

## スルーホールめっきプリント回路板の開発と実用化

Development of Printed Circuit Board by New Type Through-hole Plating Method

新井 衡\* 原 田 文 雄\*  
Mamoru Arai Fumio Harada井 上 肇\* 松 本 順\*  
Hajime Inoue Jun Matsumoto

## 要 旨

テレビなどの民生機器に適用し得る片面スルーホールめっきプリント回路板の製造方法、すなわち印刷、穴あけ、めっきなど従来のスルーホール法と異なった方法の、概要、問題点、性能などについて述べる。

## 1. 緒 言

銅張積層板（以下CCLと称す）が電子機器部品に使用されて以来、プリント回路板（以下基板と称す）は製品の小型化、大量生産化および部品組込作業の単純化などから、電子計算機や各種通信機器をはじめ、テレビ、ラジオなどの民生機器にまで広く用いられるようになった。このように基板の用途が広がるにつれ、当初はラジオなどの一部に片面銅ハクのCCLが用いられていたただけであったものが、その後両面銅ハクのCCLや多層基板が用いられるようになった。基板が両面化、多層化するにつれて両面回路や多層の内層回路と外層回路とを接続するために、はどめやスルーホールめっきが行なわれるようになった。

特にスルーホールめっきは多層基板の出現により急速に用いられるようになった方法であり、その工程にはNC付高速ボール盤によるスルーホールめっきのための穴あけ法、写真焼付けによるパターン形成法や金めっき膜またははんだめっき膜をエッチングレジストとするエッチング法などが用いられている。しかしこれらを採用した加工法の製造原価はかなり高く、生産性も比較的低い傾向のために、テレビなどの民生機器には適用されていないのが実情である。

テレビに使用される基板はほとんどが片面基板であり、エッチング法により製造されている。しかしエッチング法により製造される基板は部品組込作業のさい、部品リード線を折り曲げないとルーズはんだ不良を発生する危険性があり、そのために部品組込はんだ付け作業に修正工程がおかれている。この修正作業は多数のはんだ付け箇所を補修しなければならない、そのため修正漏れを生ずる危険性があった。ルーズはんだ不良はテレビの重要事故につながるものであるため、これの絶滅が要求され、このはんだ付け性を改善するために前述のようなはどめやスルーホールめっきが着目されるようになった。

しかしテレビに使用される基板は穴数も多く、また生産量も大きいのはどめは不向きとされ、そのためにスルーホールめっき法の適用がクローズアップされてきた。しかしながら多層基板や両面基板に用いられているスルーホールめっき法をそのままテレビなどの民生機器の基板に適用することは、量産性、製造コストなどの点から不適當であったので、多層基板などに要求されているスルーホール特性と、テレビ用基板などの片面基板に要求されているスルーホール特性との差異に着目し、日立製作所独自の高信頼性を有し、しかも従来のスルーホールめっき法に比べ低コストで量産性ある、新しいスルーホールめっき基板の製造法（以下新工法と称す）を確立し、実用化に成功した。

## 2. 新工法と従来法との比較

基板の従来加工法として、テレビなどの基板に採用されているエッチング法および両面基板などに行なわれているスルーホールめっき法については既によく知られているので<sup>(1)</sup>、ここではこれらの概略工程について述べ、新工法との比較を行なうことにする。

従来のエッチング法の概略工程およびその工程における基板の断面図は図1に示すとおりである。図に示すようにエッチング法はCCL銅ハクをエッチングすることにより回路を形成し、最後に穴あけを行なう方法である。

両面基板などに用いられているスルーホールめっき法の概略工程およびその工程における基板の断面図は図2に示すとおりである。図に示すように従来のスルーホールめっき法は、まずめっきに必要な穴をあけ、化学銅めっきで穴内を導電化し、ついで電気銅めっきで所定の厚みとなし、金めっきなどで回路を形成し、最後にエッチングする方法である。

これに対して新工法の概略工程およびその工程における基板の断面図は図3に示すとおりである。新工法は図3に示すように従来のエッチング法に日立製作所独自の方法<sup>(2)(3)</sup>を組み合わせた新しいスルーホールめっき法で、あらかじめ回路を形成したのち、めっきする穴をあけ、化学銅めっきで導電化し、必要部分のみに電気銅めっきを行ない、銅めっきのみでスルーホール化する方法である。

この新工法によって製作した基板と従来のエッチング法によって製作した基板とに部品を組み込み、はんだ付けした断面図は図4に示すとおりである。図に示すようにエッチング法による基板ははんだ付け部分が表面銅ハク部のみのため、部品リード線を折り曲げずにはんだ付けするとルーズはんだ不良を起こす危険性がある。これに比べ新工法による基板は穴内に銅膜が形成しているためはんだが穴内にもはいる、はんだ付け面積も大きくはんだ付け信頼性が向上

