最近のニッケルエレクトロ フォーミング技術とその応用

Recent Nickel Electroforming Technology and its Application

著 : S. A. Watson*¹⁾

訳 : 佐藤 治 実*²⁾

種々の理由から、ニッケルは電鍍めっきに最も広く用いられている金属である。本稿では、合金および強化めっきによってニッケルの性質を高めるいくつかの方法と最近の用途例を述べる。

1. まえがき

電析されたニッケルは、強度があり、靱性に富み、かつ腐食や摩耗に対して高い抵抗力がある。さらにその機械的性質はめっき条件を変えることにより、広範囲に変えることができる。このような理由から、ニッケルは電鍍めっきに最も広く用いられている金属となっている。ここでは、合金および強化めっきによってニッケルの性質を高めるいくつかの方法と最近の用途例を述べる。

2. 合金及び強化めっき

2. 1 ニッケル-コバルト合金

10-15%のコバルトを含有し、かつ内部応力を十分に低く押えることができるニッケル-コバルト合金めっきはインコによって開発された。この方法は 600 g/L のスルファミン酸ニッケル浴を用いる Ni-Speed 法を基本にしたものである。

Ni-Speed 法は同じくインコのバーミンガム

研究所で開発されたものである。ニッケル-コバルト合金はニッケルそのものよりも硬く、高強度であり、しかも 200℃以上の温度で十分に使用できる。200℃は通常の硫黄含有有機添加物で強度を上げたニッケル電析物にとっては使用限界温度である。

添加物を用いないスルファミン酸浴で得られるニッケルの降伏強度は、めっき条件によって 280-500 N/mm² の範囲で変動する。Suchentrunk は 90 g/L のニッケルイオンを含有する浴で 370 N/mm² の値を得ている¹⁾。Ni-Speed 浴によるニッケル-コバルト合金は、530-670 N/mm² の耐力を有し、低炭素モールド用鋼とほぼ同じ強度を示す²⁾。したがって、この合金の電鍍めっきは、プラスチック、ガラスあるいは亜鉛のモールドに使用されている(写真 1-3)。

Metzger 社と Laser 社³⁾は 14% のコバルト合金を、レジストを写真印刷した銅-ベリリウム合金板の上に電鍍めっきして 7-10 ミクロンの厚みの細かい網格子を作っている。これは光学機械の位置基準用に用いられている。得られる合金の組成を一定にするため、コバルト塩は常に液に添加されている。

コバルトの含有量を 15% 以上上げると強度も増加するが内部応力も大きくなる。Walter⁴⁾ は径約 64 mm の円筒状試片の上に 54 ± 1% の合金を、さらに平板試片の上に 40% コバルト合金を 23 mm の厚みに電鍍し、強度を調べている。降伏点は各々 1062 と 1131 N/mm² であった。しかしながら引張残留応力は 110 N/mm² もあり、これは多くの場合問題となる大きさである。

*¹⁾ Birmingham Research Centre, INCO Europe Ltd.

²⁾ インコ・リミテッド日本支社 技術部長
(〒103 東京都中央区日本橋室町 2-4-3,
☎03-245-0621)

写真1 (a)ニッケル-コバルト合金電鍍による
ガラス鑄込み用金型

写真1 (b)電鍍金型で作られたガラス製品

写真2 ニッケル-コバルト合金電鍍に
よるプラスチックモールド用金型

写真3 亜鉛ダイカスティング用の電鍍金型
(14,000回のショット後も変形や摩耗は
見られない。)

Walter によって興味ある観察がなされている。それは 204℃に数時間加熱することによって、常温での降伏点が増加することである。彼は、これは熱処理によって水素ガスが放出されることと残留応力が低下するためであると説明している。260℃での降伏点の場合、熱処理の効果は、率として常温での降伏点に対するよりも大きい。熱処理温度を 204℃から 371-427℃に上げると更に大

