

自動車用高信頼性ハイブリッドIC

High-Reliability Hybrid IC for Automobile Use

富永 昭文 ⁽¹⁾ Akifumi Tominaga	岩本 弘 ⁽²⁾ Hiroshi Iwamoto	岸本 悟 ⁽³⁾ Satoru Kishimoto
一津屋 正樹 ⁽⁴⁾ Masaki Hitotsuya	野口 高広 ⁽⁵⁾ Takahiro Noguchi	岩淵 利政 ⁽⁶⁾ Toshimasa Iwabuchi

要 旨

自動車の電子制御化は、急速な進展を続け、エンタテインメント機器から、エンジン制御システムに代表される機関・駆動制御システムまで、多岐にわたり高度化の一途をたどっている。

当社では、大規模化するこれらの電子制御ユニット（以下・ECU）の小型化・信頼性の確保、そして迅速な新規開発計画への対応を目的として、ハイブリッドIC（以下・HIC）の内製化を行い、計画・設計・生産・管理の一連機能のフレキシブルな対応を可能にした。

本稿では、内製HICの品質に関し良好な結果を得たので、製造工程、信頼性について、概要を紹介する。

Electronic control of automobiles has been rapidly developing applied to not only entertainment but also controlling mechanical devices such as engine and transmission. And its application area is becoming wider and more sophisticated.

In order to achieve smaller sizing of these larger-becoming ECU (Electronically Controlling Unit) and higher reliability and to meet quicker delivery requirement of new products. Our in-house production of HIC (hybrid IC) has been established and flexible functioning of a series of jobs: plan, design, production and managing are also achieved.

Because of satisfactory quality level of our in-house HIC, the production process and the reliability are introduced in this article.

(1) 中津川テン株式会社

(2), (3), (5), (6) モーターエレクトロニクス技術部

(4) 中津川テン株式会社モーターエレクトロニクス製造部

1. ま え が き

自動車へのエレクトロニクスの導入は、半導体デバイスの進歩と共に急速に進展し、多種多様な電子制御システムが機能部位にまで展開されるようになった。代表的なものとして、電子制御燃料噴射（EFI）システム、電子制御トランスミッション（ECT）システムがある。

これらは、自動車の機関・駆動の中核として機能するシステムであり、特に高度の信頼性が要求される。

電子制御システムの高度化により、電子回路が大規模化し、品質・信頼性が厳しく要求されている。とりわけ、半導体デバイスに代表されるアクティブ部品に要求される信頼性は、非常に厳しい。

一方、品種の多様化・高度化は、

- 1) 取付場所の制約から小形・軽量化
- 2) 信頼性・性能確認の面から試作期間の短縮を強いられ、それが、信頼性の確保を一層困難なものにしている。

解決手段としての実装密度の大幅な向上には、回路構成をモジュール化したモノリシックICやHICの採用が有効である。

HICは、一時、斜陽傾向にあったが、

- 1) デイスクリート回路で構成された回路の特性を損なわず機能モジュールとして集積化が容易。
- 2) 開発期間が短い。
- 3) 少量多品種生産に適している。

ことから有用性が見直され電子機器メーカーでの内製化がさかんに行われている。

その背景には、HICのベースとなる印刷材料の性能向上と低コスト化、さらにミニモールド部品、チップ部品の供給体制、信頼性の確認ができたことなどがあげられる。

当社では、自動車用電子機器に要求される厳しい使用環境と性能を十分把握した上でHICの内製を行っている。内製化したことにより、材料購入レベルからの一貫した生産となり、フレキシブルな計画・設計・生産・管理が可能となった。また、品質・信頼性の維持・向上、迅速な開発計画への対応、ひいては、総合的コストダウンに大きな効果をもたらしている。

2. HICの種類

回路基板に微小部品を搭載するHICは、材料・製法の組合せにより非常に多くの種類に分類される。

2.1 回路基板の種類

回路基板は、成膜・パターン形成手法の違いにより、薄膜蒸着基板と厚膜印刷基板に大別できる。

薄膜蒸着基板は、金属蒸着により成膜を行ったのち、フォトリソグラフィによりパターンを形成する。厚膜印刷基板は、ペースト状の材料をスクリーン印刷したのち乾燥・焼成し、成膜・パターン形成を同時に行う。表-1に両者の特徴の比較を示

表-1 セラミック配線板の特徴

項 目	薄膜蒸着基板	厚膜印刷基板
抵抗値精度	◎ ±1%以内	○ ±3%程度
抵抗温度係数	◎ ±20 ppm/°C まで可	○ ±100 ppm/°C が限度
抵抗値範囲	△ 高抵抗は面積大	◎ 数Ω～数MΩ まで可
パターン密度	◎ 10μm単位	○ 100μm単位
雑音性	◎ 優れる	△ やや劣る
設備投資	× 非常に高価	○ 比較的安価
用 途	大部分が通信・工業用	通信・工業・民生・電装etc.

