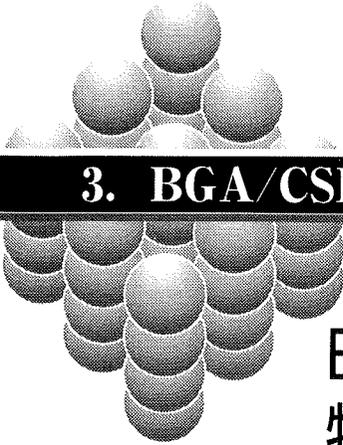


『電子材料』1998年5月号 別冊『実装技術ガイドブック1998年』別刷

BGA/CSP ソルダーレス IC ソケットの 特性と実用化技術

株式会社 **イス・イー・アール**



3. BGA/CSP編

BGA/CSPソルダレスICソケットの 特性と実用化技術

渡部 達己*

BGA/CSP用ICソケットとして、ソルダレス（SL；ハンダ付け不要）タイプの実用化の実現は、ICテスト、ハンドラ、IC評価、検査用としての応用、さらに量産用回路基板への実装、搭載で実機システム評価、検証において従来技術と商品を凌駕する利点をもたらした。本稿では、その接点機構、動作特性、さらに信頼性の検証を紹介し、実用化された技術の内容を紹介する。

回路基板へのハンダ付けを不要とするSL（Solderless）ICソケット（写真1）の最大の特徴は、接点に極細、極小の両端可動型実装プローブ（ダブルミニプローブ）を使用して、最高の機能と動作特性を実現したところにある。このソケットは、BGA、FBGAおよびCSPタイプのIC評価、テスト、検査、実装用を目的にして開発されたものである。しかも、10万回に及ぶIC装着負荷耐久回数をクリアすると共に、60 mΩ程度での安定した接触抵抗と3 GHzを超える高周波特性を持つことから、ICソケットの従来からの概念を革新するものである。

ここでは、特性、評価結果からソケットとしての実用化設計、信頼性の確認を詳述する。

高密度ソルダレスコンタクト

1. 基本的構造と特性

高密度ソルダレス（SL）コンタクトは、図1のような構造で、両先端にプランジャ（可動接点）、コイルスプリングおよびバレル（胴体）の4部品から成り立つ。構造の特徴からダブルミニプローブと呼ぶ。回路接点としての電流は、片端のプランジャからバレル内壁との接点、バレル本体を通り他端の接点、プランジャを通るパスで、そのほぼ99%が通る。

バレルの最大径は、図2のように0.35 mmから

0.75 mmまでいくつかの種類が用意されている。高密度コンタクト使用のガイドラインとしては、1.27 mmや1.00 mmのBGA、FBGA IC用ソケットの接点に0.75 mmφを、0.80 mm、0.75 mmのFBGA、CSPの接点に0.64 mmφを、0.65 mm、0.5 mmのCSP接点に0.4 mmφを使用している。

2. コンタクト形状

プランジャの先端形状は、BGAやCSPの接点形状により選択しており、図3の形状を基本とする。Vカット型は、ハンダボールの先端を傷付けずに受けるのに適している。槍型とRカット型は、ランドグリッドアレイ（LGA）に使用するが、一部CSPにも使用している。

3. 表面処理

ダブルミニプローブの素材の基本は、黄銅である。加工性の良さ、低コスト化、良好な電気的特性の理由から選んでいる。一部高耐久回数使用の目的で燐青銅、もしくはベリリウム銅を使用する。プランジャとバレルは、3 μm程度のニッケル下地メッキに0.25 μmの金メッキ処理をしている。スプリングは、金フラッシュメッキである。防錆と低接触抵抗を得る目的である。

4. 接圧と接触抵抗の検証

図4は、SL ICソケットとしてソケットハウジング（ベースソケット）にダブルミニプローブの取り付け図である。図5は、実際の使用に則し、接圧と接触抵抗を測定する際の動作モデルである。プレスヘッドとPCBランド間でそれぞれは測定される。ダブルミニプローブは、フリーに立たせプレスヘッドで静かに昇