きな効果が得られる。例えば、427℃で4時間熱処理した場合、260℃での降伏強さは、 372N/mm^2 から 448N/mm^2 と約20%も上昇する。

ファイバーで強化された40%から45%のコバルトを含有する合金が、LewisおよびWalterによって特許となっている⁵⁾。ファイバーとしては、カーボン、ボロンあるいはガラスやその他の有機繊維が挙げられている。ファイバー径は 175から 250

ミクロンを適量として全体の約50%の容積を占める。これの用途として、ロケットノズルからメモリーコアまで広い範囲が挙げられている。この複合材料の場合、熱処理はとりわけニッケル-コバルト合金の残留応力軽減のため不可欠である。

Malone によって、ニッケル-コバルト合金の電鑄に、パルス電流を用いた実験効果が報告されている⁶⁾。実用例はないが、その内容は理論的には非常に興味深いものである。

2.2 ニッケル-マンガン合金

ニッケル-コバルト合金めっきに比べNi-Speed 浴に同量のマンガンを追加しても合金中のマンガンの量はかなり低いものとなる²⁾。マンガンの析出量は陰極電流密度を上げることによって増加するが、析出物は著しい引張残留応力を示す。サッカリンを添加すれば、この残留応力は低下できる。即ち、0.1g/Lのサッカリンの添加で、マンガニオン量が20g/Lの浴で電流密度4-3 A/dm² のめっき条件で残留応力はゼロとなる。サッカリンを添加すれば、当然硫黄が混入してくるが、電流密度上昇による硫黄の析出量の増加はマンガンのそれよりも低い。従って、高電流めっきによって十分なマンガンを確保しかつ硫黄ぜい化を抑えることができる。0.03%の硫黄レベルでは、200℃の使用で0.03%のマンガンを、500℃では0.15%のマンガンの必要である。これらのマンガンの量は、15g/Lのマンガニオンを添加した浴では各々4 A/dm² 及び12 A/dm² の条件で得られる。サッカリンを添加し、高電流めっきを行うことにより、残留応力の低いニッケル-マンガン合金が得られる。これは低残留応力ニッケル-コバルト合金の最も硬いものよりも更に高い硬度を有する²⁾。この合金の用途はこれから増加するものと思われる。

Malone はニッケル-コバルト合金の他にスルファミン酸浴でのニッケル-マンガン合金めっきにもパルス電流を用いた研究を行っている⁷⁾。パルス電流によって降伏強度は増加するが靱性が劣ってくる。降伏強度の改善は温室から500℃までの温度範囲で見られ、靱性は熱処理によって改善できる。ある合金組成では、343℃で24時間の熱処理によって降伏点は更に26%程度まで上昇し、

靱性も改善される。パルスめっきを実際に応用する場合の問題点は、めっきのままの状態での内部応力が非常に高いことである。

2.3 ニッケル-クロム合金

WearmouthはNi-Speed浴中に300g/Lのクロムカーバイト粒子を分散させ、めっき後1,000℃の水素ガス雰囲気中で24時間脱炭を行い、22%クロムの合金を得ている²⁾。

この合金の硬さは、同様に熱処理された純ニッケルが55HVに比べ、220HVと高い値を示している。この合金の用途は、今のところ発表されていない。

この研究での興味深いところは、粒子の共析が析出物の残留応力を低下させることである。この現象はニッケル-コバルト合金でも見られる。従って内部応力が十分に低くかつ強度の高いニッケル-コバルト合金を得る方法がここにあると考えられる。また、これはニッケル-マンガンの合金めっきにも応用できると思われる。

3. レベリング剤を使用した ニッケル電鑄めっき

レベリング剤は凹んだ所により多くニッケルを析出させる効果を持つので、めっきされた表面は下地よりもさらに平滑なものとなる(図1)。したがってレベリング剤は装飾めっきにおいては広く用いられ、下地の研磨仕上げ作業を軽減させかつ光沢のある平滑な表面を持つ製品が得られる。

