

自動車用ベアチップ搭載ハイブリッドIC

Bare Chip-mounted Hybrid-IC for Automobile

成井 譲 司⁽¹⁾ 田 中 宏⁽²⁾
Joji Narui Hiroshi Tanaka

要 旨

電子機器等の近年の動向として多機能化、多様化が図られており、自動車用オーディオ機器については取付場所の限定とスペース上の制約から、より一層の軽薄短小化を図る必要がある。

このため、製品を構成する各回路のモジュール化（モノリシックICおよびハイブリッドIC）による高密度実装が要求される。

とりわけ、ハイブリッドICは短納期開発、小ロット生産が容易であり、これの高密度化にはベアチップの直接実装が有効である。

なお、実装時に行うワイヤボンディングは苛酷な車載環境に対応できる自動車用ベアチップ搭載ハイブリッドIC（以下HIC）の品質面で重要な位置づけにある。

そこで本稿ではこの接合条件により接続の信頼性に与える影響について実験を行った結果の概要を紹介する。

Electronic equipment today tends to having more functions and wider variety of variations. In car audio field, particularly, it is strongly required to be smaller in size and lighter in weight because of the limited space to be fitted in.

In order to satisfy the above requirement, it is necessary to mount component parts in high density using moduled parts (eg. monolithic IC's and hybrid IC's). Particularly, hybrid IC is useful as it is able to be developed in short period and produced in small quantities, and the bare chip is useful for high density mounting.

The wire bonding used for bare chip bonding is the key point from the view point of quality of the hybrid IC exposed in the very severe environmental condition of car.

Here described outlines the result of our investigations on the influence of bonding conditions on the reliability of the junction.

(1), (2) 第二開発部

1. は じ め に

自動車用オーディオ機器を含めた電子機器等の多機能化、多様化に伴い、各回路にハイブリッドICを用い高密度実装を行っている。

このハイブリッドICには

- 1) 回路モジュールをデバイスとして取扱可能
- 2) 部品点数の削減
- 3) 回路特性の均一化

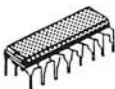
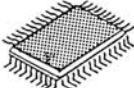
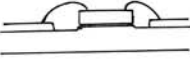
4) 実装密度の向上

といった特徴があり、当社ではさらに実装密度を向上させるため、^{脚注 1) 次頁}ベアチップを直接実装することについて検討した。

表-1に示すようにICのパッケージングの方法によりその占有面積が異なり、ベアチップを直接実装した場合、搭載部品の品種にもよるが、ハイブリッドIC完成品と比較すると従来のハイブリッドIC（FPPタイプのICを実装）の約3分の2の大きさとなる。

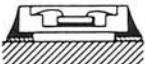
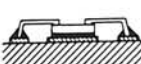
ベアチップの実装には表-2に示すような方法が

表-1 ICパッケージの占有面積比較¹⁾

パッケージング方法	外観形状	占有面積比	占有面積(mm ²)	寸法(mm×mm)
DIP (Dual Inline Package)		21	772	50.8 × 15.2
FPP (Flat Plastic Package)		7	256	16.0 × 16.0
ベアチップ (基板へ直接実装)		1	36	6.0 × 6.0

(40ピン 4×4mmチップの場合)

表-2 ベアチップと基板側電極の接続方法²⁾

	ワイヤレスボンディング方式				ワイヤボンディング方式
	チップキャリア	フィルムキャリア (TAB)	フリップチップ	ビームリード	チップ&ワイヤ
					
占有面積比	2~3	1.2	0.8	0.8	1
入手の難易	○	×	×	×	◎
測定の難易	◎	◎	△	△	△
組立て自動化	◎	◎	○	○	○
交換の容易	◎	◎	◎	△	○
放熱性	◎	◎	△	△	◎
チップコスト	×	△	○	×	◎

◎：最良 ○：良 △：やや悪い ×：悪い

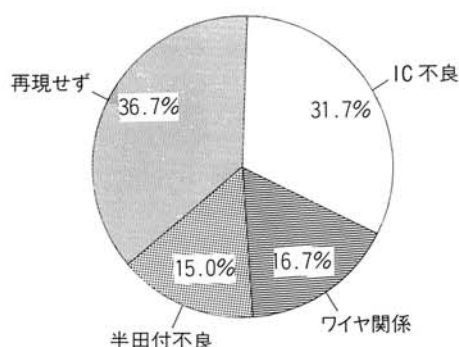


図-1 HICの不良内容

Fig. 1 Failure analysis of the HIC. (hybrid IC)

あるが、ベアチップの入手が比較的容易なことからコスト面からチップ&ワイヤ方式とした。

本稿はこの実装におけるワイヤボンディングの信頼性に関し、統計的手法を用い解析を行った一事例として京都品質管理大会にて発表し、品質管理学会誌1988年5月臨時増刊号「京都品質管理大会報文集」に掲載した報告文を加筆訂正したものである。

2. 実験のねらい

ワイヤボンディング工程は単なる配線工程だけではなく、HICの製造工程全体から見てもコストと信頼性の面で大きな比重を占めている。

脚注 1) ベアチップ

IC等のシリコンチップの俗称。IC等のシリコンチップを実装して製品化する際、外界雰囲気から保護するため樹脂等により封止を行うが、これが実装する部品の段階では封止されておらず、裸(ベア)の状態であることから、一般にこう呼ばれている。