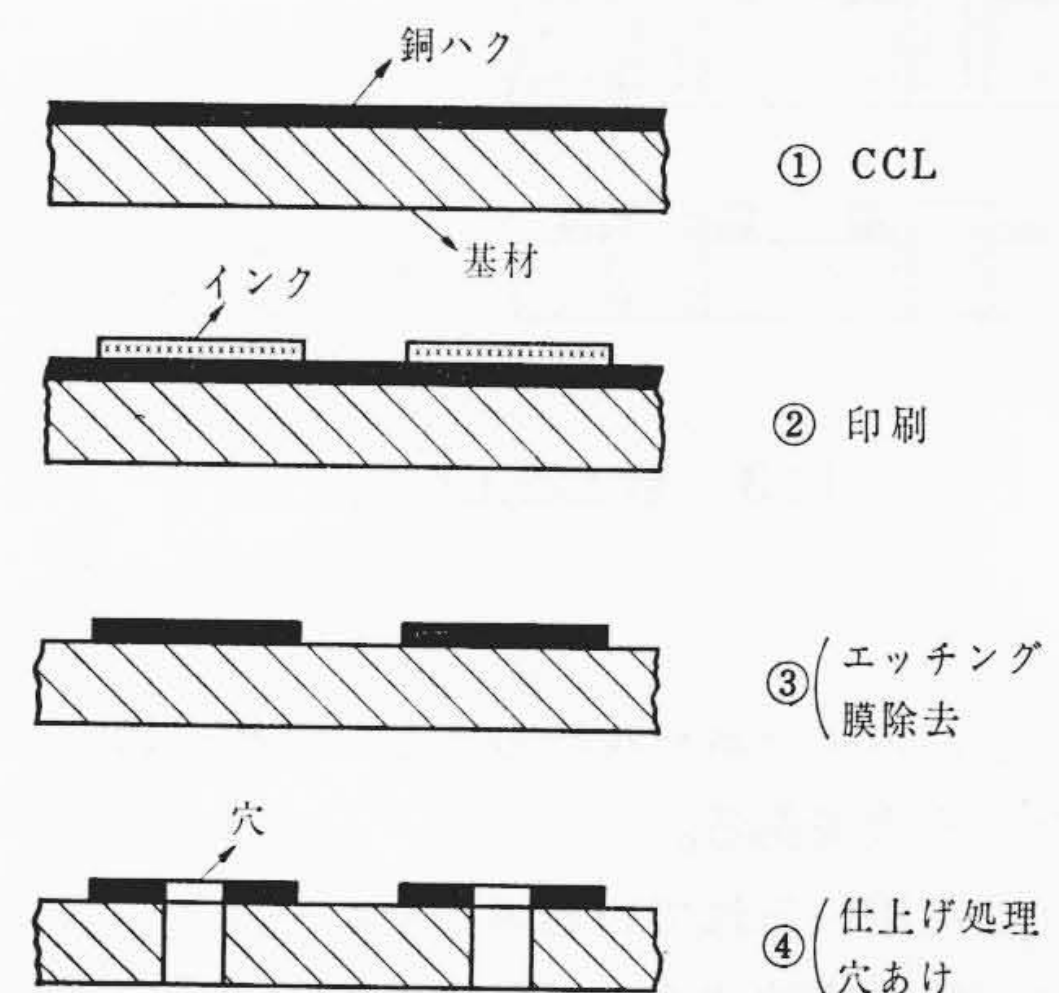


図1 従来エッチング法工程概略図

\* 日立製作所横浜工場

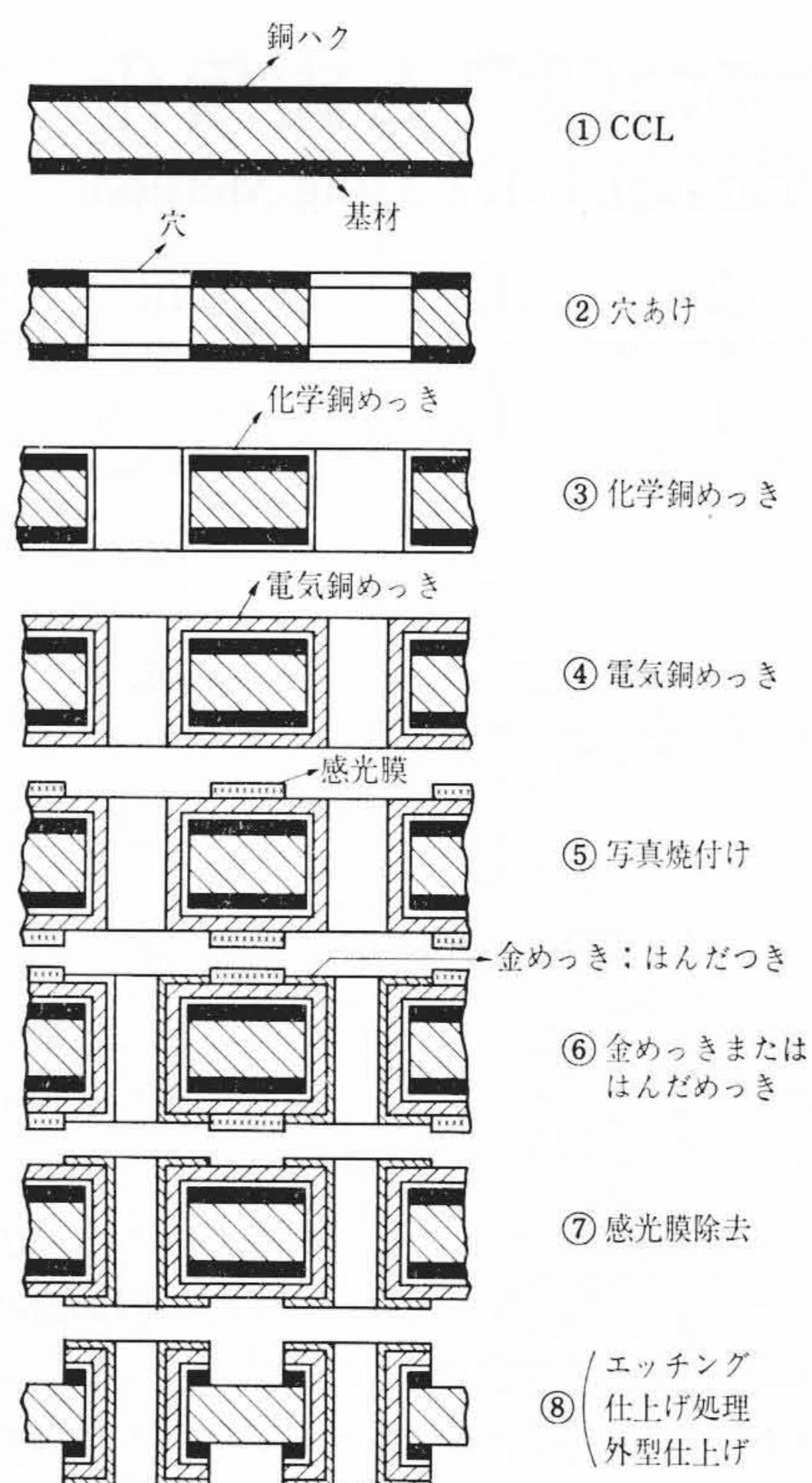


図2 両面スルーホール法工程概略図

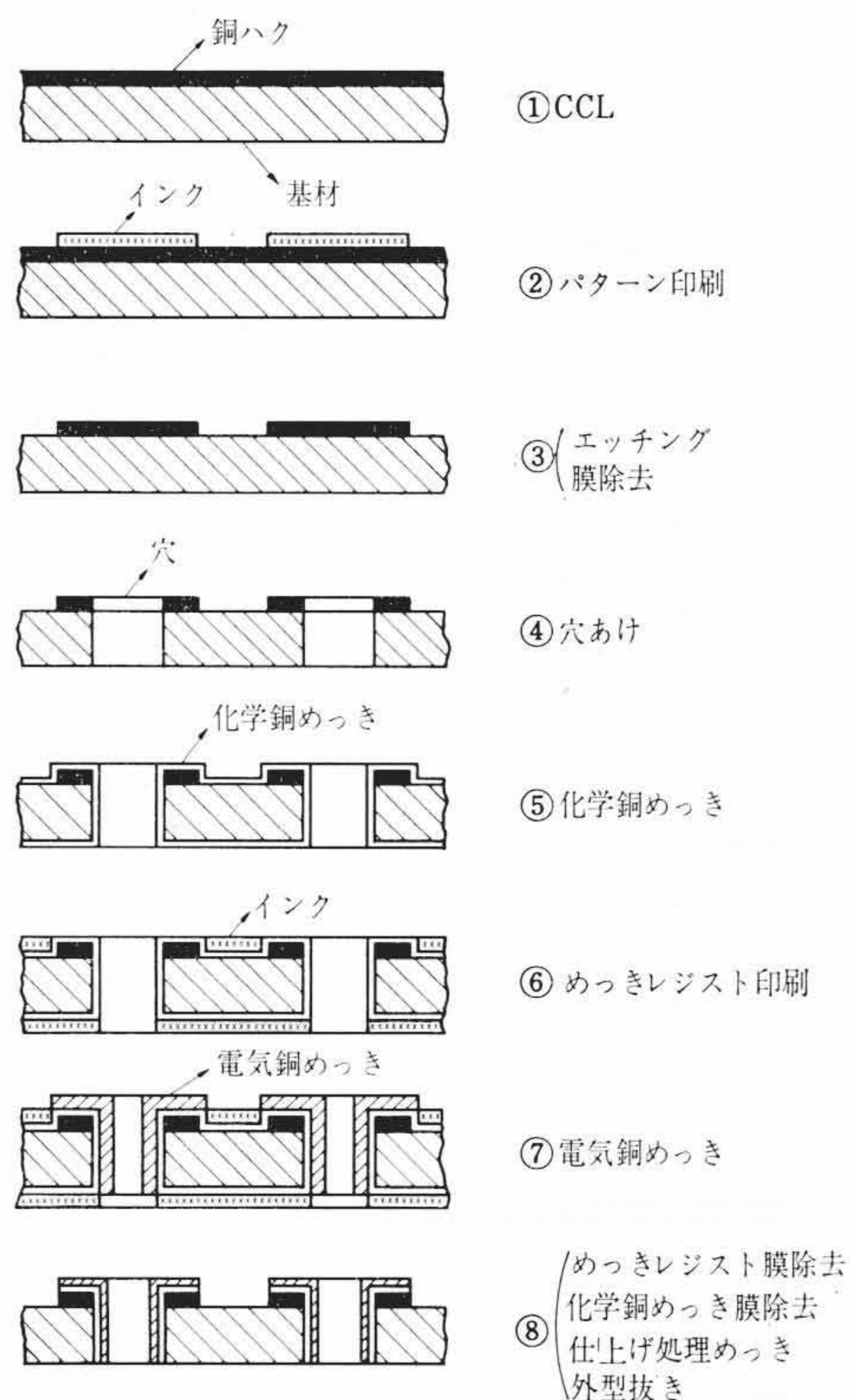


図3 新工法工程概略図

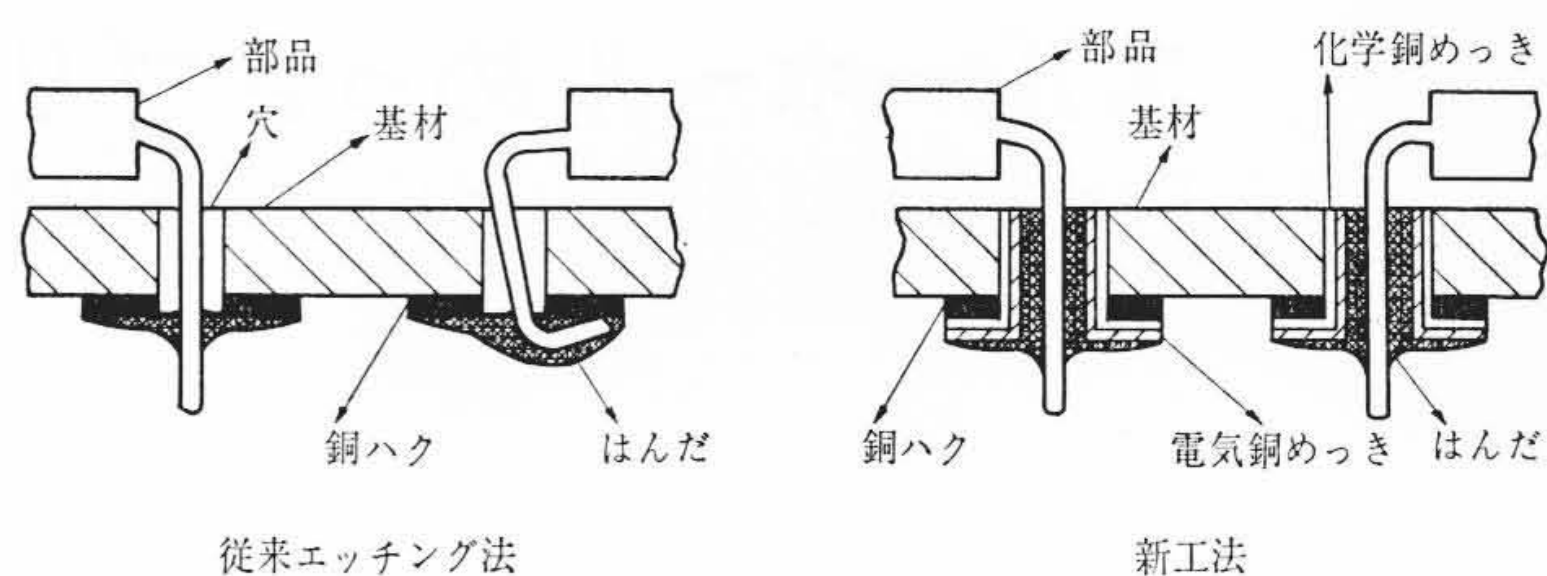


図4 部品組込はんだ付け断面図

どに用いられる片面基板のスルーホールめっきははんだ付け信頼性向上が目的であるため、使用基板材料、穴内面あらさなどは両面基板ほどの高精度は要求されず、紙基材フェノール樹脂CCLが材料として使われ、プレスによる穴あけが可能である。

以下テレビ用基板にスルーホールめっきを適用した検討経過について工程に従って述べる。

### 3. パターン印刷およびエッチング

#### 3.1 パターン印刷

従来のスルーホールめっきの場合パターン形成のためのマスキングには写真法が用いられている。これは多種少量生産にはよいが、テレビなどの多量生産の場合には不適當であり、そのため新工法では従来のエッチング法の印刷に用いられているスクリーン印刷法を採用した。印刷インクについては従来のエッチング法では有機溶剤溶解タイプのインクが用いられていたが、最近アルカリ溶液溶解タイプのインクが出現し設備も簡略化できる可能性があるため、これを検討し作業性もよくパターン精度も従来のものと変わらないため、アルカリ溶液溶解タイプのインクを採用した。

