ニッケルめっき液中の硫酸ニッケルが増加すると、めっき液の比電導度が小さくなり⁴⁾陰極電位を上昇させる。そのために、陰極分極が大きくなり光沢剤の平滑化作用⁵⁾を増大させる。その結果、半球の面粗さが小さくなった。

硫酸ニッケル濃度が30%以上になると、半球の面粗さは大きくなった。これは、析出したニッケル金属に含まれるイオウ量が減少することにより柱状構造のニッケルの影響⁶⁾が光沢剤の平滑化作用を上回るためであると考えられる。

図3より、異なる陽極面積で形成した半球の最大面粗さを比較すると(図中の○, ●), 陽極面積を大きくして形成した半球の最大面粗さは小さくなっている。例えば、硫酸ニッケル濃度が20%で同じとき、陽極面積 0.09dm^2 で形成した半球の最大面粗さ(図中の○)は

80nmになる。そして、陽極面積 0.25dm^2 で形成した半球の最大面粗さ(図中の●)は40nmになった。即ち、陽極面積が約3倍になると半球の最大面粗さが半分に減少した。

陽極面積が大きいと最大面粗さが小さくなるのは、陽極から供給されるニッケルイオンが増えてめっき液中のニッケルイオン濃度が上昇すると陰極効率が高くなってち密な結晶構造を造り出すためである⁷⁾と考えられる。

実用化されている現状の加工方法で超精密級の非球面とは、形状精度 $0.1\mu\text{m}$ で表面の粗さが $R_{\max}10\text{nm}$ (最大面粗さにすると100nm)クラスの加工品位であると定義されている⁸⁾。例えば、光ディスクの記録再生装置に使用されているピックアップレンズの非球面レンズ金型の品位は半球の直径5.8mmに対する形状精度50nm、表面の粗さが $R_{\max}25\text{nm}$ (最大面粗さにすると250nm)である⁹⁾。

実験で得られた半球の最大面粗さが40nm($R_{\max}$ として4nm)と小さく、レンズの非球面としては非常に優れた面粗さを持っていると考えられる。

3. 2 半球の曲率半径

3. 2. 1 硫酸ニッケル濃度と曲率半径

スルファミン酸ニッケルめっき液中の硫酸ニッケル濃度を0, 20, 35, 50%に変化させて、積算電流 19AH , レジストパターン孔直径 $300\mu\text{m}$ (ピッチ 0.7mm , 膜厚 $1.7\mu\text{m}$), ニッケル電導膜(膜厚 100nm , 陽極面積 $0.09, 0.25\text{dm}^2$), 銅膜(膜厚 100nm , 陽極面積 0.09dm^2)で凸形半球を形成した。形成した半球の曲率半径を測定した結果を図4に示す。

硫酸ニッケル濃度を制御することによって、半径 $0.6 \sim 1.2\text{mm}$ の半球ができることがわかった。

図4より、陽極面積が 0.09dm^2 で電導膜の種類(ニッケル金属と銅金属)が異なる場合(図中の○, △), スルファミン酸ニッケルめっき液中の硫酸ニッケル濃度が大きくなると、形成した半球の曲率半径は小さくなった。また、ニッケル電導膜(図中の○)と銅電導膜(図中の△)で形成した半球の曲率半径を比較すると、曲率半径は銅電導膜の方が大きかった。

電導膜がニッケル金属で陽極面積 0.25dm^2 の場合(図中の●), 硫酸ニッケル濃度が0~35%の範囲では、濃度の増加に伴って形成した半球の曲率半径は小さくなる傾向にある。また、陽極面積の小さい方(図中の○)の曲率半径と比べると大きかった。そして、硫酸ニッケル濃度が35%以上になると、陽極面積が大きい方(図中の●)の曲率半径は大きくなった。しかも、陽極面積の小さい方(図中の○)の曲率半径よりも大きくなった。

レジストパターン孔に半球が形成されるのは、孔の中心の電流密度が孔の外周より高いために孔中心へ析出するニッケル金属の量が外周より多いためであると考えら

Fig. 4 Nickel sulfate concentration and the radius curvature of the hemisphere.

○ : The radius curvature of the hemisphere after plating at anode size 0.09dm^2 , integrating current 19AH, hole diameter of photo-resist pattern $300\text{ }\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm .

● : The radius curvature of the hemisphere after plating at anode size 0.25dm^2 , integrating current 19AH, hole diameter photo-resist pattern $300\text{ }\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm .

△ : The radius curvature of the hemisphere after plating at anode size 0.09dm^2 , integrating current 19AH, hole diameter of photo-resist pattern $300\text{ }\mu\text{m}$, copper electro-conductive film 100nm .