脚注 2) ワイヤボンディング

直径25 μ m前後のAu(金)、Al(アルミ)等のワイヤを用いてベアチップ上の電極と基板側の電極とを接続する方法。

図-1に示すようにHICの不良原因のうち、組立工程にて発生するものの多くは、ワイヤボンディング工程に関するものである。

本HICは自動車用ということで、より厳しい環境下にて使用されることから、ワイヤボンディングの最適条件を求めるため、実験を行った。

3. 工程の概要

図-2にHICの製造工程を示す。セラミック基板に導体および抵抗を印刷・焼成し、ダイボンディング、ワイヤボンディング、チップコート、個別部品実装、および外装を行い、HICは完成する。

なお、ワイヤボンディングには表-3に示す各方法があるが量産効果やボンディング温度の低温化が図れることから、超音波併用熱圧着法を用いることにした。

そしてこの工程は図-3に示すように、1st ボンディングと2nd ボンディングから成っている。

4. 目標の設定

図-4に示す問題点を考慮し、1st ボンディングの接合力については一般的な値を、また現在問題発生⁵⁾の割合が高くなっている2nd ボンディングの接合力については一般的な値よりも大きな値を目標とした。

そして、図-5に示した値以上の接合力を得ることができるボンディング条件を設定することを目標とした。

なお、接合力の評価については、1st ボンディングは、ボールシェアテスト(MIL-STD-883C)による剪断力にて行った。(図-6)

一方、2nd ボンディングは、本来ならばワイヤ

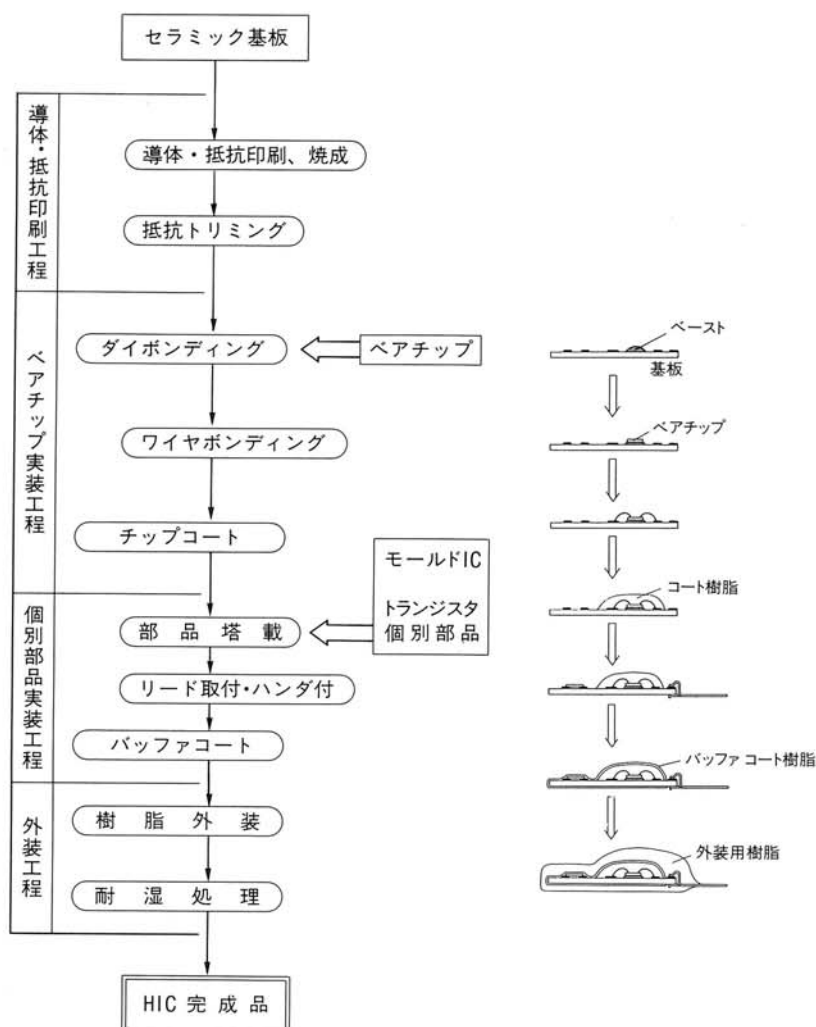
図-2 HICの製造工程³⁾

Fig. 2 Assembly process of HIC.