*Watabe Tatsumi

エス・イー・アール 営業部 部長

[〒108-0074 東京都港区高輪3-25-33 長田ビル]
[☎03-3473-4411]

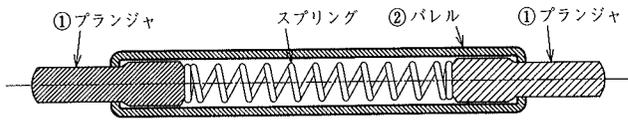


図1 ダブルミニプローブの構造

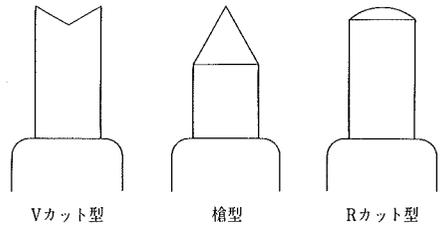


図3 プランジャ先端形状

(仕様)
 動作可能範囲 0.55mm(トータル)
 スプリング圧力 0.55mmストローク時 20±5g (トータル)
 定格電流 0.3A
 使用温度範囲 -20~+85℃
 耐久回数 0.28mmストローク時 20,000回(トータル)
 0.55mmストローク時 5,000回(トータル)

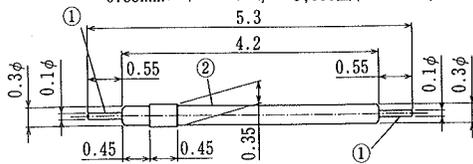


図2 ダブルミニプローブ

降させてとったデータが図6である。

この種の応用では、接触抵抗 100 mΩ 以下程度、接圧 40 g 以下程度が望まれる。このプローブは、測定結果により 0.2 mm から 1.0 mm が適正動作となる。実用上は、たとえば PCB サイド(下)のプランジャを 0.35 mm トラベルストロークし、BGA, CSP サイド(上)のプランジャを 0.45 mm トラベルストロークさせて使用する。プランジャのトータル動作距離が 0.80 mm であり、35 g 程度の荷重となる。ここでは、PCB サイドのプランジャは、ボールサイドのプランジャが 0 mm 動作時でも 0.15 mm のトラベルストロークに余裕があり、それだけの動作マージンを持つ。また、BGA サイドのプランジャ先端に回路端子が接触したとき、0.35 mm 以上のトラベルストロークを、すでに PCB サイドのプランジャが確保しているた

め、0.0 mm 以上のトラベルストロークから十分に低い接触抵抗が得られている。

多少、ダブルミニプローブの取り付け位置がばらばらであっても、両端プローブの動作量の和で接触圧と接触抵抗が求まる特徴は、多ピンでの使用時に全ピンがほぼ同じ接圧と接触抵抗値にまとまる。このダブルミニプローブによる SL IC ソケットの場合、数十本から千数百本以上ものコンタクトをまったく同時に動作させるが、この大きな動作マージンと全端子がほぼ同じ接触抵抗値になる特徴は、ハンダ付け不要な回路接点端子として BGA, CSP のみならず QFP, LCC などあらゆる表面実装タイプのソケットやコネクタに使用できる。

ソルダーレス (SL) IC ソケット化への検討

1. コンタクトのアレイ化

ダブルミニプローブの実使用形態は、マトリックス配列である。図7に、その概念図を示す。ハウジングに加工性や特性を考慮してポリエーテルイミド (PEI) を使用している。測定端子2ピンの周りは GND 端子とする。測定基板は特性インピーダンス 50 Ω で用意し、被測定端子ハウジングを装着し特性インピーダンス設計の2次回路基板をハウジングに装着する。2次基板の端子処理は、オープン、ショートおよびスルータイプを用意した。