表-2 厚膜印刷基板の構成方法

項 目	基 材	ホホワイト基板（焼結済アルミナセラミック基板）	
		(B) 両 面 基 板	(C) 片 面 基 板
構 造	(A) グリーンシート (未焼結アルミナセラミック基板)		
特 徴	多 層 化	基層のスルーホール化 + クロス・オーバ	クロスオーバー方式
	積 層 数	表・裏各2層以下	表2層以下
	焼 成	導体・クロスオーバー・抵抗・保護と全て個別焼成	
	印 刷 抵 抗	数Ω～数MΩまで印刷可、抵抗精度±3%程度	
回 路 変 更 の 容 易 性	不可能、チップ抵抗を搭載	Δ基層のみ金型変更要	○スクリーン変更のみで可
	×各層の金型変更要		

す。

現在、市場のHICのほとんどが厚膜印刷基板であり、全体の95%を占めている。

厚膜印刷基板は、電氣的絶縁性・耐熱性および熱伝導性に優れているアルミナセラミックスをベースにしているが、積層方式の違いから3種類に分類される。それぞれの構造と特徴を表-2に示す。

今回、内製化したものは、表-2(C)に示す片面基板である。基本的な特長は、回路変更がスクリーンの変更だけで容易に行えるため、短納期要求に対応できることである。

2.2 部品の実装方法

HICの製造で重要なポイントは、厚膜印刷基板と搭載部品のはんだ付けにある。一般的には、ペースト状のはんだをスクリーン印刷し、部品搭載後、リフロー炉によりはんだを加熱熔融させる方式が用いられている。当社も同方式を採用した。

この方式では、搭載される部品が樹脂等によりモールドされており、部品の信頼性は部品レベルで確保できる。したがって、HICの信頼性は、はんだ量・リフロー炉温度プロファイルといった

はんだ付け条件を重点管理することにより得られる。

当社のHICは、厚膜ハイブリッド技術の最も基本的な形態を踏みながら、印刷材料および製造条件を重点管理することにより、高信頼度を確保することを、目標としている。

3. HICの製造工程

3.1 製造工程

図-1に、HICの製造フローを示す。

その工程は、大きく分けて次の3工程による。

1) 厚膜印刷基板製造工程

セラミック基板に導体・抵抗体を印刷・焼成により形成し、レーザー光により抵抗値トリミングを行い厚膜印刷基板を作成する。

2) アッセンブリ工程

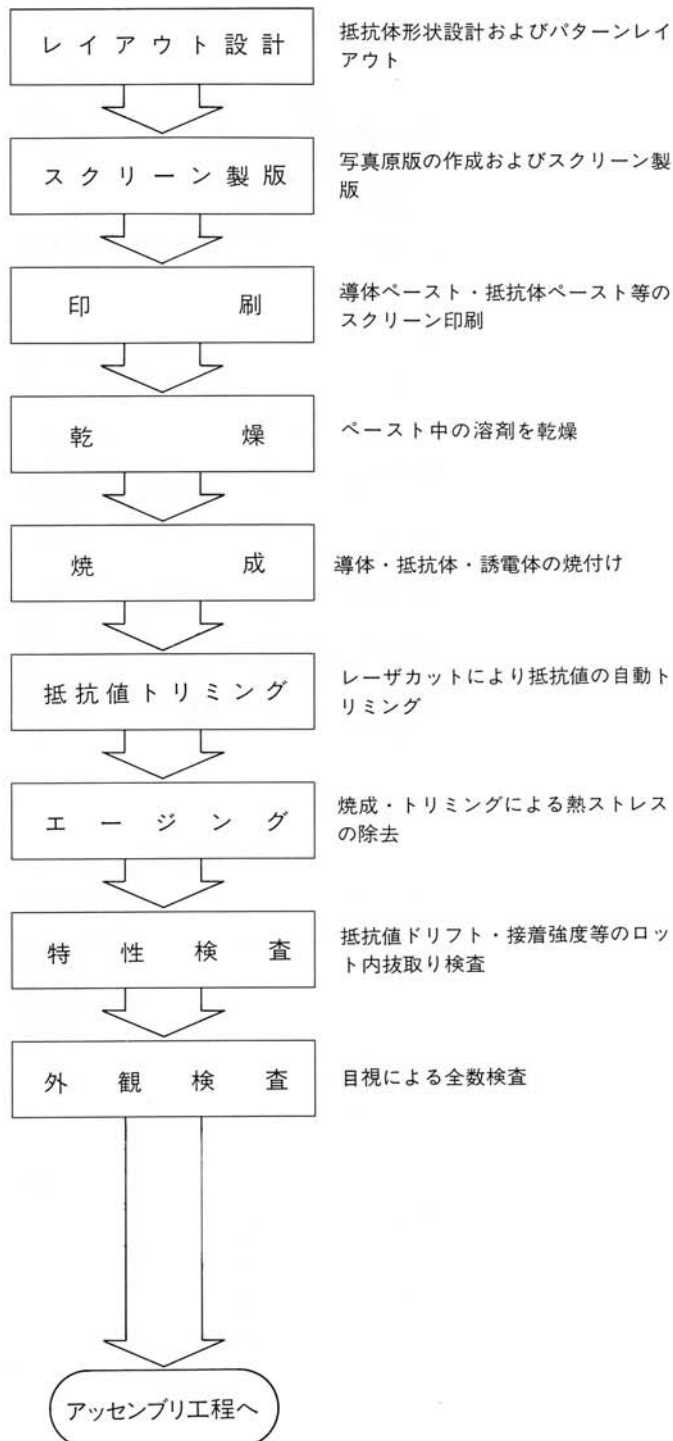
基板上に部品搭載・リード端子装着および防湿コーティング処理をし、HICを完成する。