表-3 ワイヤボンディングの種類¹⁾

	熱 圧 着 法	超 音 波 法	超音波併用熱圧着法
使 用 ワ イ ヤ	Au 線	Al 線	Au 線
用 途	モノリシック IC	パワー用 IC	IC・HIC
量 産 性	◎	△	◎
ボンディング温度	△ (310~350°C)	◎ (常 温)	○ (150~250°C)
ボンディング荷重	△ (60~150gf)	◎ (20~30gf)	○ (50~100gf)

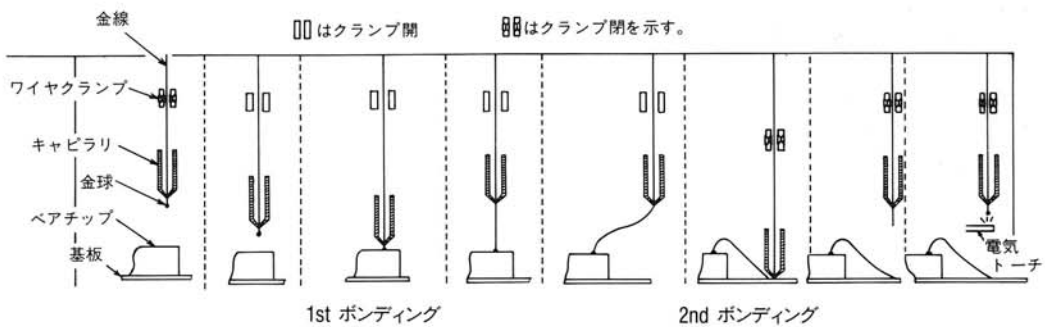
図-3 ワイヤボンディング工程⁴⁾

Fig. 3 Sequence of the wire bonding process.

問 題 点	
1st ボンディング部の浮き	
1st ボンディング部のネック切れ	
2nd ボンディング部のネック切れ	
2nd ボンディング部の浮き	
ワイヤたれによる エッジタッチ	
ワイヤの傾きによる ワイヤ間ショート	

1st ボンディング 2nd ボンディング

良品

図-4 ワイヤボンディングの主な不良内容

Fig. 4 Failure analysis of the wire bonding.

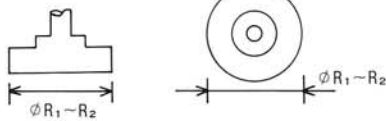
	接 合 力	接 合 部 形 状
1st ボンディング	剪断力 E (gf) 以上 剪断力密度 $G_1 \sim G_2$ (kgf/mm ²) G_1 : 下限値 G_2 : 上限値	ボール径 $\phi R_1 \sim R_2$ (μ m) R_1 : 下限値 R_2 : 上限値 
2nd ボンディング	引張強度 P (gf) 以上	

図-5 接合力に対する目標値と形状制約

Fig. 5 Bonding strength vs shapes of wire.

脚注 3)
ピールテスト (MIL-STD-883C) による引張強度で行うのが望ましい。

しかし、ボンディングワイヤが細く、測定を行うのが困難であるため、一般的に行われているワイヤプルテスト (MIL-STD-883C) による引張強度にて行った。(図-7)

5. 要 因 解 析

一般的にワイヤボンディングに要求される事項⁶⁾として

- 1) 接合部は機械的に強固であること
- 2) 接合部はオーミック結合であり、電気抵抗は十分小さいこと
- 3) 接合の際、ベアチップの電気的特性を劣化させないこと
- 4) 接合部の強度や抵抗値に経時変化がないこと
- 5) 量産性を有すること

が挙げられる。

そこで、ワイヤボンディング不良に関する要因

脚注 3) ワイヤピールテスト

ワイヤボンディングされたワイヤを途中で切り、2nd ボンディングのネック部分にストレスをかけないように垂直に起こし、その先端をつまんで引張強度を測定する方法。測定時にワイヤの接合面が引きはがされる(ピール)ことから、一般にこう呼ばれている。

を抽出し、FT図(故障の木論理図)にまとめたものを図-8に示す。

これより、ワイヤボンディングは、機械的要素と電気的要素を持っており、両者を満足することにより、その役割が成立するものとする。

今回は自動車用ということから、特に前述した1)を重視し、機械的要素のうち、接合条件について検討を行うことにした。

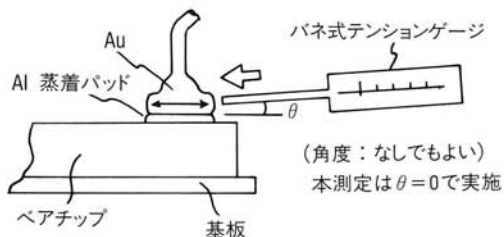


図-6 ボールシェアテスト (MIL-STD-883C)

Fig. 6 Ball share test. (MIL-STD-883C)

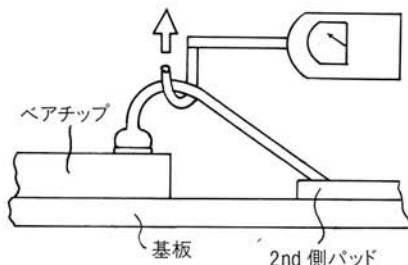


図-7 ワイヤプルテスト (MIL-STD-883C)

Fig. 7 Wire pull test. (MIL-STD-883C)