#### 3.2 エッチング

従来のスルーホールめっき基板のエッチングは金めっき膜またははんだめっき膜をエッチングレジストとして行なわれている。しかしテレビ用基板は原価面から銅のみで回路形成が要求され、しかもはんだ付け信頼性の面から化学銅めっきと電気銅めっきとの併用法がとられるため、従来のスルーホールめっき基板と同じ方法でエッチングすることはできない。そこで種々の方法を検討し、従来のエッチング法と日立製作所独自<sup>(2)</sup>の方法とを組み合わせ、インクによる印刷膜をエッチングレジストとして用いる方法を採用し、金めっきやはんだめっきを使用せず、前述のパターン印刷によりCCL上の必要部分にマスク印刷を行ない、塩化第二鉄液により不要部分の銅をエッチングする方法とした。

### 4. 穴あけ

スルーホールめっきを行なうためにあらかじめ必要な穴をあけておかなければならない。従来のスルーホール基板の穴あけには高速ボール盤によるドリル穴あけ法が用いられているが、テレビ用基板にはその穴数および生産量からみて不適當である。そこで従来のエッチング法と同じくプレスによる穴あけ法が考えられた。しかし穴内面に片面基板として所要のスルーホールめっき膜を形成させるには穴内面あらさを $50\mu$ 以下に押えなければならない。従来のエッチング法に用いられているプレス法は加熱した材料を単一ポンチとメガタよりなる穴あけ法で、純粹せん断の条件が実現されていないため穴内断面は図5に示すようにせん断部と二次割れによる破断部とが混在し、その面あらさは $150\mu$ 以上になっている。面あらさ $50\mu$ 以下で穴あけする方法としては