ビデオディスクスタンパーの場合、電鑄ニッケルは硬さや低残留応力ばかりでなく、0.1ミクロン以下の表面粗さが要求される。これはビデオレコードをプレスする際、スタンパー表面が粗ければ、その欠陥がそのままコピーされるからである。

WearmouthとBishopは、Ni-Speed浴にレベリング剤としての2-ブチン、1-4ジオールを用いて平滑で硬くかつ内部応力の低いニッケルを得る方法を述べている。ブチンジオールを45mg/L添加し、60℃、5 A/dm² で得られたニッケルは平滑で硬さ400HV、かつ内部応力はゼロである。

ビデオディスクスタンパーの電鑄にブチンジオー

図1 レベリング剤の効果

ルを用いたオランダ・フィリップス社の例については、Schmitz, Wijngaarden他によって一連の報告がなされている。その工場では、陰極ケースを傾斜して設け、浴はほぼNi-Speed浴に近いものを用いている⁹⁾。

残留応力ゼロを得る陰極電流密度とブチンジオール添加量の関係は直線で得られ、 20mg/L では 6 A/dm^2 で残留応力ゼロが得られる¹⁰⁾。

ブチンジオールの分析については、次の方法が発表されている¹¹⁾。一つは古典的なシュウ素/シュウ酸とヨウ素を添加してチオ硫酸/デンプンに対するフリーのヨウ素を滴定する方法である。第二は高能力溶液クロマトグラフィー、で第三は電解電量法である。滴定法のブチンジオールの検

出能力は約 10mg/L であるが、他の方法に比べ、簡単でありコストも安い。

モールドやダイの電鍍では、コーナーの部分でのニッケル層は薄くなる傾向があり、とくに品物に振動応力が使用上かかる場合には局部破損の原因となる。この問題は、その部分に丸みを与えることによって軽減でき、ブチンジオールの使用は有効である。写真4及び5はブチンジオールのレベリング効果の例を示す。この場合、通電量に比例してブチンジオールを補充し、その濃度を一定に保つ必要がある。 20mg/L 浴では、 3 A/dm^2 の陰極電流に対して補充量は 0.5mg/Ahr である。

レベリング剤は電鍍でメッシュを作る場合にも

写真4 ブチンジオール添加の有(右), 無(左)の電鍍品断面

写真5 プチンジオールによるイボ状突起の抑制効果
(左は添加無し、右は添加したもの)

図2 金型マンドレルで電鍍メッシュを作る
場合のサイド方向への広がり状況

図3 通常の電鍍メッシュと
方向限定法によるメッシュとの比較

用いられる。めっきは絶縁材で孔パターンをつけた導電体基板の上に行く。めっきが進み厚みが増すにつれ、絶縁孔の上にもニッケルが析出し、孔をふさぎメッシュの開孔率を低下させてしまう(図2)。このことは開孔率が高く、かつ厚手のメッシュを電鍍で作るのは難しいことを示す。この孔を閉そくする問題については、Hekとその共同研究者によって電気化学的な解決が得られている。

これはレベリング剤が分極剤として働きニッケルの析出を抑制すること並びにレベリング剤は陰極で消費されるといった事実をうまく利用したものである。Mohanとの研究では¹²⁾、Hekは一定量のレベリング剤を含有させた電鍍液を陰極スクリーン基板の背後からアノード／カソード間にポンプで送り込むことによって、スクリーン基板上での析出は上にだけ成長することを示している(図3)。

レベリング剤の適当なものとして2-ブチン、1-4 ジオールとエチレンシアノヒドリンが挙げられている。Hekは、また、レベリング剤を含有した液でパルスめっきを行うことによって析出物の上方対横方向の成長率比として25:1を得ている¹³⁾。レベリング剤を含有する電解液をスクリーン基板を通して送り込むと金属析出が垂直に進行することの原理はMorssinkhofによって説明されている¹⁴⁾。彼は第一層を鉄あるいは鉄-ニッケル合金で行うとスクリーン強度が改善されると言っている。