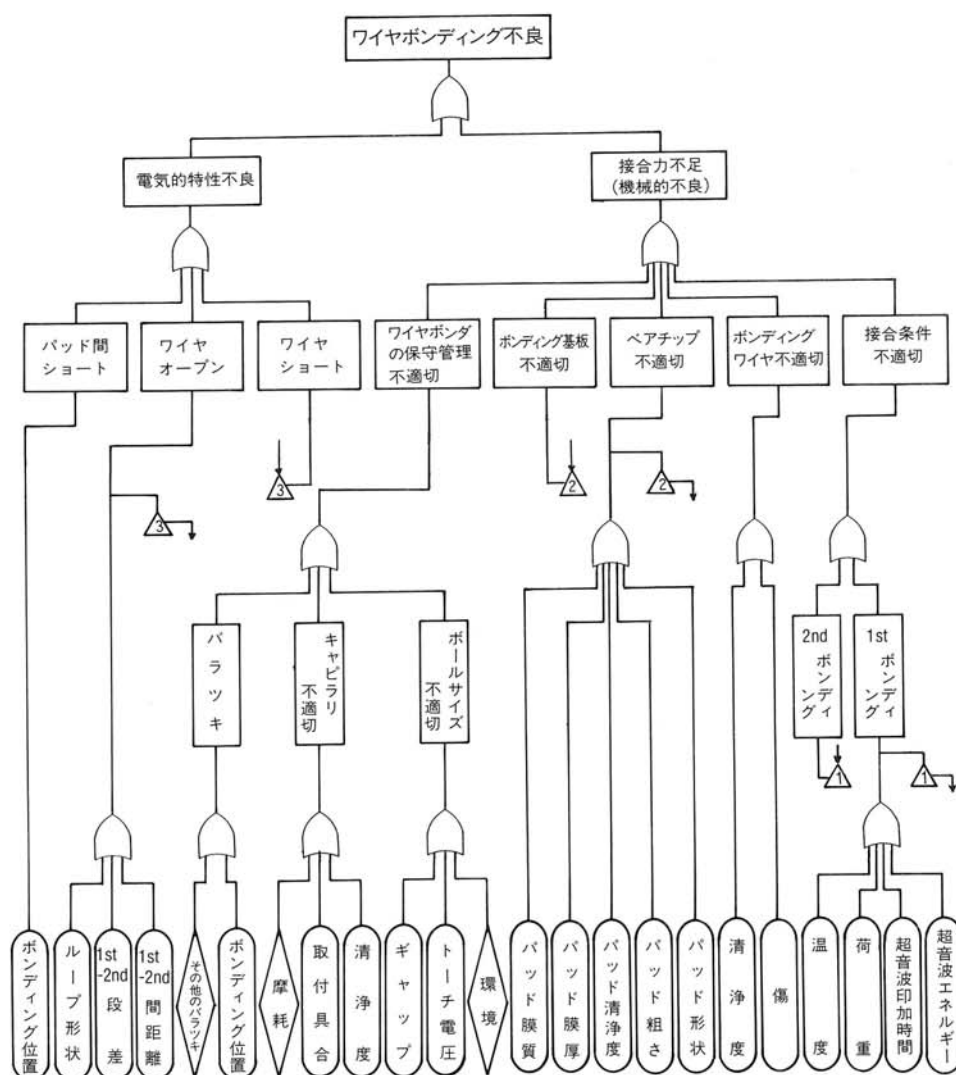


図-8 F T 図

Fig. 8 Diagram of the Fault Tree analysis.

まず、F T 図に基づき、ワイヤボンディング条件による接合力等の大まかな傾向を確認するため、予備実験を実施した。

ただし、接合力となって現れる1st側、2nd側のパッド（接合する相手側の電極）の状態、ボンディングワイヤの状態、および、マシン（ワイヤボンダ）の状態は、同一と考えて行うこととした。

そして、予備実験により、以下のことが明確になった。

- 1) ボンディング温度と接合力の関係
ボンディング温度を下げると、接合力（剪断力、引張強度）が低下する。
- 2) 1st ボンディングによる電気的特性への影響
接合に要する条件を上回る条件（現在の最適条件に対して超音波エネルギー 3.6倍、超音波印加時間 1.4倍、荷重 1.3倍）にてボンディングを行っても、電気的特性には

評価項目	可 変 条 件			固 定 条 件		評価手段
	超音波 エネルギー (mW)	超音波 印加時間 (msec)	荷 重 (gf)	項 目	内 容	
剪 断 力	1st ボンディング	A ₁	B ₁	C ₁	ワークステージ温度	ボールシェア テスト
		A ₂	B ₂	C ₂	1st-2nd間距離	
		A ₃	B ₃	C ₃	1st-2nd段差	
					ワイヤループ高さ	
引張強度	2nd ボンディング	J ₁	K ₁	L ₁	ワイヤ径	ワイヤプル テスト
		J ₂	K ₂	L ₂	1st ボンディングパッド	
		J ₃	K ₃	L ₃	2nd ボンディングパッド	
外観形状	↑			↑		目 視 SEM (走査型電子 顕微鏡)

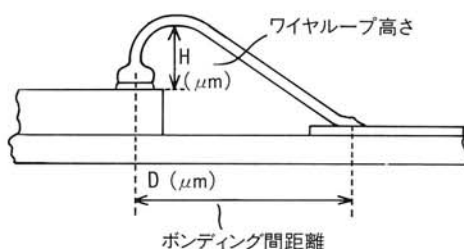


図-9 評価項目と試料作成条件

Fig. 9 Test items and specimen configuration.