(1) 高速ドリル加工

する。このようにスルーホールめっきした基板ははんだ付け信頼性に寄与するところ大である。

両面基板などに用いられているスルーホールめっきは、穴を通して両面などの回路を接続するのが目的である。そのため使用基板材料、穴内面あらさなどに高精度が要求される。これに比べテレビな

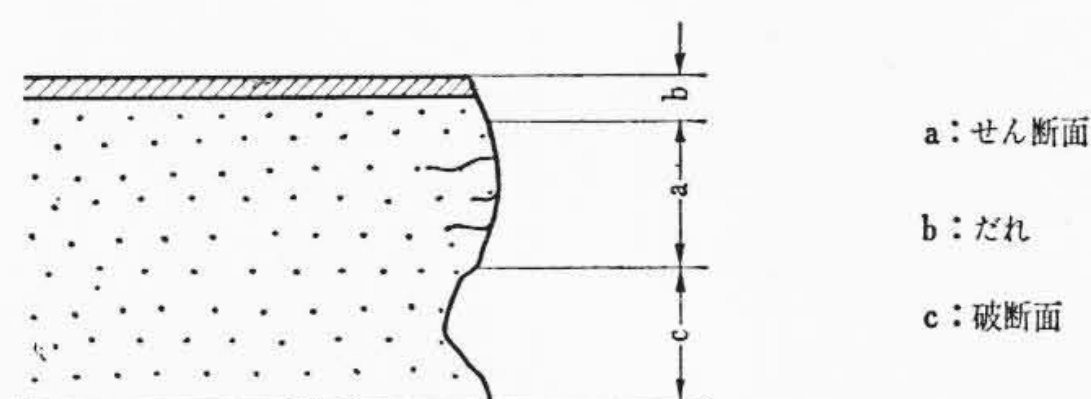


図5 切口断面説明図

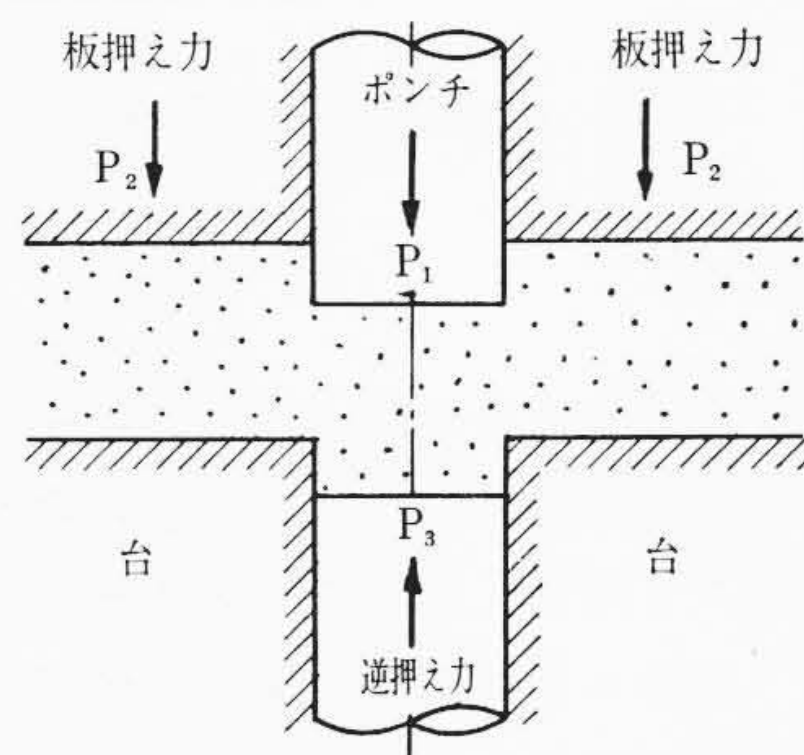


図6 ファインブランキング力説明図

- (2) クリアランスを小にした単一ポンチとメガタによる精密打ち抜き
- (3) 打ち抜き特性の良い材料の選択
- (4) ファインブランキング法の応用<sup>(4)~(6)</sup>

などがあげられる。(1)については前述したようにテレビ用基板には不適當である。(2)については穴内面あらさは最大 $50\mu$ と満足する値を保つが、穴の周囲 $1\sim 2\text{ mm}$ 幅が白くなる白化現象が起こり、穴相互間に亀裂(きれつ)ができるので採用できない。(3)については従来テレビ用基板に熱間打抜材を用いているが、これを樹脂分の多い冷間打抜材に代えれば比較的容易に打ち抜けるが、材料費が高くなり採用できない。結局、残る(4)の方法、すなわち若干の設備投資が必要であるがファインブランキングを熱間打抜材に適用できれば(3)などの方法に比較してじゅうぶんメリットがあることからファインブランキングによる穴あけ法の適用を試みた。

#### 4.1 打ち抜き条件

金属材料においてはファインブランキングがすでに実用化されているが、CCLは脆(ぜい)性を有する複合材料であり、しかも異方性を有するため等方性における条件がそのまま適用できるか否かは不明であった。さらにせん断輪郭と直角方向に静水圧を働かせる方法として金属材料の場合にはV型エッジを打ち込むが、基板材料にはV型エッジを用いることができない。

図6は力の説明図を示したものである。われわれの実験結果から穴内面状態を左右する因子は、板押え力およびそれと逆押え力との交互作用であることが判明し、それぞれの関係が

$$P_2 = 0.6 P_1$$

$$P_3 = 0.5 P_1$$

のとき良好な穴内面が得られる。穴径 $1.0\text{ mm}$ 、板厚 $1.4\text{ mm}$ のとき穴内面あらさは $20\mu$ である。クリアランスについては $0.015\text{ mm}$ 以下では有意差はみられない。しかし製品の大きさ、穴数、型精度を考慮するとクリアランスはできるだけ大きいことが望ましい。

板押え力および逆押え力は一般に知られている金属の場合より相当大きな力を必要としている。またポンチ $P_1$ の計算に用いられるせん断力についてもCCLを温間で打ち抜く従来のせん断力の2倍となる。