4. ニッケル電鍍めっきの用途例

合金化その他によってニッケルの性質を拡張していくと言った努力と共に、現在の確立されたスルファミン酸浴で得られるニッケルの用途を拡大しようとしている所、ワット浴に応力低下剤や硬化剤などのサッカリン、メタベンゼンジスルホン塩、ナフタリントリスルホン酸を添加して製品を作ろうとするもの等がある。以降にこれらの用途例のいくつかを紹介する。

4. 1 ニッケル箔

ニッケル箔技術の一つの重要な開発はJonesとMcgrathによる光学的選択膜の製造である¹⁵⁾。

ニッケルはチタン製回転ロールに連続的にめっきされ 500mm幅までの箔として製造される。陽極はロール形状に合わせて加工されたチタンバスケットでSニッケルベレットが充填され 45 A/dm^2 までの電流が流せるような高い生産性を持っている。箔の厚みとして8ミクロンから200ミクロンが得られ、ニッケル純度は99.99%である。これは、そのまま北海油田プラットフォームでの防火用カバーとしてあるいは高温用黒鉛ガスケットの基板にアスベストの代わりに用いられている。また、その耐火性能を利用し防火扉に積層されたりその他建築用に使用されている。

しかしながら最も大きなものは0.013mmの箔で太陽熱吸収面としての用途である。この場合、表面は黒色の混合酸化物皮膜でコーティングされ、この性能は、黒色クロムや通常のニッケルブラック（電析した亜鉛-ニッケルの硫化物）のそれよりも数段すぐれている。この太陽熱吸収箔はMaxorb Solar Foilの名称でヨーロッパ、北米、南米およびアジア地区25ヶ国で使用されている。

光反応機器、たとえば太陽電池などの基板としてニッケル箔の製造がHanak他によって発表されている。この電鍍箔は非常に厳密に研磨されたチタン製ドラムを用いて得られた表面欠陥がほとんどないものである。ドラムはその形状に合わせて作られたチタンケースの内側で回転する。ケースにはホッパーからニッケルベレットが装入される。活性化されたベレットを使用しているかどうかは確認していないが、使用浴は塩素イオンフリーであるから多分にINCO Sニッケルベレット（活性化されたもの）が使用されていると思われる。

4.2 デジタルレコード

デジタルレコードは絵と音あるいは音のみを再生するのに用いられ、これまでの溝付レコードに比べて再生の質は格段にすぐれたものである。デジタルレコードには、深さ0.1ミクロン、幅0.4~0.6ミクロン、長さはデジタル情報によって異なるが一般的に0.5~2ミクロンの浅い孔がラセン状に設けられている。間隔はわずか1.6ミクロンであるので、レコード一枚で約30kmのトラッ

クとなり約 3×10^{10} のビットが設けられ、これは約30分間のプレイに相当する。

デジタルレコードのシステムとしては、フィリップ、RCAそして日本ビクターの三方式が開発されている。これらの方式は全てプラスチックのディスクを使うが、検出方法は各社異なっている。

ビデオディスクの電鍍については、その詳細がSchneckによって報告されている¹⁷⁾。彼はスルファミン酸浴を用い銀コーティングしたガラスのマスターから0.18mm厚のスタンパーの製造について述べている。ニッケルの析出は二回に分けられ、第一層は $1 \sim 2.6\text{ A/dm}^2$ で行い結晶粒度を調整すると共に若干の引張残留応力を与える。第二層は若干の圧縮応力を残すようにし、全体として残留応力ゼロの最終製品が得られる。Schneckは、この精密電鍍を行うに当り、室内空気清浄化及び使用水の浄化が重要であると言っている。