とんど影響がない。

- 3) 1st ボンディング条件が引張強度に与える影響

1st ボンディング条件を変化（ただし、温度は一定）させても、引張強度に変化が見られない。このことより、引張強度は 2nd ボンディング条件に依存している。

- 4) 1st-2nd ボンディング間の距離とワイヤループ高さの設定

これらのパラメータは、接合力としては関係しないが、後工程でのチップコートによるワイヤのたれや傾き等による不具合を考慮し、図-9に示すようにボンディング間の距離をD (μm)、ワイヤループの高さをH (μm) とした。

6. 実 験

6. 1 因子と水準

表-4 1st ボンディングの因子と水準

因 子	水 準		
	1	2	3
A : 超音波エネルギー	A ₁	A ₂	A ₃
B : 超音波印加時間	B ₁	B ₂	B ₃
C : 荷 重	C ₁	C ₂	C ₃

表-5 2nd ボンディングの因子と水準

因 子	水 準		
	1	2	3
J : 超音波エネルギー	J ₁	J ₂	J ₃
K : 超音波印加時間	K ₁	K ₂	K ₃
L : 荷 重	L ₁	L ₂	L ₃

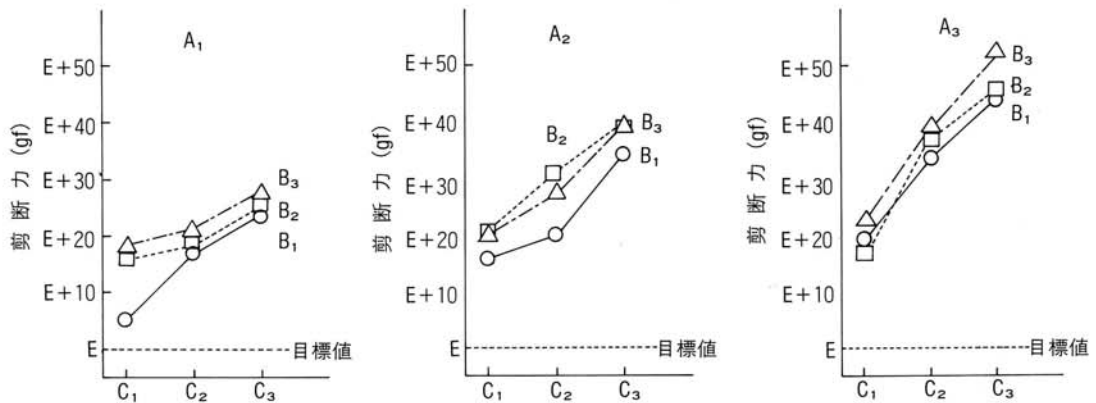


図-10 1stボンディングの実験結果(剪断力)

Fig. 10 Result of experiments on bare-chip side.

図-8に示した要因から、表-4、表-5に示す因子を選択し、水準を設定した。

なお、その他の接合条件については、予備実験の結果等から得た値に固定した。

6. 2 データの解析

6. 2. 1 1stボンディング

実験は各因子の組合せによる接合力の傾向が予想できないため、全ての組合せにて実施した。

実験結果を図-10に示す。これより、剪断力は要因A、B、Cの大きさに比例して強くなり、それに伴いボール形状は図-11のように変化する。

そこで剪断力に影響を及ぼす要因を明確にするため分散分析^{脚注4)}を行った結果、表-6に示すとおり、因子A、B、Cと交互作用A×Cが高度に有意となった。

これより、推定式は

$$\hat{\mu}(ABC) = \overline{AC} + \overline{B} - \overline{T}$$

となる。

脚注 4) 分散分析法

特性値(データ)のパラツキを平方和として表し、その平方和を要因毎に分解し、誤差に比べて特に大きな影響を与えている要因を調べる方法。

ここで剪断力のみを考えれば超音波エネルギーAと荷重Cの組合せによる最適条件はA₃C₃、また超音波印加時間Bの最適条件はB₃となり、1stボンディングの最適条件はA₃B₃C₃となる。

一方、1stボンディングの評価項目には、1stボンディングパッドのパターン寸法上の制約により、接合力の他に接合部形状がある。

そこで、図-5の剪断力密度とボール径が評価基準を満たしている条件は図-12、13よりA₁B₂C₂であることがわかる。

なお、この条件による母平均の

点推定値は E_c (gf)

区間推定値は $E_d \sim E_u$ (gf) [信頼率95%]

($E_c = E + 20.37$, E: 目標値)

と考えられ、いずれも目標値を上回っていること

表-6 1stボンディングの分散分析結果

要因	S (平方和)	ϕ (自由度)	V (分散)	F ₀ (分散比)
A	1008.88	2	504.44	86.67**
B	164.65	2	82.33	14.15**
C	1871.33	2	935.67	160.77**
A×C	221.42	4	55.36	9.51**
e'(誤差)	93.14	16	5.82	—
計	3359.42	26		