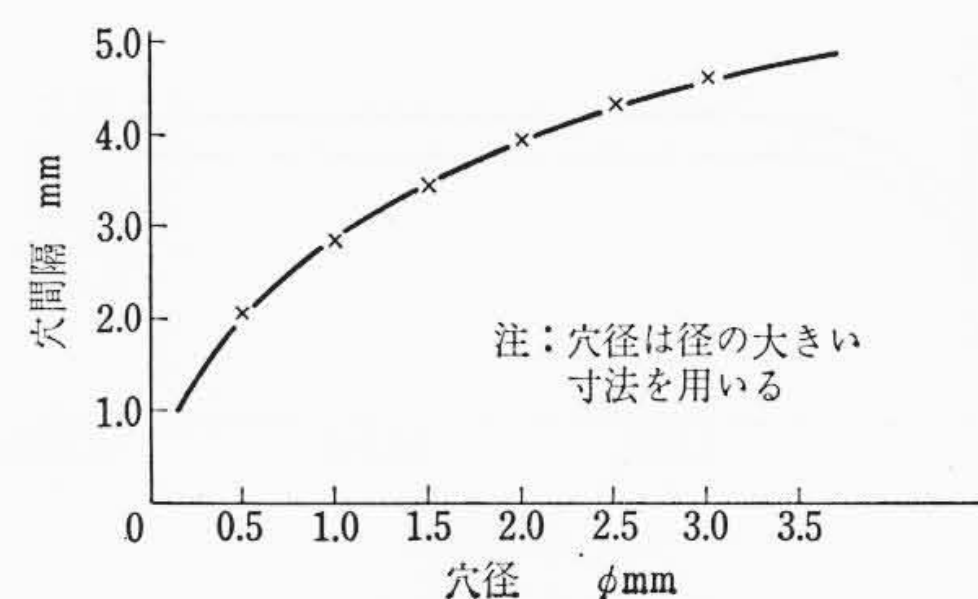


図7 穴径と穴相互間隔

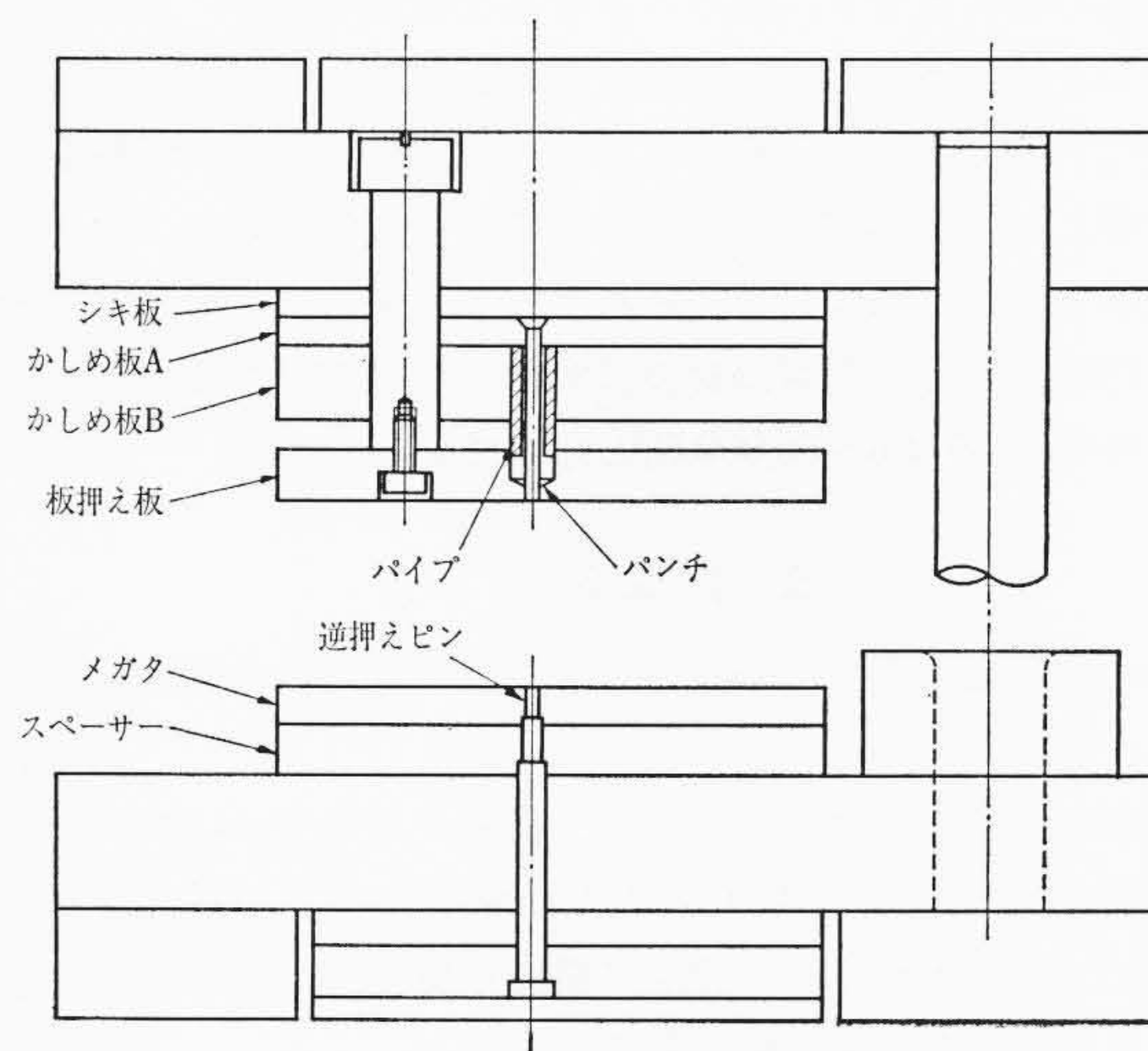


図8 ファインブランキング型断面図

打抜時に必要とするこれらの条件が満足しておれば、すべての穴の打ち抜きが可能かという点必ずしもそうではなく、製品設計者にとっては最小穴相互間隔に制約を受ける。特に穴ピッチが接近した場合は白化現象や穴相互間亀裂発生などの原因となる。板押え力を最も有効に働かせる最小穴相互間隔は図7に示すようになる。

#### 4.2 型構造と製作方法

ファインブランキングの型の断面図は図8に示すとおりである。板押え力および逆押えピンなどの材質、寸法については打抜パラメータを考慮し、じゅうぶんに剛性を保った構造にする必要がある。パンチについては、かしめ部を太くした二段三段形状の抜き矢よりピアノ線材を用いたストレート形状のほうが型寿命上すぐれている。矢径 $1.0\text{ mm}$ のストレート矢を用いると矢の座屈および厚板かしめ板穴あけ加工に問題を生ずるため、図8のようにかしめ板を2枚にわけ、位置決め用にかしめ板A、板押え板およびメガタを使い、かしめ板Bはパイプをパンチにそう入することにより厚板の小穴あけをさけ穴あけ精度向上を図ると同時に、パンチ座屈を防ぐ必要がある。板押え力およびメガタなどの穴あけに関しては精度保持の点からストレートドリルを用いた板厚を $10\text{ mm}$ 以下にしなければならない。

この型による打抜作業にはパンチ、板押え板および逆押えピンにそれぞれ独立に力が働く機構を備えたファインブランキングプレスを用いた。

#### 4.3 型保守と製品精度

打ち抜かれた穴内面あらさは $18\sim 24\mu$ の範囲にある。穴内面あらさが打抜き枚数により変化する割合を示すと図9になる。約2,000回まではあらさが悪くなるが、それ以後は一定値に落ち着く。この傾向は従来のプレス穴あけ法のパンチ摩耗状況と類似している。