2. 周波数特性の評価

図8は、ハウジングされた測定端子の等価回路図である。表1は、等価回路上の各エレメントの値である。シミュレーションを行う際の実モデルの想定値であるが、結論としてほぼこの値がこれらダブルミニプローブの特性値である。

シミュレーションは、HP マイクロデザインシステムソフトウェアにより、SPICE 互換となる上記の等価回路モデルから求めている。実際の測定は、HP 8510 ネットワークアナライザに 450 μm ピッチ GGB ピコプローブを繋いで行っている。計測は、四端子回路網の S パラメータと隣接ピンへのクロストークの測定である。

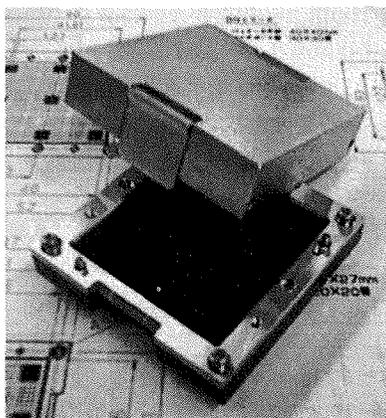


写真1 BGA/CSP SL IC ソケット

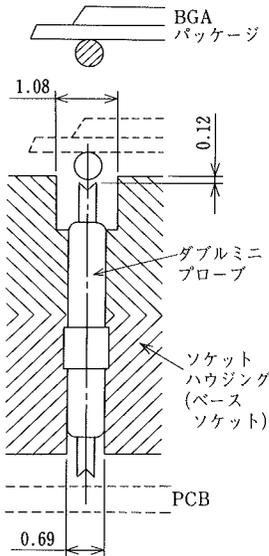
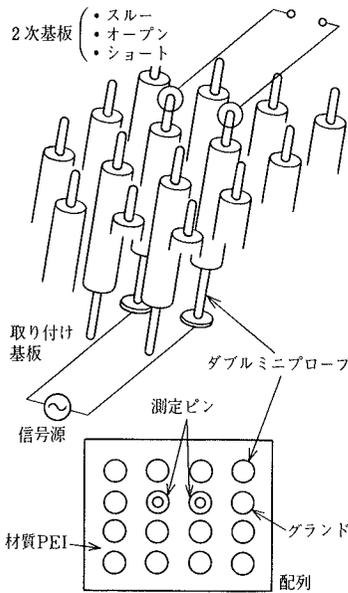
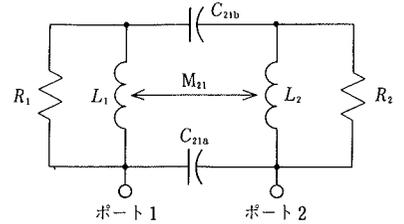


図4 ダブルミニプローブ
 取り付け図



←図7 コンタクトのアレイ化



(エレメント定義)

- L_1, L_2 :ピン自己インダクタンス
- M_{21} :隣接ピン間の相互インダクタンス
- R_1, R_2 : L_1, L_2 インダクタンスのシャントレジスタンス
- C_{21a}, C_{21b} :相互キャパシタンス

図8 等価回路図

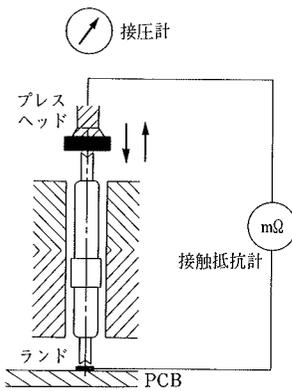
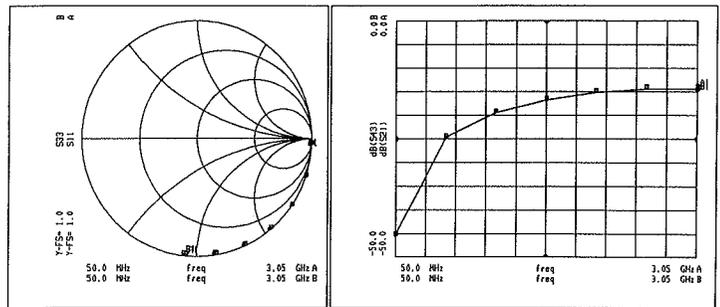