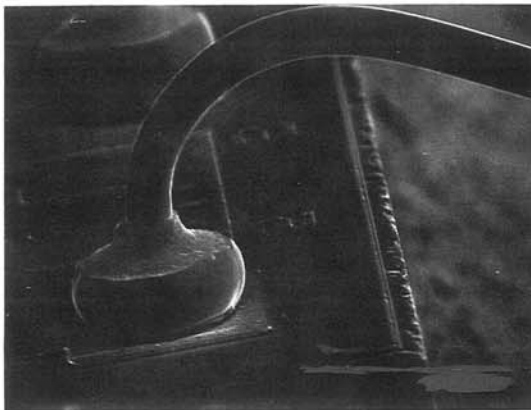
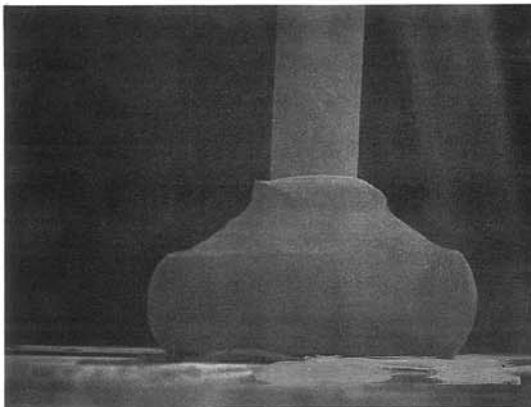
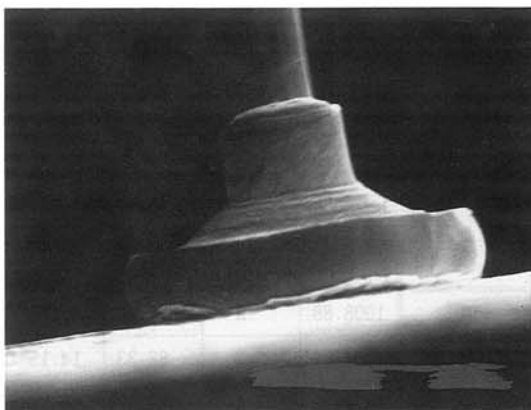
(a) 荷重適正 荷重=C₂(b) 荷重適正 荷重=C₂(c) 荷重過大 荷重=C₃

図-11 1st ボンディング部分SEM写真
Fig. 11 Wire bond on the bare-chip side. (SEM)

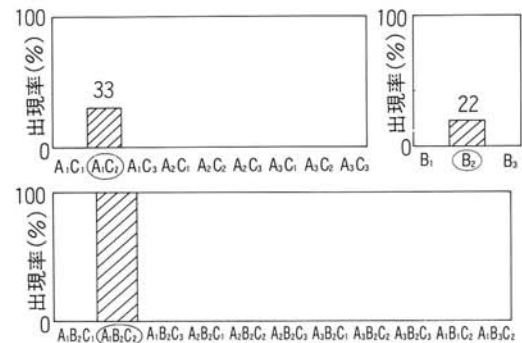


図-12 ボール径の良品出現率

Fig. 12 Good samples of the wire ball diameter.

がわかった。

したがって、1st ボンディング条件はA₁B₂C₂とした。

6. 2. 2 2ndボンディング

実験は、1st ボンディングと同様の方法にて実施した。実験結果を図-14に示す。これより、引

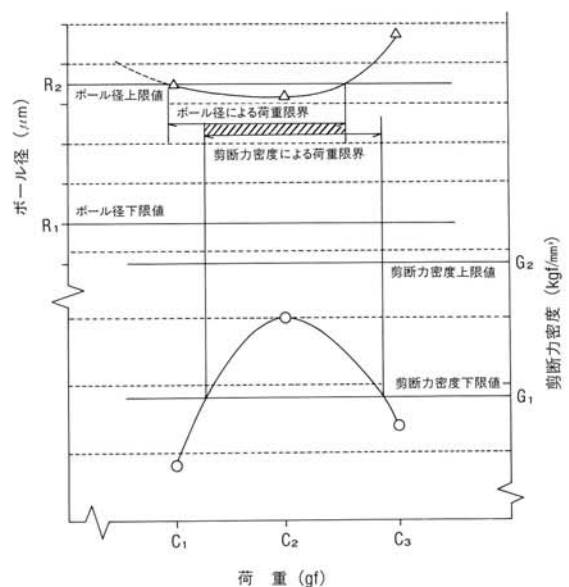


図-13 ボンディング荷重に対するボール径と
剪断力密度

Fig. 13 Bonding force vs ball diameters and
ball share strength density.