3) 検査工程

バーニン等によるスクリーニングおよび検査を行いHICとしての品質確認まで完了する。

異常発生時の前工程へのフィードバックをクイ

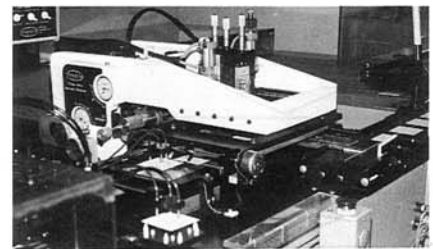
製造フロー



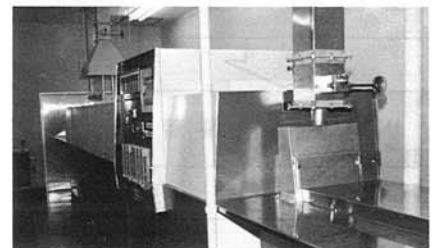
製造設備外観



クリーンルーム全景



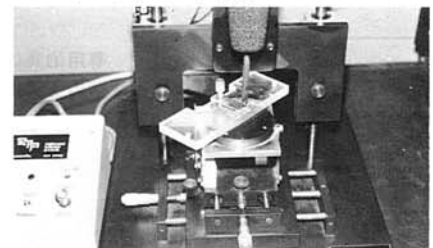
スクリーン印刷機



焼成炉



レーザートリミング装置

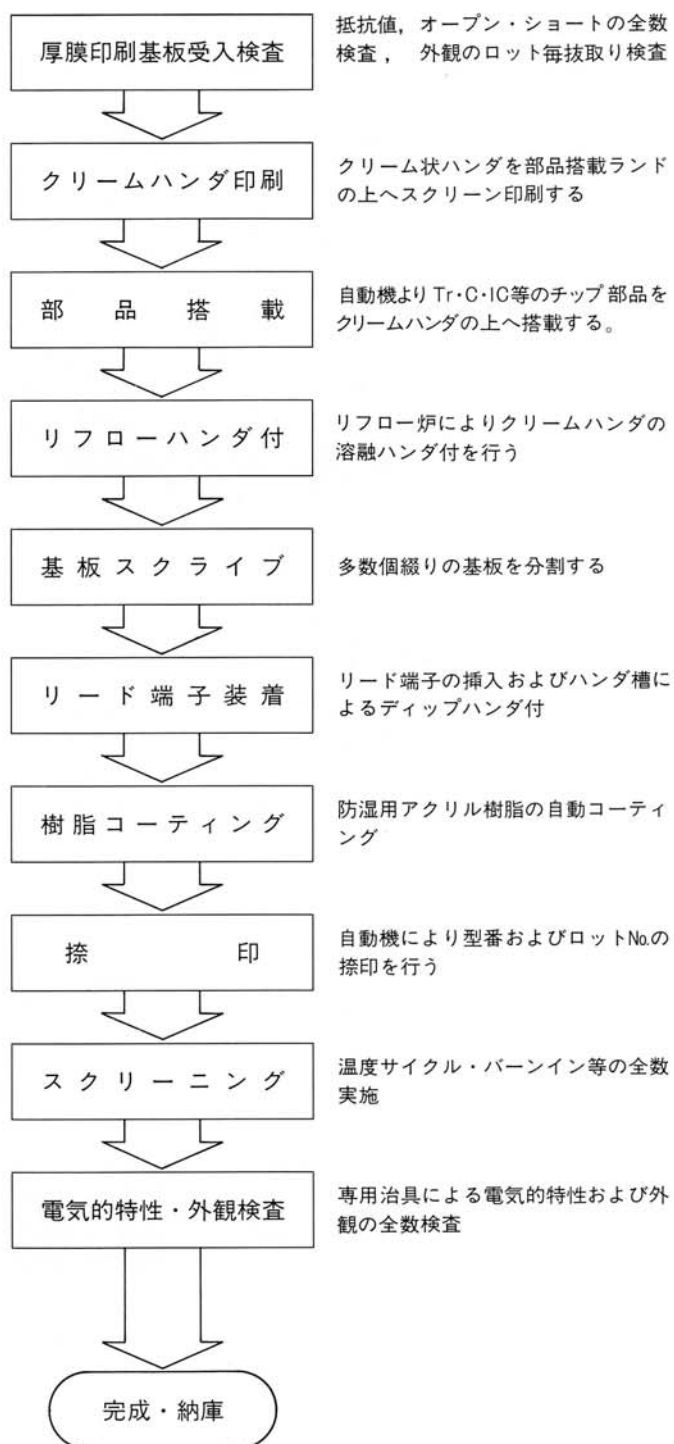


接着強度測定装置

図-1(a) HICの製造フロー（厚膜印刷基板工程）

Fig. 1 (a) Manufacturing processes for HIC (thick film).

製造フロー



製造設備外観



受入検査装置



ハンダ印刷 → 部品搭載 → リフロー



リード端子挿入 → ハンダディップ



樹脂コーティング



スクリーニング装置

図-1(b) HICの製造フロー (アッセンブリ工程)

Fig. 1 (b) Manufacturing processes for HIC (assembly).

ックに行うため、各工程の要所で全数検査を行っている。

また、品質・性能の安定化、初期故障品の排除のため、1) 工程では、高温エージング、2) 工程では、温度サイクルおよび高温エージング、3) 工程では、検査装置の全自動化を特別に取り入れた。

3.2 自動化

工程設計にあたっては、人為的要因によるミス、品質のバラツキ、材料・部品の汚染による品質劣化をなくすため、徹底した自動化とクリーンな雰囲気維持を心掛けた。図-1に各製造フローにあわせて、自動化設備、環境の概要を紹介する。

4. 厚膜印刷基板の信頼性

H I Cの内製化において、アッセンブリ工程に供給する厚膜印刷基板の信頼性を、どう確認するかが大きな課題であった。

アッセンブリ工程の信頼性が、はんだ付けや封止などの明確な評価をするのに対し、厚膜工程のそれは、他と違った多くの要因を含んでいる。したがって、まず厚膜印刷基板にはどのような評価が必要なのかを明確にせねばならなかった。