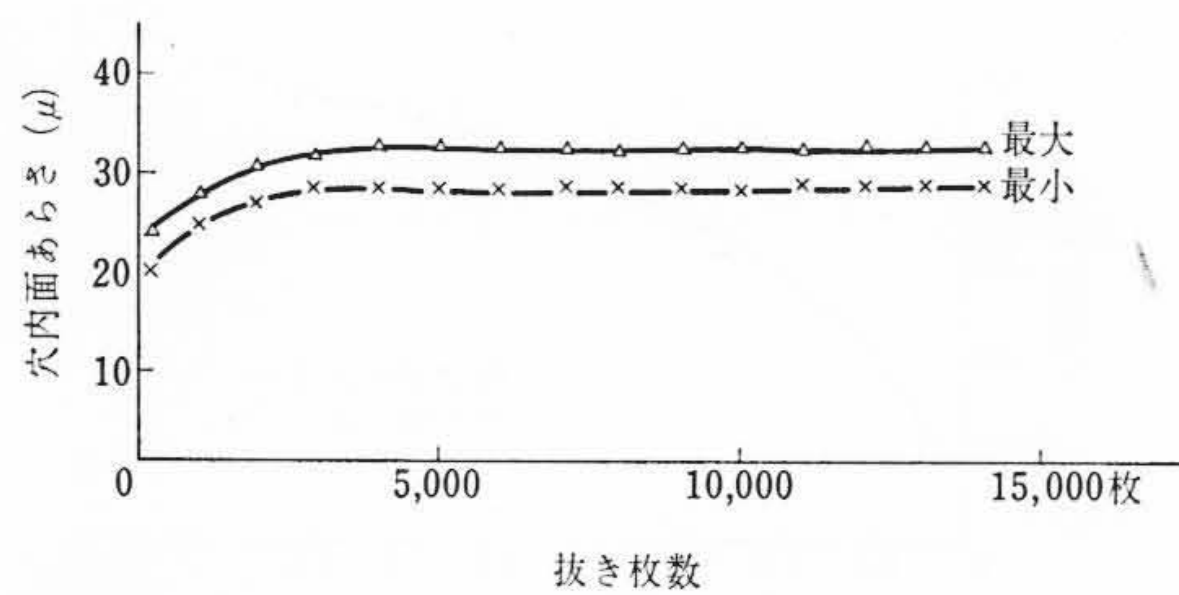


図9 抜き枚数と穴内面あらさ

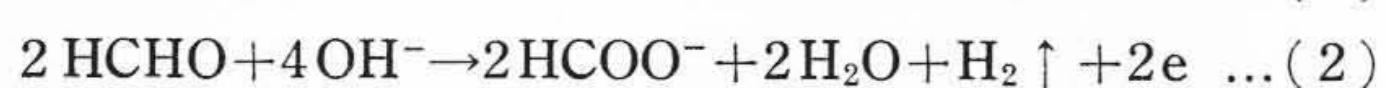
新たな問題として、打抜時に微粉が発生し、これがメガタと逆押えピンとの間にたまり、型のスムーズな稼働を妨げ、15,000回で型を掃除しなければならなかった（このときをもって第一次寿命としている）。打抜状況から判断して粉の発生は防げないが最小にする方法を考えねばならない。原因として上下型の精度およびメガタ内面仕上がり状況の二つが考えられ検討の結果第一次寿命は25,000回となったが、さらに型寿命を伸ばすため検討中である。なお刃付けまでの寿命は45,000～50,000回となっている。

### 5. 化学銅めっき

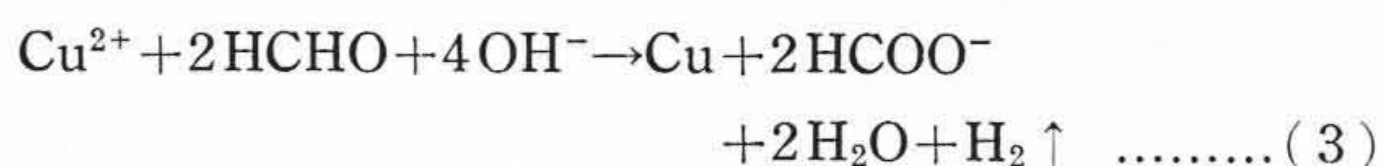
穴あけされた基板は化学銅めっきによって穴内に銅膜を形成し、導電化される。

化学めっきとしては古くから銀、ニッケルなどが知られているが、昭和38年ごろプラスチック上へのめっきが行なわれるようになって、化学銅めっきが急速に発展し現在では化学銅めっきが化学めっきの主流となった観がある。

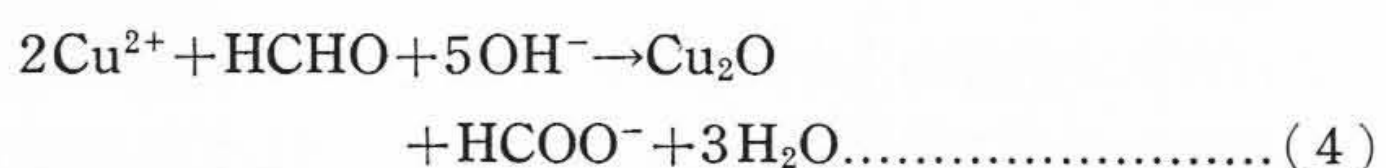
化学銅めっきの原理は、銀、ニッケルなどの場合と同様に酸化還元反応であり、その詳細については幾つかの文献があるが<sup>(7)</sup>、基本的には溶液中の金属イオンがほかから電子を受け取り、金属となって析出するものであり、還元剤が電子の供給源である。これを化学式で示すと次のようである<sup>(8)~(10)</sup>。



すなわち



基板のスルーホールめっきもプラスチック上へのめっきと時期をほぼ同じくして脚光をあびた方法で、絶縁材である基材にあけられた穴を導電化するために化学銅めっきが用いられている。しかし化学銅めっきの析出速度は電気銅めっきのそれに比べるとかなりおそく、また前述(3)の反応による銅のみでなく下記(4)に示す亜酸化銅を含む可能性があり、これがはんだ付けのさい悪影響を及ぼすことも考えられ、化学銅めっきのみでスルーホール化する方法はほとんどとられていないのが実情である。



化学銅めっき液およびその前処理については種々の文献もあり、また市販もされているのでこれらを参照されたい。なお、化学銅めっきの概略工程は図10に示すようで、これは従来のスルーホールめっきの場合もテレビ用片面スルーホールめっきの場合も同じである。

### 6. めっきレジスト印刷

化学銅めっきは穴のみでなく基板全体に析出する。次に電気銅めっきで穴内を所定の厚みとするが、化学銅めっきされたままめっきすると全面にめっきがされてしまい、回路形成に金めっきまたは