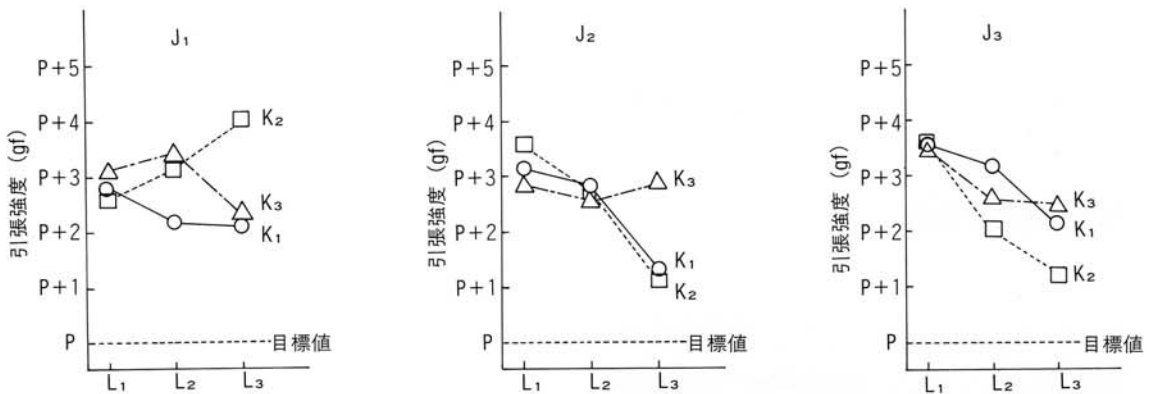


図-14 2nd ボンディングの実験結果 (引張強度)
Fig. 14 Result of the experiments on substrate side.

張強度は要因 J、K、L の大きさに比例せず、むしろ反比例の傾向にある。

そこで引張強度に影響を及ぼしている要因を明確にするため分散分析を行った結果、表-7に示すとおり、因子 L が有意となった。これより、推定式は

$$\hat{\mu}(L) = \bar{L}$$

となる。

ここで引張強度のみを考えれば荷重 L の最適条件は L₁ であることがわかる。

なお、この条件による母平均の

点推定値は P_c (gf)

区間推定値は P_d~P_u (gf) [信頼率95%]

(P_c=P+2.079, P: 目標値)

表-7 2nd ボンディングの分散分析結果

要 因	S (平方和)	φ (自由度)	V (分 散)	F _o (分散比)
J	0.161	2	0.081	0.79
K	0.086	2	0.043	0.42
L	1.186	2	0.593	5.81*
J × L	0.579	4	0.145	1.42
e'(誤差)	1.628	16	0.102	—
計	3.640	26		

と考えられ、いずれも目標値を上回っていることがわかった。

ところで、2nd ボンディング条件としては、残る 2 個の因子についても設定する必要があるが、ここで引張強度は、第 5 章の予備実験 3) より、2nd ボンディング部分の接合面積に依存していると判断し、接合部形状に着目した。(図-15a、b、c)

図-16、17のようにネック長さでは N₁ (μm) と N₂ (μm) に、また、テール幅では W₁ (μm) と W₂ (μm) にピークが見られた。

このことより次の 4 条件

J₁K₂L₃、J₁K₃L₃、J₂K₂L₁、J₃K₂L₁

が考えられるが、分散分析の結果、因子 L については、L₁ が最適条件であるため、

J₂K₂L₁、J₃K₂L₁

となり、因子 J のみが異なる。

接合力では大差ないが、ボンディング時のパッドへの損傷を考慮すれば、J₃ より J₂ の方が望ましいと考える。

したがって、2nd ボンディング条件は J₂K₂L₁ とした。

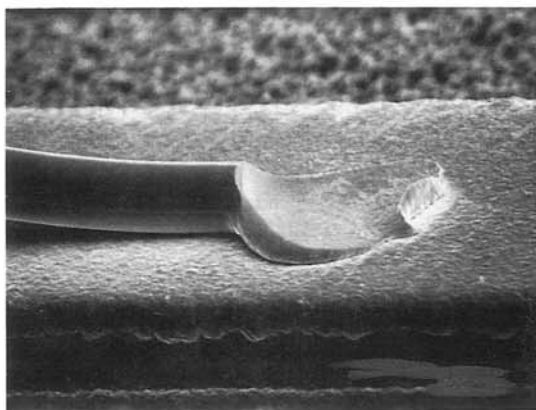
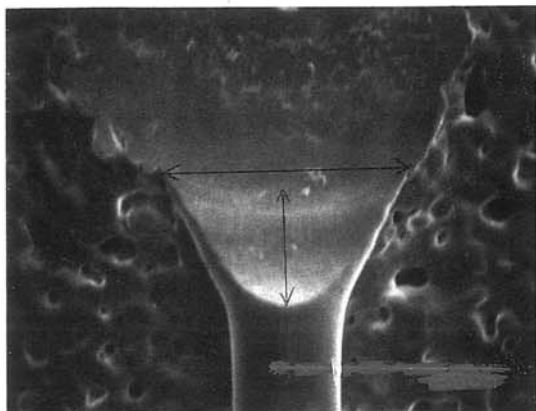
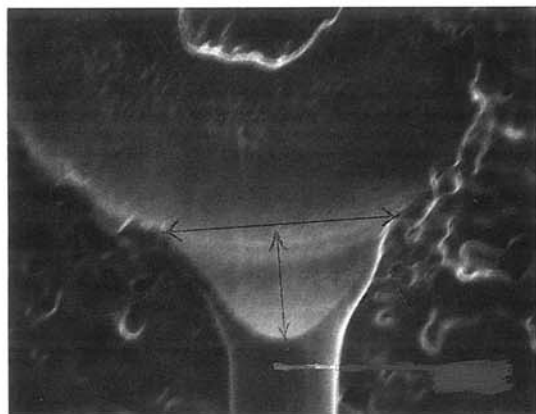
(a) 荷重適正 荷重= L_1 (b) 荷重適正 荷重= L_1 (c) 荷重荷大 荷重= L_3