当社では、文献等で紹介されている多くの評価手法のなかから、使用材料に適した試験を選択・改善して、独自の信頼性評価方法を作り上げた。

ここでは、その試験方法の紹介と、内製品と他社品とを比較して同等の性能・信頼性を得た結果について述べる。

4.1 評価手法の現状

一般の厚膜印刷基板は、フレキシブルな回路構成であるため、各厚膜材料の持つ特性についての信頼性評価には向いていない。

そのため、取得するパラメータの単純化、および各要因の観測を容易にするテストパターンを作

成が、まず必要であった。

当社で設計・製造したテストパターンの一例を図-2に示す。このような評価用テストパターンは、各社それぞれモチーフを持っており、単純に比較ができないため、信頼性の評価基準を曖昧にする原因となっている。

また、厚膜技術と構成材料が急速に進歩するなかで、標準的な試験方法がなかなか制定できない状況にある。

したがって、厚膜印刷基板の信頼性評価への迅速な対応として、当社独自の試験方法による評価基準を作ることと、同一条件下での他社品との比較を必ず行うことが、最重要課題であると考えた。

以下に、主な評価手法の要点と、具体的な比較の内容について述べる。

4.2 厚膜構成材料

厚膜印刷基板は、導体・抵抗体・誘電体（クロスオーバー、オーバーガラス）の構成材料と、これらの組合せによる信頼性が問題になる。

さらに、構成材料の印刷・焼成という製造工程を経るため、基本的な電気的特性に加え、各材料の物理化学的な性質も重要なポイントである。

4.2.1 導 体

導体は、回路配線と、素子の接合の2機能を持

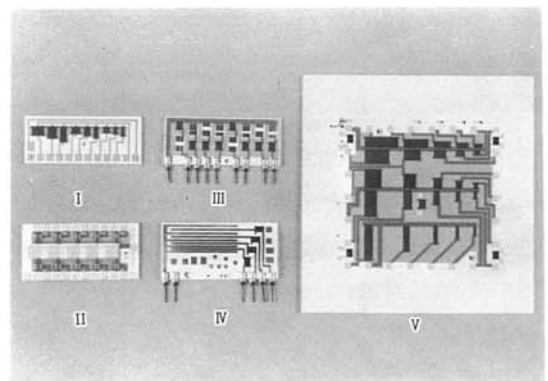


図-2 代表的なテストパターン

Fig. 2 Representative testpattern (in-house).

つ。材料は、銀-パラジウム (Ag/Pd) を主成分とし、この組成比で諸特性は異なる。

信頼性評価は、配線に関して導電性・耐Agマイグレーション性、接合に関しては接着強度・はんだ濡れ性・銀くわれ性などが問題と考えた。ここでは、特に耐Agマイグレーション性と、接着強度について述べる。

1) 耐Agマイグレーション性

Ag系導体を使用した場合、湿度に対するAgマイグレーションの防止が重要課題である。

高湿度中にある導体の電極間に電位差があると、銀は容易にイオン化し、電極間を移動する。この現象で絶縁劣化や、最悪の場合には短絡する。

これらのメカニズムの確認と、定量的評価を行う方法として、純水滴下試験 (WDT: Water Drop Test) と高温高湿バイアス試験 (THBT: Thermal Humidity Bias Test) がある。図-3は、WDTでのブリッジ発生状況をあらわす。

WDTは、メカニズムの解析に有効だが、実使用条件にそぐわない。したがって信頼性評価には主にTHBTを行った。THBTは、マイグレーションが緩慢に進行するため、1000時間単位の評価とした。

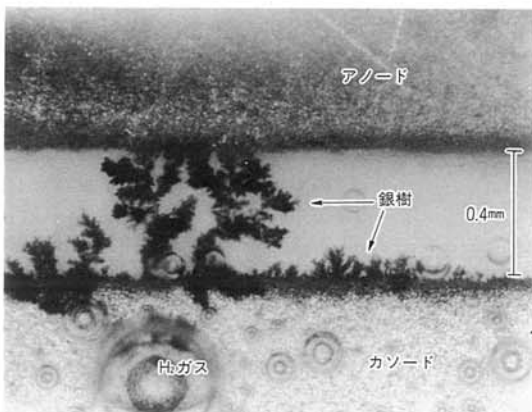


図-3 純水滴下試験によるAgマイグレーション
Fig. 3 Ag-migration with WDT.

耐Agマイグレーションの評価のために、電極間隙を0.2mmから0.5mmまで、0.1mmきざみに配したテストパターン (図-2: IV) を標準にした。この試料で、防湿処理をしていない場合の、THBTを行った結果を図-4に示す。電極間隙が0.2mmでは、Agマイグレーションは起こりやすい。

Ag/Pd組成比の異なる2種の材料では、Agの多い方がマイグレーションの発生率は高くなる (図-5参照)。

防湿のために、部品搭載箇所以外はオーバガラスをかける。部品を搭載した後は、さらに全体を樹脂コーティングしている。配線導体はこれらの表面処理により、THBT (条件: 85°C 95% R. H.) でマイグレーションの発生は皆無であることが確認できた。

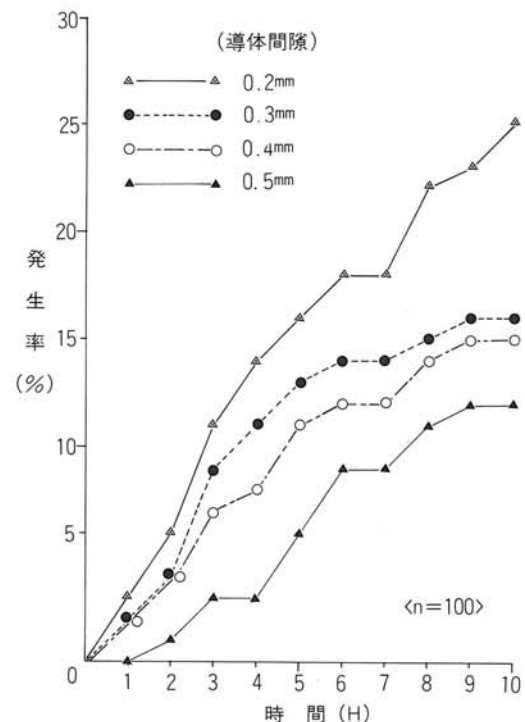


図-4 導体間隙によるAgマイグレーションの発生状況
Fig. 4 Generation of Ag-migration (conductor gap).