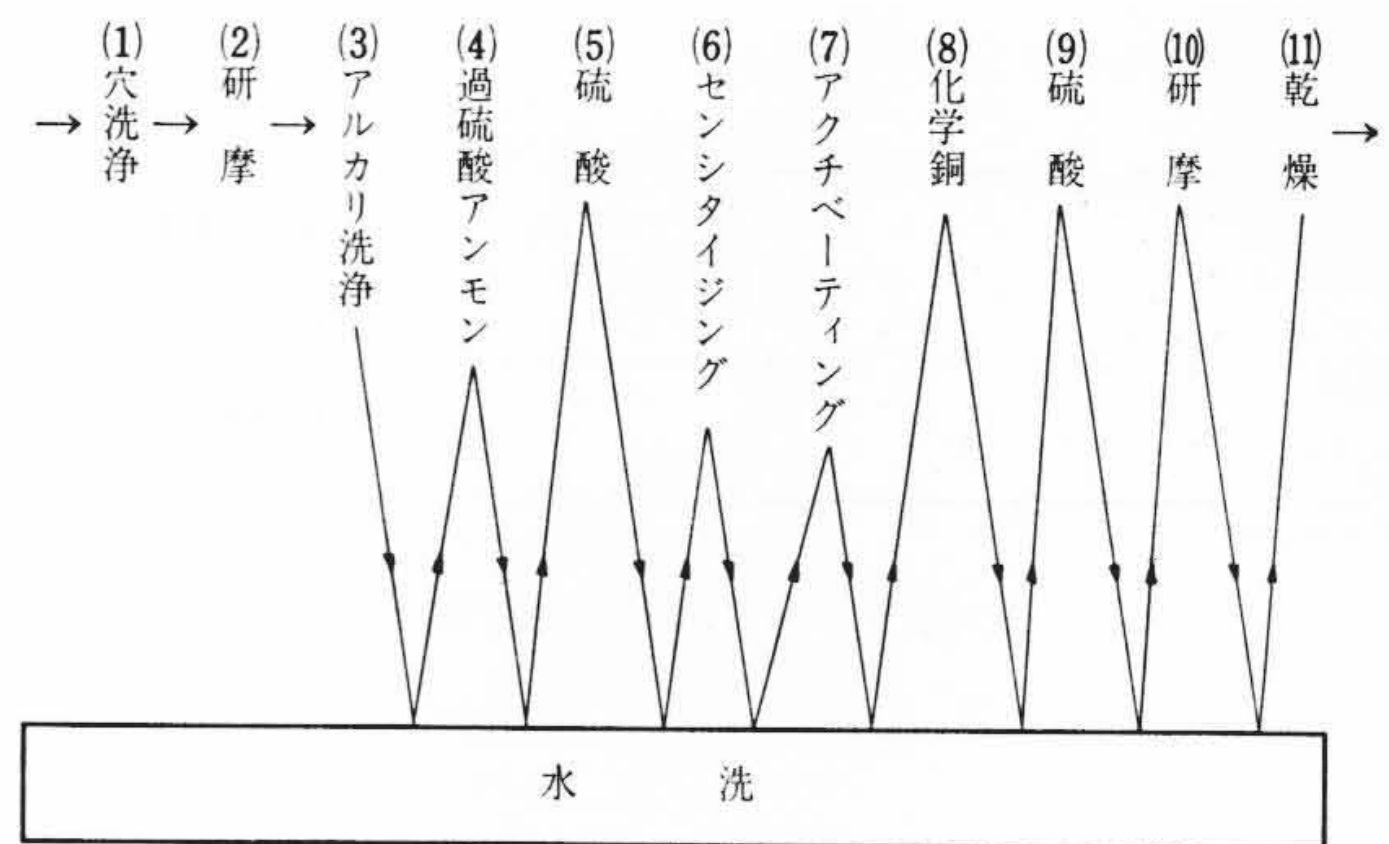


図10 化学銅めっき工程

はんだめっきを用いなければならないため、めっき不要部にマスキングを行なう。この工程をわれわれはめっきレジスト印刷と称しており、前述のパターンと同じくシルクスクリーン印刷法を用いた。これは写真法のようにめっき面に感光膜が残存することなく、またレジスト膜を厚く形成できるため不要部にめっきが析出することがほとんどない。

めっきレジスト印刷のインクも前述のパターン印刷のインクと同様にアルカリ溶液溶解タイプのインクが考えられたが、後述するようにスルーホールめっきの電気銅めっきには一般にピロリン酸銅浴が用いられ、これが弱アルカリ性のため、実用に値するインクがほとんどなく、あっても印刷膜が弱くマスク膜上にめっきが析出するなど、有機溶剤溶解タイプに及ばない。しかしアルカリ溶液溶解タイプのインクが使用できればめっき後のマスク膜除去後は水洗のみで次工程に進み、除去工程設備が簡略化できる利点がある。後述するように新工法は電気銅めっきに硫酸銅浴を採用したため、パターン印刷と同じくアルカリ溶液溶解タイプのインクを使用することができる。

### 7. 電気銅めっき

不要部をマスクされた基板は電気銅めっきにより所定の厚みにされる。

スルーホールめっきに使用される電気銅めっき浴としてはピロリン酸銅浴、硫酸銅浴、硼弗化銅浴などがあるが、めっきのつきまわりや析出速度などの面でピロリン酸銅浴がすぐれているとされており、従来のスルーホールめっきにはピロリン酸銅浴が使用されている。しかしピロリン酸銅浴中のピロリン酸、アンモニア、光沢剤などは簡易な分析管理だけでは浴を維持することができないといわれ浴管理の面では問題がある浴とされている。そこでわれわれは管理面でもっとも容易である硫酸銅浴の検討を行ないその適用を図った。

新工法における電気銅めっきの目的は穴内壁に析出した化学銅膜上にはんだ付けするにじゅうぶんな銅膜を形成することにある。これは一般の化学銅めっきでははんだ付けに耐えられる厚みが得られず、また化学銅めっきのみで所定の厚みにするためには長時間めっきせねばならず、量産上設備上また性能上からみて無理であるためと、部品そう入時にリード線により穴内銅膜に傷が付きはんだ付け性が低下する危険性を除去するためとである。

一般に硫酸銅浴は均一電着性などがピロリン酸銅浴に比べると若干劣るといわれているが、浴管理と作業性が容易であることに着目し、この両者の比較検討を行なった。検討項目に