図-15 2nd ボンディング部分 SEM写真

Fig. 15 Wire bond on the substrate side. (SEM)

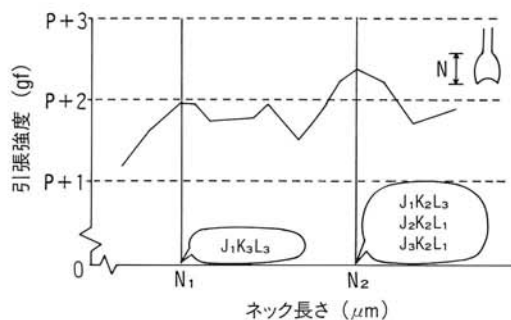
図-16 ネック長さと引張強度
(2nd ボンディング部分)

Fig. 16 The length of the neck vs the tensile strength on the substrate side.

7. 効果の確認

実験で求めた 1st ボンディング、2nd ボンディングの最適条件を用いて、接合力の確認実験を行ったところ、全ての値が目標値を上回っていることを確認し、信頼性試験においても、接合力に異常のないことを確認した。

図-18 に最適条件によるワイヤボンディング結果を示す。

なお封止樹脂等のその他の技術的問題（ダイボンディング条件、樹脂封止条件、基板設計基準等）については、すでに解決している。

また、COB (Chip On Board) 化に対応した

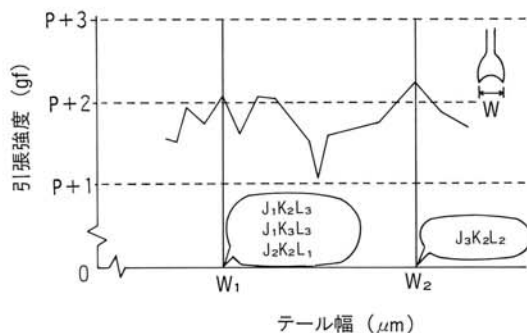


図-17 テール幅と引張強度 (2nd ボンディング部分)

Fig. 17 The tail width vs tensile strength on the substrate side.

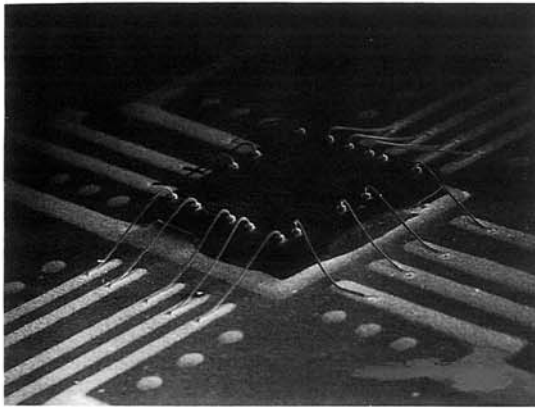


図-18 ワイヤボンディング外観図 (セラミック基板)
Fig. 18 Wire bond on the substrate. (Ceramics)

ガラス・エポキシ基板へのワイヤボンディングは、基板材質上ボンディング温度の低温化を行う必要があるが、これに対する最適条件も確立した。

図-19 に最適条件によるワイヤボンディング結果を示す。

8. お わ り に

今回の条件検討は、分散分析を用いて行ったが、その評価方法は、破壊試験である。

このため、量産時の品質評価では、全数適用できず、抜き取り検査となり、適切な方法とは言い難い。

今後は全数適用可能で、かつリアルタイムで接合部品質が確認できる手段を検討していきたい。

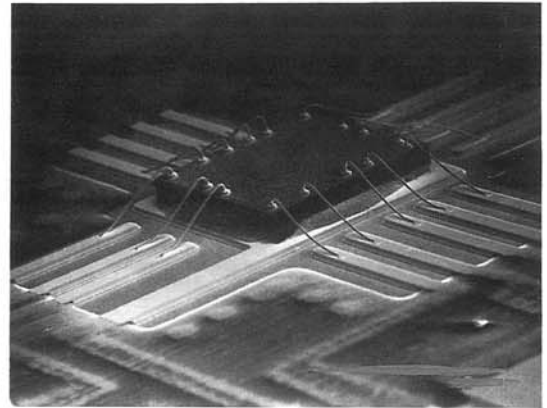


図-19 ワイヤボンディング外観図
(ガラス・エポキシ基板)
Fig. 19 Wire bond on the substrate.
(Glass-Epoxy)

参 考 文 献

- 1) 石川、斎藤：LSIアセンブリ技術、トリケップス、pp4、pp84 (1987)
- 2) 福岡：ハイブリッドテクノロジーの基礎Q & A 95例、日刊工業新聞社、pp28 (1985)
- 3) 高信頼性ハイブリッドIC用樹脂材料、住友ベークライト、pp2~3 (1984)
- 4) 浜田、林：精密接合技術集成、総合技術センター、pp342~355 (1986)
- 5) 番條：最近の半導体アセンブリ技術とその高信頼化・全自動化、応用技術出版、pp141~167 (1985)
- 6) 石川：LSIの信頼性とその対策、ミマツデータシステム、pp142~143 (1983)