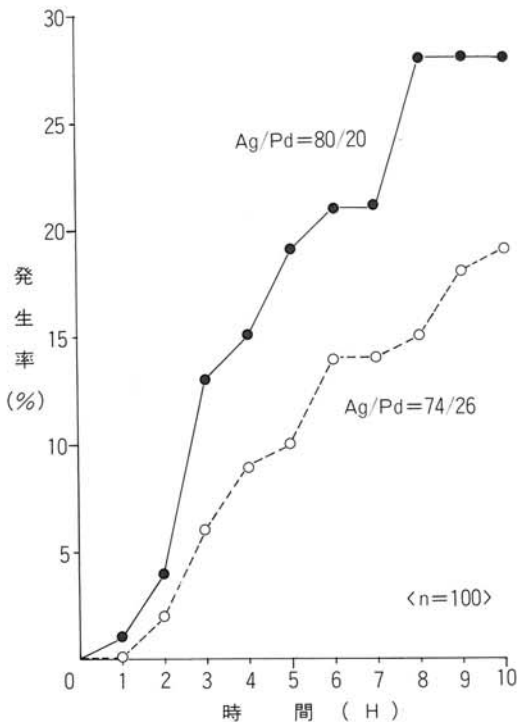


図-5 導体材料によるAgマイグレーションの発生状況
Fig. 5 Generation of Ag-migration (conductor materials).

2) 接着強度

導体のセラミック基板に対する接着性は、とくに基本的性能を左右する性質である。チップ部品と導体の接合において、この強度は耐振性およびはんだ付けによる銀くわれ性にも関係する。

接着強度の試験は、導体部分へ軟銅線をのはんだ付けし、この銅線を徐々に引張り、破断するまでの最大耐久強度を評価する。具体的な方法は各メーカーでそれぞれ異なり、強度データだけでは比較できない。一例として、図-6に DuPont 社が公表している導体接着強度測定方法を示す。

当社では、試料作成の作業性と測定バラツキを改善するために、リード端子を自動はんだ槽ではんだ付けする方法をとった(図-7参照)。はんだ付けによる人為的な影響をなくすことによって、データ精度が向上できた。

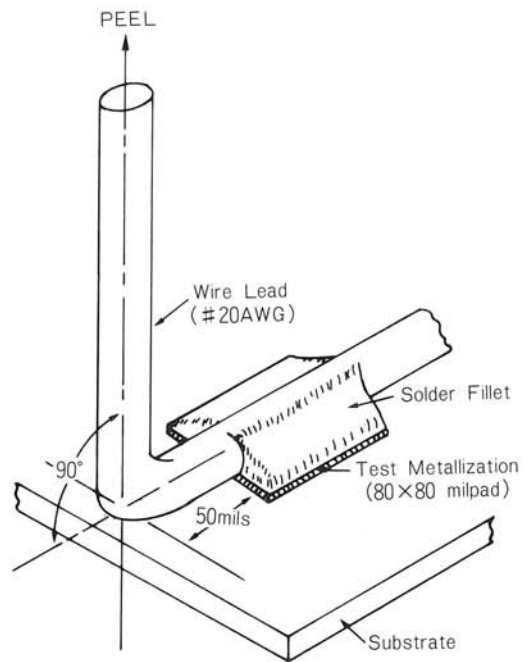


図-6 導体接着強度測定方法 (DuPont社による)
Fig. 6 Wire peel adhesion test method (DuPont Co.).

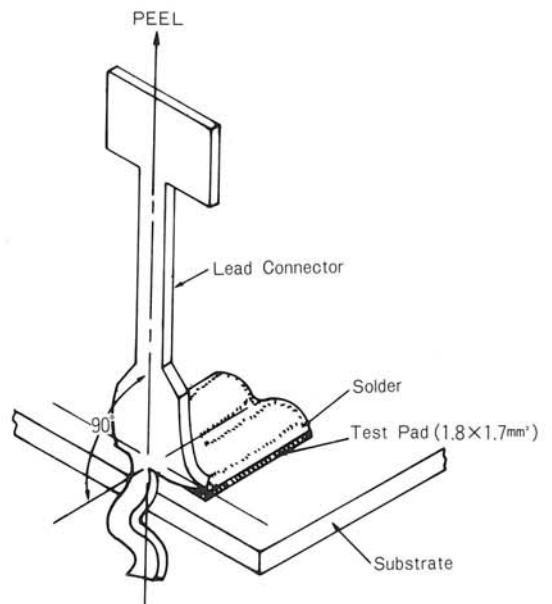


図-7 リード端子使用による導体接着強度測定方法
Fig. 7 Peel adhesion test method to use lead (in-house).