- (1) 平板の厚み分布
- (2) 表面と穴内との厚み差

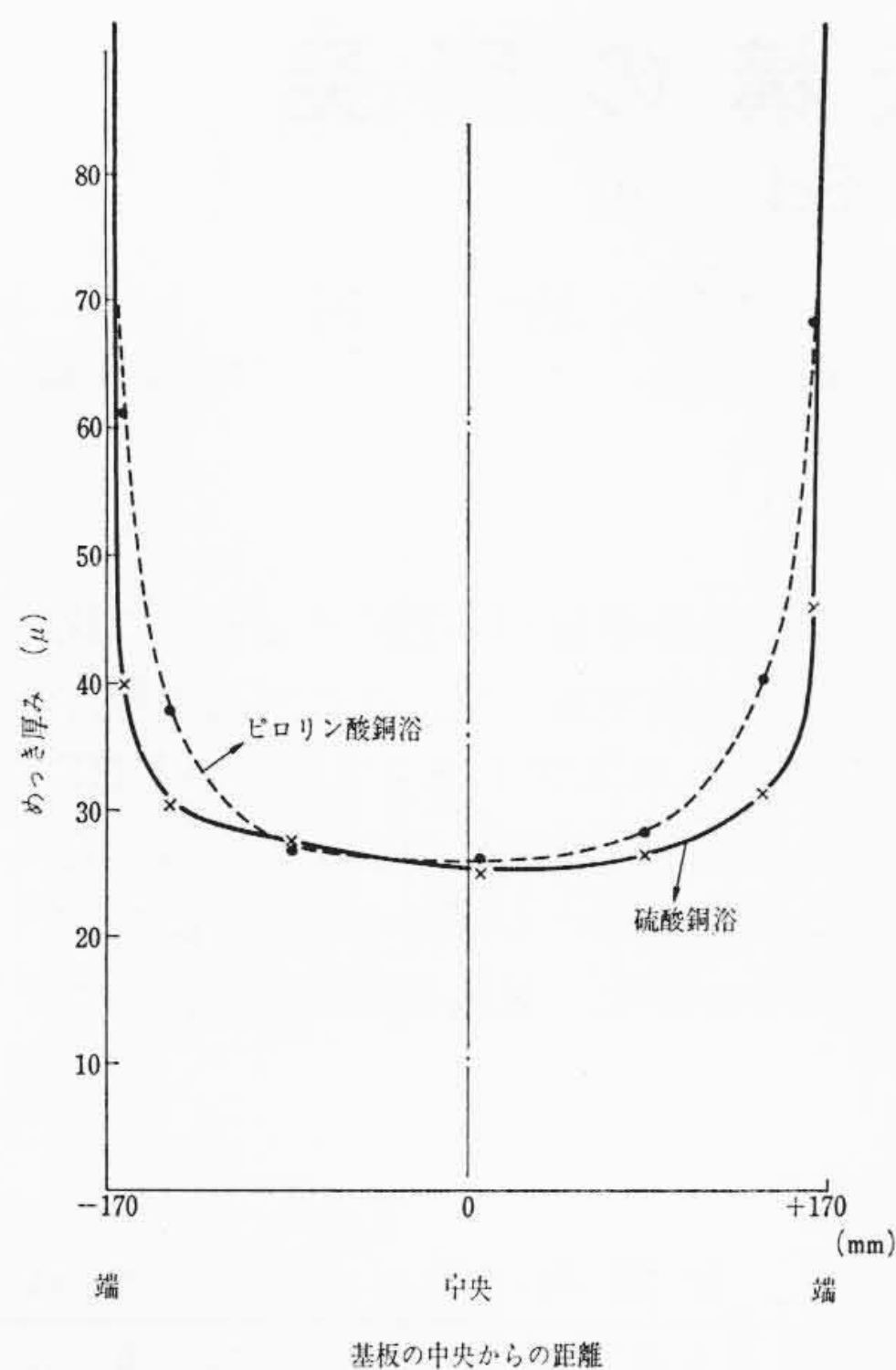


図 11 平板の厚み分布図

表 1 穴内めっき厚み比  
(測定値=穴内厚み/表面厚み)

|         | N  | $\bar{X}$ | R   | $\sigma$ |
|---------|----|-----------|-----|----------|
| ピロリン酸銅浴 | 7  | 0.61      | 0.3 | 0.10     |
| 硫酸銅浴    | 11 | 0.63      | 0.4 | 0.12     |

注：穴径/板厚=0.7

をとった。(1)の結果を図 11 に、(2)の結果を表 1 に示した。前述したように硫酸銅浴は均一電着性が劣る結果として端部が極端に厚くなり、表面と穴内との厚みに著しい差を生ずる傾向にある。しかし図 11 に示すように平滑面の大きいものの厚み分布は硫酸銅浴のほうが望ましい形をしている。また表 1 に示すように表面と穴内との厚み差はほとんどなく、硫酸銅浴が使用可能と判明した。

8. 後 処 理 工 程

電気銅めっきされた基板はめっきレジスト膜を除去し、不要部の化学銅めっき膜を除去する。次いでソルダーレジスト印刷、表示印刷などをなし、外型を打ち抜いてテレビ用スルーホールめっき基板が完成する。

表 2 特 性 試 験 結 果

|       | 接着強さ<br>(kg/cm) | 耐はんだ性<br>(at 240℃<br>(s) | 絶縁抵抗<br>(MΩ)                           | 吸 水 率<br>(%) | 誘電正接<br>(at 1 MHz) | 誘 電 率<br>(at 1 MHz) |
|-------|-----------------|--------------------------|----------------------------------------|--------------|--------------------|---------------------|
| 新 工 法 | 1.91~2.06       | 50~83                    | $8 \times 10^2 \sim 2.5 \times 10^3$   | 0.29~0.40    | 0.052~0.060        | 5.9~6.3             |
| 従 来 法 | 1.80~2.24       | 32~79                    | $3.8 \times 10^2 \sim 2.5 \times 10^3$ | 0.29~0.39    | 0.051~0.059        | 5.7~6.2             |

表 3 リード線引抜試験結果

|       | 強 度 (pg) | 現 象           |
|-------|----------|---------------|
| 新 工 法 | 6.2~7.8  | リ ー ド 線 切 断   |
| 従 来 法 | 3.6~5.5  | 銅ハク剥離し、リード線抜け |

9. 新工法による基板の性能

新工法によるスルーホールめっき基板はテレビセットにおいては従来のエッチング法による基板と同等以上の性能が要求され、特に電気的特性および機械的特性についてはスルーホールめっき処理による劣化があってはならないとされている。

おもな特性について測定した結果は表 2 に示すとおりである。またはんだ付けしたリード線の引抜試験の結果は表 3 に示すとおりである。表 2 および表 3 に示すように新工法は従来のエッチング法と特性は変わらず、はんだ付け強度は向上している。また新工法の基板をテレビセットに供給したところ、ルーズはんだ不良率は従来の 1/30 となった。

10. 結 言

穴あけにファインブランキング法を用い、印刷にスクリーン印刷法を用いた、高信頼性、低コストの新工法が確立され、テレビ用基板に適用できた。これにより従来のスルーホールめっき基板に比べコストは約 1/10 となり、従来のエッチング法に比べ若干のコストアップにはなるがはんだ付けの信頼性が著しく向上しスルーホール化のじゅうぶんなる効果が得られた。

参 考 文 献

(1) 日本プリント回路工業会：新しいプリント回路技術(昭 41, プリント回路ジャーナル出版部)  
(2) 特許 553, 924  
(3) 森下ほか：日立評論 47, 1274 (昭 40-7)  
(4) 北条, 木下：精密機械 27, (12), 1 (昭 38)  
(5) 関, 鶴木：プレス技術 18, (2), 69 (昭 45)  
(6) 北条, 吉田：精密機械 30, (11), 6 (昭 39)  
(7) E. B. Saubestre: AES Technical Proccedings 46, 264 (1959)  
(8) J. T. Tillery: Trans, Inst. Metal Finishing 40, 28 (1962)  
(9) R. M. Lukes: Plating 51, (11), 1066 (1964)  
(10) 中村, 斎藤：金属表面技術 16, (12), 546 (昭 40)