れる。

陽極面積が同じで電導膜が異なる場合、硫酸イオン濃度の増加によってめっき液の比電導度が小さくなり¹⁰⁾陰極の電流密度を高くさせる。その結果、孔の中心への析出するニッケル金属の量が増えて曲率半径を小さくしたと考えられる。また、銅電導膜の方がニッケル電導膜に比べて曲率半径が大きくなるのは、銅電導膜の電気抵抗が小さいためである¹¹⁾。何故ならば、電気抵抗が小さいと陰極に流れる電流の量が増して電流密度の分布が良くなり、めっきの均一化性能と孔外周への金属の析出が促進されるからであると考えられる。

陽極面積が大きいニッケル電導膜の場合、硫酸ニッケル濃度 $0\sim 35\%$ の範囲において、硫酸イオン濃度の増加により電流密度が改善されるために曲率半径が小さくなった。また、陽極面積が大きくなることにより陽極から供給されるニッケル金属が増加されて曲率半径が小さくなったと考えられる。しかし、硫酸ニッケル濃度が 35% 以上になると、硫酸イオンの影響によるめっき液の比電導の低下が、陽極面積を大きくすることにより著しくなる。その結果、陰極電位が極端に上昇し陰極効率が下がる。そして、めっき液の均一化性能が促進されて半球の間を

Fig. 5 Integrating current and the radius curvature of the hemisphere.

○ : The radius curvature of the hemisphere after plating at anode size 0.09dm^2 , hole diameter of photo-resist pattern $300\text{ }\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm , nickel sulfate concentration 35% .

析出ニッケル金属が埋めるために曲率半径が大きくなったと考えられる。

3. 2. 2 積算電流と曲率半径

積算電流値を 12, 19, 26AH に変化させてスルファミン酸ニッケルめっき液中の硫酸ニッケル 35% 、レジストパターン孔直径 $300\text{ }\mu\text{m}$ (ピッチ 0.7mm 、膜厚 $1.7\text{ }\mu\text{m}$)、ニッケル電導膜 (膜厚 100nm)、陽極面積 0.09dm^2 で凸形半球を形成した。形成した半球の曲率半径を測定した結果を図 5 に示す。

積算電流を制御することによって、半径 $0.44\sim 1.08\text{mm}$ の半球ができることがわかった。

図 5 より、積算電流値が大きくなると、形成した半球の曲率半径は大きくなった。半径が大きくなるのは、積算電流が大きくなると堆積するニッケル金属の量が増加して半球の間を埋めるためであると考えられる。

3. 2. 3 レジストパターン孔直径と曲率半径

レジストパターン孔直径を 200, 300, $400\text{ }\mu\text{m}$ (ピッチ 0.7mm 、膜厚 $1.7\text{ }\mu\text{m}$) に変化させて、積算電流 19AH、ニッケル電導膜 (膜厚 100nm 、陽極面積 0.09 と 0.25dm^2 、硫酸ニッケル濃度 35 と 50%)、銅電導膜 (膜厚 100nm 、陽極面積 0.09dm^2 、硫酸ニッケル濃度 35%) で凸形半球を形成した。形成した半球の曲率半径を測定した結果を図 6 に示す。また、形成した半球 (硫酸ニッケル濃度 50% 、陽極面積 0.25dm^2 、ニッケル電導膜 100nm) の断面形状を干渉顕微鏡で観察した結果を図 7 に示す。

レジストパターン孔の直径を制御することによって、

Fig. 6 Hole diameter of photo-resist pattern and the radius curvature of the hemisphere.

○ : The radius curvature of the hemisphere after plating at anode size 0.09dm^2 , nickel electro-conductive film 100nm , nickel sulfate concentration 35%.

● : The radius curvature of the hemisphere after plating at anode size 0.25dm^2 , nickel electro-conductive film 100nm , nickel sulfate concentration 35%.

× : The radius curvature of the hemisphere after plating at anode size 0.25dm^2 , nickel electro-conductive film 100nm , nickel sulfate concentration 50%.

△ : The radius curvature of the hemisphere after plating at anode size 0.09dm^2 , copper electro-conductive film 100nm , nickel sulfate concentration 35%.

半径 $0.51 \sim 1.4\text{mm}$ の半球ができることがわかった。

図6より、レジストパターン孔の直径が大きくなると形成された半球の曲率半径は大きくなった。また、レジストパターン孔直径が同じ場合、形成された半球の曲率半径は次の順番で大きくなった。ニッケル電導膜-陽極面積 0.25m^2 -硫酸ニッケル 35% < ニッケル電導膜-陽極面積 0.09m^2 -硫酸ニッケル 35% < ニッケル電導膜-陽極面積 0.25m^2 -硫酸ニッケル 50% < 銅電導膜-陽極面積 0.09m^2 -硫酸ニッケル 35%。

レジストパターン孔のピッチが同じで積算電流が一定の場合、孔の直径が大きくなると外周と外周の間隔が狭くなる。そして、孔の直径が小さい半球より早く半球の間を析出金属によって埋まるため曲率半径が大きくなったと考えられる。また、硫酸ニッケル濃度、陽極面積、電導の種類が変わってもこの傾向は変わらず、半球を形成するニッケル金属の析出システムに関して、図4の硫酸ニッケル濃度と曲率半径の結果と同じ理由が考えられる。そして、電流密度が高い順に曲率半径が大きくなったと考えられる。

図7の半球の断面形状観察図より求めた半球の半径を

Fig. 7 The section shape observation photograph of the hemisphere.