接着強度は導体中のAg/Pd比、無機バインダーの含有量と組成、およびはんだ付け条件などによって決まる。初期の接着強度に大きな差はないので、高温エージングによる強度の劣化を信頼性の目安にした。図-8は、150°Cで1000時間エージングした時の、内製品と他社品の強度劣化を示したものである。

高温エージングでの強度の劣化は、導体とはんだの相互拡散による金属化合物の生成が原因である。破断はこの層で起こる。

図-7の測定法によって、導体印刷の方向が接着強度に影響を与える場合があることが明らかになった。したがって、検査での測定ポイントには注意を要する。印刷基板1シート（綴り形状で分割

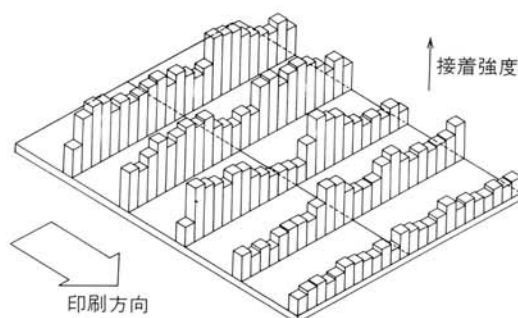


図-9 導体接着強度の分布

Fig. 9 Distribution of adhesion strength.

前のもの) 当りの接着強度の分布の一例を、図-9に示す。

4.2.2 抵抗力

印刷抵抗体に要求される特性として重要なもの

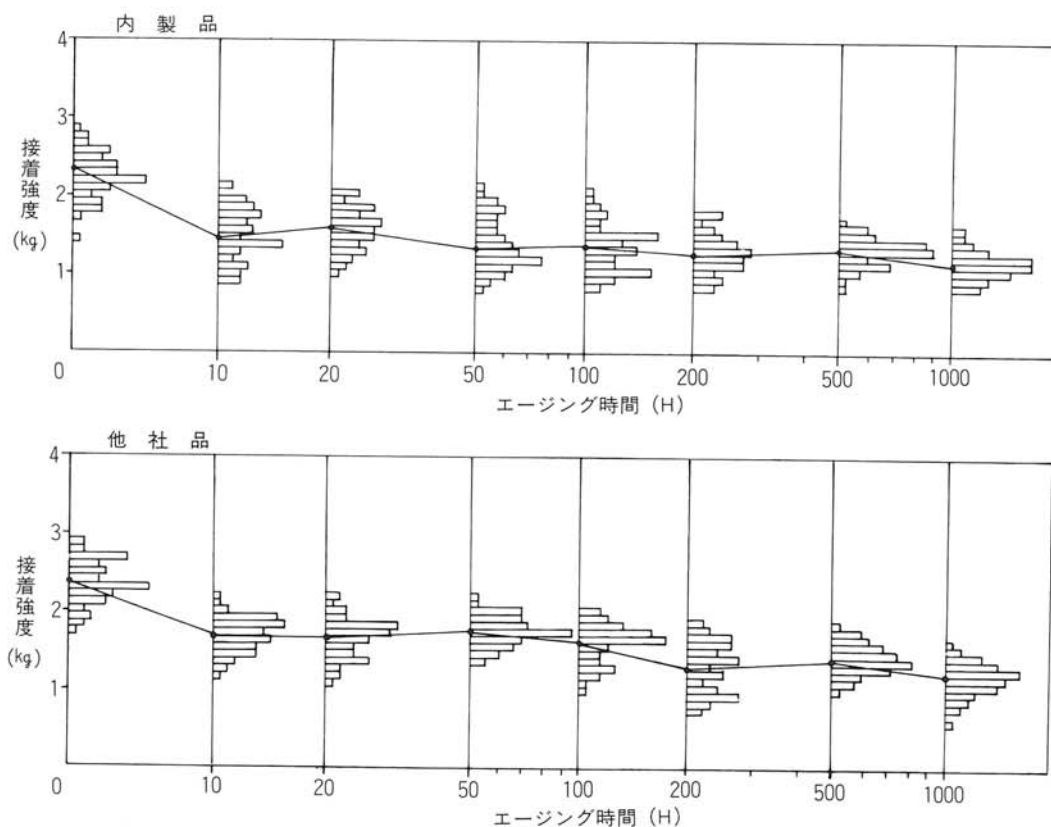


図-8 高温エージングによる接着強度劣化試験 (150°C)

Fig. 8 Adhesion test during the aging.

に、抵抗温度係数 (TCR: Temperature Coefficient of Resistance) と抵抗値変化率がある。

TCRは抵抗体のパターンサイズや膜厚などに依存し、設計と製造の両者に関連する特性である。テストパターン (図-2: V) は、形状の異なる25種の抵抗を配列し、TCRや抵抗値の形状依存性を評価するための試料である。TCRは抵抗体の長さに反比例する³⁾ (図-10参照)。自動車用の電子機器では、広範囲の温度保証が要求され、TCRのマッチングが性能を決めるひとつのポイントとなる。

厚膜抵抗では、最高保存温度の状態に放置して抵抗値変化をみる高温放置試験など、一般の抵抗器の信頼性試験と同様の環境試験を行った。125°C、1000時間放置では、図-11のような抵抗値変化となり、安定性はよい。

抵抗値の安定性を左右するものに、レーザトリミング時に発生するマイクロクラックがある (図-12参照)。マイクロクラックは、レーザの熱で溶融した抵抗体が、凝固する際に生ずる局所的なストレスによって発生する。

このストレスを熱処理によって強制的に解放

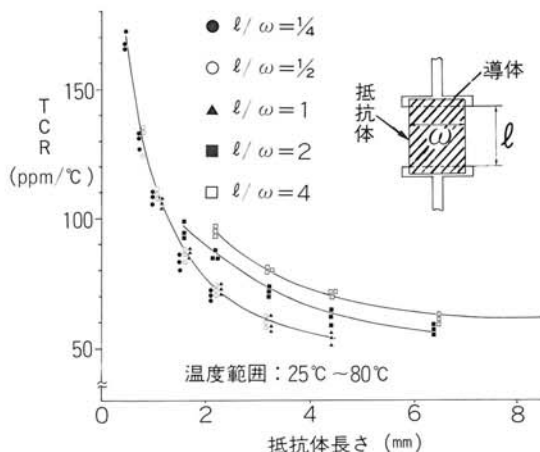


図-10 抵抗体長さと抵抗温度係数(TCR)の関係
Fig. 10 Connection between resistor sizes and TCR.