前述したように、Schmitz他はフィリップス社の“レーザービジョン”ディスクの製造に関して詳報を出しており、スルファミン酸浴のNi-Speed組成を用い、ガラスマスターの銀めっき層を傷めないよう電流密度を 1 A/dm^2 から 30 A/dm^2 まで徐々に上昇させている⁹⁾。

SchmitzとVanHoekによってフィリップス社のレーザー読み取りシステムに使用される非球面レンズのモールドを電鍍で製造することが報告されている。このレンズは、これまでの4組の球面レンズを用いるシステムに替って使用され、非常に多くの約0.40ミクロンの開口部を持ち読み取り部分の保証値は0.9ミクロン以下である¹⁸⁾。

光学ディスクの製造には、硫黄活性タイプのニッケルが必要であるとRodiaは強調している。¹⁹⁾。通常の電解ニッケルでは不動態化のため液のバランスを乱し、ザラツキなどの不良の要因となる。

同様な光学ディスクは、Plasmon Data システムのコンピューターデータの永久保存用に使用されている²⁰⁾。表面コーティングされたディスクはマークされ、レーザーによる高速読み取りができる。

4.3 ホログラム

ビデオディスクと同様にホログラムは、電鍍で作られたモールドを薄膜にプレスすることによ

写真6 ホログラム表面のSEM写真 (6,000倍)
(インコフォーム社提供)

て大量生産されている。これらのモールドは、レーザー光用レジストを使用したマスターから作られる。ビデオディスクのトラックは小さな孔で成っているが、ホログラムのイメージは、深さと幅を変化させた線状溝からできている（写真6）。両者共、光学ガラス基板にレジストを用いて導電性のパターンを作ることは同じである。ホログラムの場合、この表面に約 1.0から1.25mm厚のニッケルを電鍍する。Cowanによればこの電鍍には、スルファミン酸浴が用いられ、低残留応力のめっき条件が用いられている²¹⁾。このニッケルマスターは、次の電鍍工程で反転される。ホログラムの製造のすべての工程には最大の注意が払われている。

ホログラムの現在の生産規模を示すのに、Le well の報告がある。これによるとある社では、エンボス法でこれまで4億枚生産しているとのことである。エンボス法は各タイプの商業生産に用

いられ、150mm×150mmのサイズまで製造できる。用途は音響レコードのスリーブ、本や雑誌のカバー、その他の証明書やクレジットカード等がある。（写真7と8）はパーミンガムの Incoformの提供によるホログラムの例を示す。

4.4 フォトレジストを用いた多孔板の製造

フォトレジストを用いてメッシュが電鍍で作られているが、これは電鍍産業の重要な部分を占めている。メッシュ製品の代表的なものは布地、カーペットおよび壁紙をプリントするのに用いられる回転印刷用のシリンダーである。これらの製造については、Schneiderによって説明されている²⁴⁾。通常のメッシュスクリーンに有機レジストを用いるのとは反対に、電形プラスチックのスクリーンプリントステンシルを電鍍する方法がSteppan他によって発表されている²⁵⁾。この方法は、フォトレジストをつけたスクリーンマンドレルを希望のパターンで露光し、導電粉を用いて、必要な部

写真7 ホログラムの一例

(AFTI Holoconcept, Paris社向けに
Light Impression Europe社が作成)

写真8 ホログラムの例 (同上)

分のみに導電膜を形成させるものである。マンドレルはそのまま電鋳めっきに用いられる。導電粉としては、二硫化モリブデン、導電カーボン粉あるいは、これらの混合粉が用いられる。このフォトレジストを用いて、多孔製品を電鋳で製造することについては、Qest の報告がある²⁶⁾。この報告で特に興味深いのは、そのコストである。デザイン、写光費すべてを含み50ケの製品を作るコストは約 1,000 ドイツマルクである。最大サイズは約 2.5m² で厚みは 5 - 300 ミクロンである。