Photo 1 : The section shape observation photograph of the hemisphere with the radius curvature 0.805mm after plating at anode size 0.25dm^2 , integrating current 19AH , hole diameter of photo-resist pattern $200\text{ }\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm , nickel sulfate concentration 50%.

Photo 2 : The section shape observation photograph of the hemisphere with the radius curvature 0.824mm after plating at anode size 0.25dm^2 , integrating current 19AH , hole diameter of photo-resist pattern $300\text{ }\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm , nickel sulfate concentration 50%.

Photo 3 : The section shape observation photograph of the hemisphere with the radius curvature 0.867mm after plating at anode size 0.25dm^2 , integrating current 19AH , hole diameter of photo-resist pattern $400\text{ }\mu\text{m}$, nickel electro-conductive film 100nm , nickel sulfate concentration 50%.

比べるとほぼ同じ値になった。このことにより、非破壊で曲率半径を測定する走査型白色干渉顕微鏡の測定がほぼ正しいことが確認できた。

4. 結 語

光沢剤が添加されているスルファミン酸ニッケルめっき液を用いて、孔の空いたレジストパターンが形成されている電導性基板上に光沢のあるニッケル金属を析出させた。そして、そのニッケル金属で半径と面粗さが小さい半球を格子状に整列させた複眼レンズ凸形金型を作製した。その結果、次のような結果が得られた。

(1) 半球の面粗さはスルファミン酸ニッケルめっき液中の硫酸ニッケル濃度が20~30%で最も小さくなった。また、大きい陽極面積で形成した半球の面粗さは小さくなった。例えば、硫酸ニッケル濃度20%で陽極面積 0.09dm^2 のとき最大面粗さは 80nm 、陽極面積 0.25dm^2 のとき最大面粗さは 40nm であった。

(2) スルファミン酸ニッケルめっき液中の硫酸ニッケル

濃度が大きくなると半球の曲率半径は小さくなった。また、その濃度を制御することにより、半径0.6~1.2mmの半球ができた。

ニッケル電導膜においては、陽極面積が小さい方が大きい方と比べて少し曲率半径が大きくなった。しかし、硫酸ニッケル濃度が35%以上になると、陽極面積の大きい方の曲率半径が大きくなった。

(3) 電気抵抗の小さい電導膜で形成された半球の曲率半径は大きくなった。

(4) 積算電流が大きくなると形成した半球の曲率半径は大きくなった。また、積算電流を制御することにより、半径0.44~1.08mmの半球ができた。

(5) レジストパターン孔直径が大きくなると形成される半球の曲率半径は大きくなる。また、孔の直径を制御することにより、0.51~1.4mmの半球ができた。

(6) 走査型白色干渉顕微鏡による曲率半径の測定はほぼ正しいことが確認できた。

以上のように、スルファミン酸ニッケルめっき液の硫酸ニッケル濃度、ニッケル金属析出条件、レジストパターンの孔直径を変えることにより、面粗さが小さくて、曲率半径の小さい複眼レンズ凸形金型を製作できることが明らかになった。また、作製した凸形金型を電鍍技術で転写すると、凸レンズの金型である凹形金型を得ることができる。

すなわち、皮膜を造るという目的の光沢めっき法を析

出する金属結晶の特質と電解条件を利用して、めっき均一化性能と平滑化作用を制御することにより半球などの立体構造形成に応用できることが確認できた。しかし、今回の検討では触れなかったが、電解システムによるワーク面の内外のばらつき（例えば、真球度、曲率半径、粗さ）が起きる。例えば、今回の検討において曲率半径のばらつきは10~15%であった。このような電解システムによるばらつきの克服がワークの大型化やアプリケーションの広がりのポイントになると思われる。

(Received June 22, 1998 ; Accepted September 10, 1998)

文 献

- 1) 松下 宏 ; *O plus E*, 167, (10), 101 (1993)
- 2) 佐藤 敦 ; 光アライアンス, 5, (6), 46 (1994)
- 3) 松下 宏 ; *O plus E*, 167, (10), 100 (1993)
- 4) 藤田 実, 岸 松平 ; 金属表面技術協会メッキ技術資料(4), p. 321 (1977)
- 5) 浅野照三, 他 ; 金属表面技術便覧, p. 330 (日刊工業新聞社, 1974)
- 6) ゲーア・サダコフ ; 電鍍, p. 78, 80 (日ソ通信社, 1988)
- 7) 岸 松平 ; めっき技術便覧, p. 37 (日刊工業新聞社, 1972)
- 8) 赤脇俊道他 ; 超精密生産体系(2), p. 199 (フジテクノシステム, 1994)
- 9) 赤脇俊道他 ; 超精密生産体系(2), p. 207 (フジテクノシステム, 1994)
- 10) 岸 松平 ; めっき技術便覧, p. 39 (日刊工業新聞社, 1972)
- 11) 佐々木恒孝 ; 化学便覧(2), p. 996 (丸善, 1966)
- 12) 岸 松平 ; めっき技術便覧, p. 39 (日刊工業新聞社, 1972)