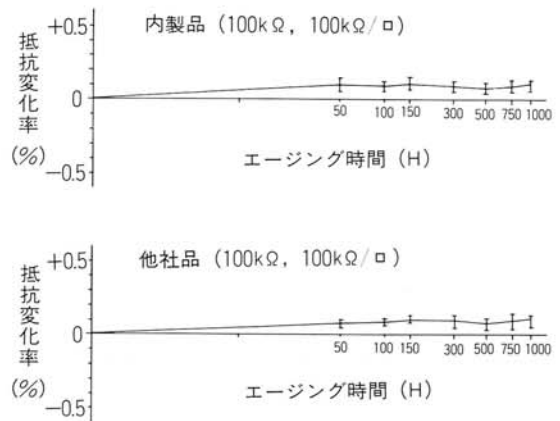


図-11 高温放置による抵抗値変化
Fig. 11 Resistance shift (high temperature storage).

し、抵抗値安定性を高める方法を厚膜製造工程にとり入れた。また、低抵抗と高抵抗では、金属含有量が異なるため、同一の条件でトリミングすることはできない。シート抵抗とトリミング条件をうまく調整することにより、クラックが発生しない条件を設定した。トリミングされた抵抗のようすを、SEM (走査型電子顕微鏡) 写真で図-13に示す。

4.2.3 誘電体

多層配線の絶縁層として用いる誘電体 (クロス



図-12 マイクロクラック発生の一例 (SEM)
Fig. 12 Microcrack.

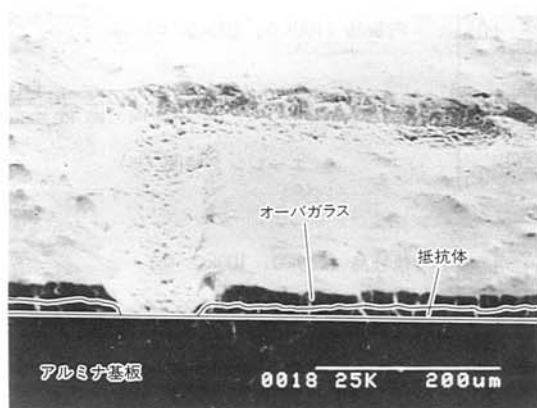


図-13 トリミングの一例 (SEM)
Fig. 13 Trimming (SEM).

オーバガラス)の一般的な評価項目には、比誘電率、 $\tan\delta$ 、絶縁抵抗、および耐電圧などがある。絶縁性の信頼性確認には、環境加速試験としてT HBTやPCT (Pressure Cooker Test)などを行った。

耐電圧や絶縁抵抗は、膜層中の気泡やピンホール、あるいはペーストの粘度や膜厚などによって左右される。これらは、製造の条件設定や管理に負うところが大きい。そのため、気泡やピンホールのスクリーニングに、絶縁抵抗測定と耐圧試験を工程内で実施・管理している。

特性評価にT HBTやPCTなどを加えた信頼性試験での故障は、誘電体中に銀がマイグレートしたり、絶縁破壊(図-14参照)の形で起こる。

耐圧試験は、サージおよび他の同様な現象に基づく一時的な過電圧に耐えることを保証するために実施する。試験には、一定の電圧を規定時間印加する方法と、電圧を徐々に印加したときの破壊限界時の電圧を測定する方法(BDV: Break Down Voltage)の2種類を行った。図-15は、BDVで得られた破壊電圧のヒストグラムである。内製品は他社品に較べて破壊電圧値が高く、性能上も問題は無い。

誘電体にはクロスオーバー用のほかに、厚膜回路

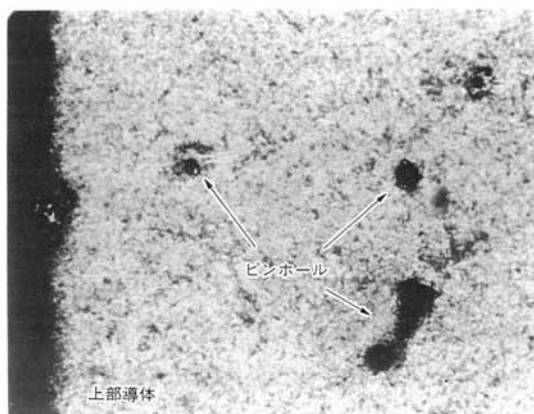


図-14 ピンホール不良による絶縁破壊
Fig. 14 Breakdown failure (pin-hole).

の全体的な保護膜としてオーバガラスがある。この信頼性は、他の材料と関連して、導体の防湿保護、トリミング適合性、および他の材料との密着性などを評価する。

また、熱膨張係数が基板のそれとマッチングしていないと、熱ストレスにより剥離現象を生じることから、これらの組合せの選択に配慮した。

以上の要求性能により、オーバガラスの材料に

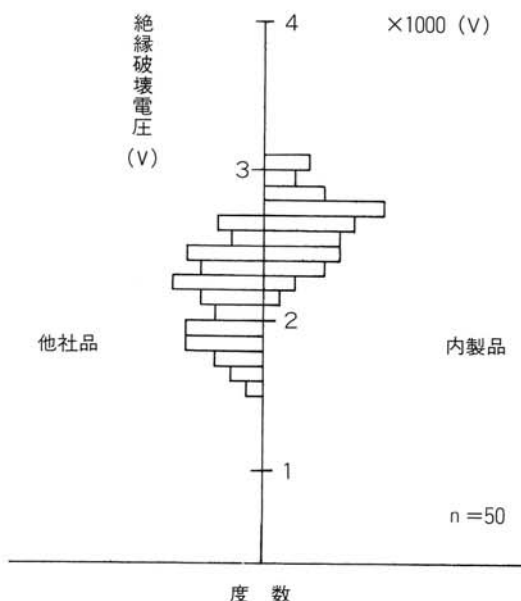


図-15 クロスオーバーガラスの絶縁破壊電圧
Fig. 15 Breakdown voltage of crossovers.