マンドレルの製法として、一定の模様のあるガラスの上にフォトレジストと導電材として酸化インジウムを用いる方法がKeworthy とKozinski によって報告されている。このマンドレルは、精密メッシュを作るのに用いられている。

最も興味深い開発の一つは、厚いフォトレジストを用いて孔壁が垂直である厚肉メッシュを作る方法である。用途の一つは、バッテリー用の陰極板であり、マンドレルに 0.6mm 厚のレジストをつけるやり方をMearig が説明している²⁸⁾。

Johnson他はArmstrong World Industries社のフォトレジストを用い、 0.2 ± 0.025 mm の孔を0.5mm ごとに0.3mm の間隔でつけたニッケルチューブを電鋳で作っている²⁹⁾。このチューブの精密度はレーザーでせん孔したステンレスチューブよりも格段にすぐれている。

Becht他は、肉厚レジストをシンクロトロン放射によって塑性化し、ウランウム同位元素を分離するのに用いられるノズルを電鋳で作っている³⁰⁾。

基板にメタルが電析する場合、金属微小組織が形成される。ニッケルの組織の場合、300 ミクロンの深さまでは、絶対垂直度からのずれは、わずか0.05 ミクロンである。この電鋳においては、すべて塩素イオンフリーのスルファミン酸浴で、陽極にはINCO S ニッケルベレットが用いられている。

4.5 チューブ製品

チューブ状製品を電鋳で製造する際に問題になるのはめっき後のマンドレルの抜き取りである。一般にマンドレルの径が小さい程、この問題は大きなものとなる。

この解決に種々のすぐれた方法が開発されてき

ている。繰返して使用するマンドレルで径が38 mm 以下の場合、電鋳ニッケルチューブを取出すのにHerbertは65℃の電鋳液からすぐに4℃の冷水に全体を入れている³¹⁾。マンドレルが冷えれば電鋳品を抜き出すことができる。陽極は筒状バスケットを用いINCO S ニッケルラウンドを使用している。浴はスルファミン酸で、pHは3.8-3.9である。めっき温度、電流密度および適度なサッカリン等の添加物の使用は、応力-伸びのヒステリシスを少なくとも0.00015mm/mm 以下に抑えるように選択されている。Herbertは300mm長、25mm径のチューブの製造に非常に良い結果を得ている。

ニッケル電鋳によるガス-液クロマトグラフィー用の薄肉キャピラリー（毛管）の製造がPretorius他によって報告されている³²⁾。彼らは、5mのセルを作り、ニッケルベレットを陽極としてステンレス線の上に連続的にめっきを行っている。めっきされた線は、適当な長さにカットされ、30%伸ばしてニッケルチューブが引き出される。

X線装置用として、精密な形状、高い平滑性と反射性を得るため、Arnold 他は無電解ニッケルめっきでNi-Pをコーティングし更にダイヤモンド研削を施したアルミニウムのマンドレルに250 ミクロンのニッケルを電鋳している³³⁾。得られた250 ミクロンのニッケルチューブ内面の表面粗さは ± 0.05 ミクロンである。

Saxerはブレキシガラス（アクリル樹脂）のマンドレルを用いて肉厚70 ミクロンのニッケルチューブを作っている³⁴⁾。

4.6 航空機への用途

ニッケル電鋳の航空機関係での用途も広がっている。例として精密軽量な用途として電波ガイドとかアンテナがあり、またロケット燃焼室の埋込み冷却チャンネル等がある（写真9）。冷却チャンネルは金属表面に溝をつけ、ワックスを入れる。その上にニッケルを全体にめっきして最後にワックスを溶かし出す方法で作られる。この方法はまたSuchentrunkとGammel によって、ヨーロッパエアバスの尾翼各部の圧力と空気の流の関係を測定する空洞テストモデルを作るのにも用いられた³⁵⁾。エアバスのレーダーノーズは電鋳ニッケル