は低融点非結晶質の硼硅酸ガラスを採用したが、これは クロスオーバ ガラスに 較べて ポーラス (多孔質)であるという弱点をもつ。オーバガラス だけでは完全な防湿効果は得られないので、アッ センブリ工程で行う樹脂コーティングにより、厚 膜印刷基板の最終的な防湿保護をした。

4. 3 信頼性試験のまとめ

4. 3. 1 他社品との比較

比較には、当社設計によるテストパターンを他 社で製造し、これと内製品を同時に試験する方法 をとった。試験は、前述したもののほかに、表-3 に示すような評価を実施した。

これら各試験の結果から総合して、導体と抵抗 体は他社品と同等レベル、誘電体では当社の方が 優れる、という結論を得た。

4. 3. 2 評価方法の今後

厚膜技術は経験的な要素が大きく、信頼性確認 の具体的な方法は、各製造メーカのノウハウにな っている。

ここで紹介した評価内容は、現在では最大公約

数的なものになりつつあるが、当面は、自社で開 発していく必要がある。

今後は、故障に対する判定基準の絞りこみと、 表-3の信頼性試験を継続することによって、品質 と信頼性の維持に努めなければならない。

5. 品 質 状 況

当社で設計、生産する ECU の H I C 化率は、 約70%であり総て内製品である。

市場における ECU の故障で、H I C が原因と なったものは、過去 3 年間を通じて 2 ppm であ り、他の個別部品や半導体集積回路部品の故障率 と比較しても遜色のない信頼度を維持している。

市場故障のほとんどは、H I C 内に使用してい るミニモールド部品であり、初期故障型である。

故障解析の結果では、ワイヤボンディングのは ずれ、溶接部のはずれ、およびモールドストレス によるチップ破壊が主な故障原因になっている。 これらは H I C の製造、検査工程でのスクリーニ ング中に発見される故障品と同一モードである。

表-3 厚膜印刷基板の信頼性評価項目一覧表

	No.	試 験 項 目	評 価 項 目							
			導 体				抵 抗 体		クロスオーバ	
			接 着 度	Ag マイグレーション	導電性	はんだ耐熱性	はんだ付け性	T C R	経 時 変 化	絶縁性 耐電圧
熱的環境試験	A-1	熱 衝 撃	●		●			●	●	
	A-2	P C T								●
	A-3	高 温 放 置	●		●			●	●	
	A-4	低 温 放 置							●	
	A-5	温 度 サイクル	●		●			●	●	
	A-6	はんだディップ				●	●		●	
寿命試験	B-1	高 温 高 湿 放 置			●			●	●	
	B-2	高 温 負 荷						●	●	
	B-3	高温高湿バイアス		●						●
その他	C-1	耐 電 圧								●
	C-2	電 圧 破 壊 限 界								●

また、厚膜印刷基板に起因する市場故障は、過去1件のみであり、製造工程内での人為的ミスによるものであった。

品質向上のためには、部品受入検査、製造、および出荷検査の各工程でのスクリーニングの強化を図らなければならない。この場合、製造コストを上げずに初期故障部品を排除する有効な手法をいかにして見いだすかが課題となる。

その方向は、工程で発見された故障部品を解析し、部品メーカーと共同で改善に取り組む活動を強化する、また破壊限界試験による品質レベルの確認を、より綿密に計画・実施する。

人為的ミスは、組立の自動化が容易なHICの特長を生かし、徹底した自動化ラインの導入で解決できると考える。

6. 今後の課題

1) 大規模化への対応

自動車用ハイブリッドICに対する要求は、高集積化・大規模化の方向にある。

その機能は、マイコンその他のLSIを含むものになり、ハイブリッドICそのものがサブシステム機能をもつようになると考えている。

2) 関連技術

回路が大規模化するにつれて、当然ながら品質・信頼性が厳しく要求される。

これを実現するためには

- ① 基板の多層化、ファインパターン化
- ② 高度な実装技術
- ③ 機能トリミング技術による高品質化と後工程での無調整化

- ④ 選別・検査技術の向上と自動化
- 等の技術開発が、大規模・高集積化への関門と考える。

7. むすび

当社における、HIC内製化について製造設備、信頼性について概要、特徴を紹介した。

自動車の電子制御化は、今後ますます高度化し電子制御機器の性能・品質が、自動車そのものの性能を左右することになる。

今回のHIC内製化は、品質・安全面での位置づけを認識した上で、ユーザーズに応えるべく実施したものである。

今後は、高集積化ハイブリッドICの車載用としての実用化を推進し、より高度なシステムの開発に取り組み、自動車の電子制御化の発展と信頼性の向上に貢献していきたい。

参考文献

- 1) M. Inagaki, H. Kashiwabara, H. Murase & H. Tanizawa: "Ceramic Substrate Cleaning and Reliability", IMC Proc., pp 478 (1984)
- 2) DuPont catalogue: Method of Test for Wire Peel Adhesion of Soldered Thick Film Conductor to Ceramic Substrate.
- 3) R. C. Headley & R. E. Coté: "Tracking of Resistance and TCR in Thick Film Resistors—Distinctions, Definitions and Derivations", ISHM Proc., (1979)
- 4) 日経エレクトロニクス 5月25日号、pp 174 (1981)