写真9 電铸によるロケット第三段燃焼室 (Asiane Socket)
(MBB社提供)

写真10 セミ楕円形ミラー
(インコフォーム社提供)

ルで作られ、長さ3,800mmのフェアリングである。耐摩耗シールドも電鍍ニッケルで作られている。軍用機の空気取入口のシールドについてはTuscherとSuchentrunkが述べている。ニッケルの厚みは各部分の仕様に合う様注意深くコントロールされている³⁷⁾。彼らはまた、ヘリコプターの羽根の耐摩耗シールドについても報告している。

一部丸蓋のついたもの、外側に長さ方向に溝がついたものあるいは、外部寸法精度が厳しい中空シリンダーの製造上の問題の解決については、Johnson他によって説明されている³⁸⁾。彼らはアルミのマスターの上に厚肉めっきをしてから4分割し、アルカリでアルミを溶かしてまず雌型マンドレルを作っている。これは重クロム酸で不動態化処理した後、内側にニッケルを電鍍するのである。

航空機及びその関連用に用いられるレプリカミラーは、研磨したステンレスのマンドレルに電鍍することによって経済的に作られる。これらのミ

ラーは非球面体、楕円形あるいは放物面体である。写真10はIncoformによって作られたセミ楕円形のミラーである。

4.7 その他の電鍍品

多くのプラスチックその他の材料に用いられる。インジェクションモルディング、回転鋳込、プレスフォーミング、ブローモルディングその他の金型に電鍍ニッケルが使用されている。写真11は最近の樹脂トランスファーモールドの例を示す。

高速のインクパルスエジェクター用に電鍍ニッケルで作られた長さ1mm、幅0.5mmの一方向バルブについて報告がある³⁹⁾。電鍍で作られたバルブによって完全なシールが得られている。

銅の下地めっきの上に銀あるいは金のめっきを行うのが主な装飾めっきであるスイスの時計工業でも、ニッケル電鍍が採用されている。Bloschは、精巧な時計の文字盤がポリスチレンのマンドレルの上にどのようにして電鍍され、そしてそれがいかに前衛デザイナーの夢を満足させているか

写真11 カヌーの櫂用のプラスチックトランスファーモールド電鍍金型

(インコフォーム社提供)

を説明している⁴⁰⁾。

参考文献

- 1) R. Suchentrunk ; Trans. Inst. Metal Finishing, 64 (1), 19-23, February 1986
- 2) W. R. Wearmouth ; Trans. Inst. Metal Finishing, 60 (2), 68-73, 1982
- 3) W. Metzger, L. Laser ; Galvanotechnik, 77 (12), 2985-2986, December 1986
- 4) R. J. Walter ; Plating and Surface Finishing, 73 (10), 48-53, October 1986
- 5) R. J. Lewis, R. J. Walter ; U. S. Patent 4,400,442 : 23 August 1983
- 6) G. A. Malone ; Proc. A. E. S. 71st Ann. Tech Conf, New York, Paper F 5, pp 1-14 ; 1984
- 7) G. A. Malone ; Plating and Surface Finishing, 74 (1), 50-56, January 1987
- 8) W. R. Wearmouth, R. C. E. Bishop ; Trans. Inst. Metal Finishing, 62 (1), 32, 1984
- 9) P. E. J. Legierse, J. H. A. Schmitz, M. A. E. van Hoek, S. van Wijngaarden ; Plating and Surface Finishing, 71, 20-25, December 1984
- 10) J. H. A. Schmitz, S. van Wijngaarden ; Galvanotechnik, 77 (1), 61-63, January 1986
- 11) J. H. A. Schmitz, S. van Wijngaarden, G. van der Hoorn ; Galvanotechnik, 77 (7), 1579-1582, July 1986
- 12) A. Mohan J. A. de Hek ; European Patent Application Ep 49022 A1, 7 April 1982
- 13) J. A. de Hek European Patent Application EP 79,642 A1, 25 May 1983
- 14) G. H. Morssinkhof, U. S. Patent 4,496,434, 29 January 1985
- 15) P. C. Jones J. P. McGrath ; Proc. 36th Ann. Conf. Australasian Inst. of Metals, pp 139-145, 1983
- 16) J. J. Hanak, P. Nath, M. Izu, et. al ; US Patent 4,530,739, 23 June 1985
- 17) R. W. Schneck ; Plating & Surface Finishing, 71, pp 38-42, January 1984
- 18) J. H. A. Schmitz, M. A. F. van Hoek ; Galvanotechnik, 78 (2), 385-390, February 1987
- 19) C. M. Rodia ; Proc. SPIE-Int. Soc. Eng, 529 (Opt. Mass Data Storage), pp 69-75, 1985
- 20) T. Osman ; Sunday Times Colour Supplement, pp 34-40, 2 February 1986
- 21) J. J. Cowan ; Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng, 240, pp 5-12 ; 1980
- 22) R. Edwards ; Proc. 70th Amer. Electroplaters Soc. Ann. Tech. Conf, Paper M 3 ; 1983
- 23) J. Lewell ; Audio Visual ; No. 169, pp 72-74, January 1986
- 24) K. Schneider ; Galvanotechnik, 77 (10) 2,440-2,441, October 1986
- 25) H. Steppan, B. Wildenhain, K. Ruckert ; U. S. Patent 4,401,520, 30 August 1983
- 26) J. Quest ; in book 'Galvanoformung' pp 96-99, pub. Eugen G. Leutze Verlag, 1986
- 27) J. S. Keworthy, T. G. Kosinski, U. S. Patent 4,549,939, 29 October 1985
- 28) S. C. Mearig ; Proc. Amer. Electroplaters Soc. 71st. Ann. Tech. Con, New York, Paper F 4, pp-14 ; 1984
- 29) H. R. Johnson et al ; Plating and Surface Finishing, 74 (1), 34-38 January 1987
- 30) W. Becht, W. Ehrfeld, A. Mauer, D. Schmidt ; Galvanotechnik, 77 (11), 2695-2703, November 1986
- 31) W. G. Herbert ; U. S. Patent 4,501,646, 26 February 1985
- 32) V. Pretorius, et al ; J. Chromatography of Inst, Chromatography, Univ. of Pretoria, Africa, 289, pp 17-29 ; 1984
- 33) J. B. Arnold, P. J. Steger, R. R. Wright ; U. S. Patent 4,374,002, 15

February 1983

- 34) W. Saxer ; Galvanotechnik, 77 (9), 2133-23
16, September 1986
- 35) R. Suchentrunk, F. Gammel ; Z. Werks-
stofftech, 14 (9), pp 298-305, 1983
- 36) R. Hentrich ; in book 'Galvanoformung',
pp71-74, pub. Eugen G. Leutze Verlag,
1986
- 37) O. Tuscher, R. Suchentrunk; Galvanotech-
nik, 77 (7), 1558-1567, July 1986

貴社の信用と繁栄を守る高精度の膜厚計

コークール(電解式)メッキ膜厚計
EF-1000, G-07, GP-08

蛍光X線非破壊膜厚計
EX-8000

ベーター線式非破壊膜厚計
ベーターテクノスター BTC-55

上記の他にもあらゆる測定器がございます。 器種を選定する前に一度御相談下さい。

膜厚計の総合メーカー・販売輸出・米国コークール社・英国エルコメーター社総輸入元

電 測 工 業 株 式 有 限 公 司
ELEC FINE INSTRUMENTS CO., LTD.

東京都中野区中央2-31-5 電話(03)365-0861(代) ファックス(03)371-1287 テレックス232-3181
※デモが必要な場合は御遠慮なくお申しつけ下さい。