図5 測定動作モデル



周波数特性測定

クロストーク測定

図9 オープン測定

表1 等価回路エレメント値

L_1 & L_2	M_{21}	R_1 & R_2	C_{21a}	C_{21b}
2.4 nH	0.4 nH	750 Ω	0.03 pF	0.06 pF

MHz) から約 3 GHz までの測定である。当然 0 GHz においては、無限大の実数軸点のインピーダンスである。0.5 GHz, 1.0 GHz と周波数を上げてゆくと虚数部チャートの円周に沿って降りてゆき、きわめて安定的なインダクタンスエレメントである。また、クロストークは、3 GHz においてもほぼ -14 dB が確保されている。

図10 は、2次基板ショートでの測定結果である。ショート回路ゆえ、0 GHz ではスミスチャート左端実数軸 0 Ω となり、そこから円周を上っている。3 GHz 付近では、少し相互キャパシタの影響を受けて円周の内側に入り込んでいるが、安定的なエレメント

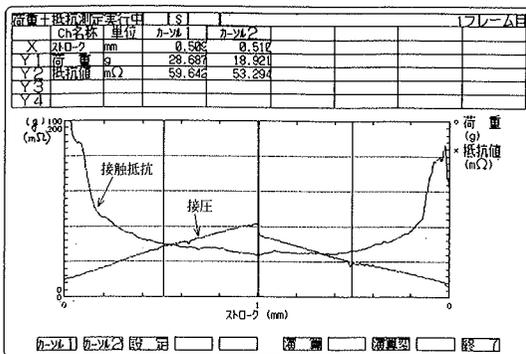


図6 接圧と接触抵抗

図9 は、2次基板オープンでの測定結果である。スミスチャート上に実測値を Δ マークで、シミュレーション値を \square マークで示してあり周波数は、0 GHz (50

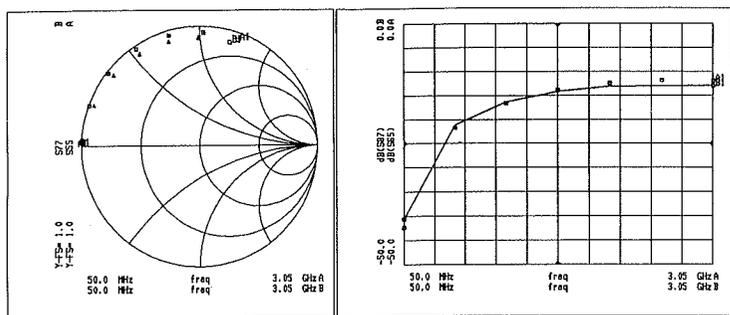


図10 ショート測定

周波数特性測定

クロストーク測定

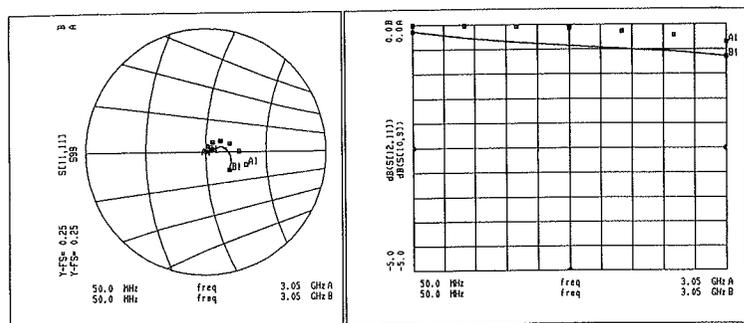


図11 スルー測定

周波数特性測定

減衰特性測定

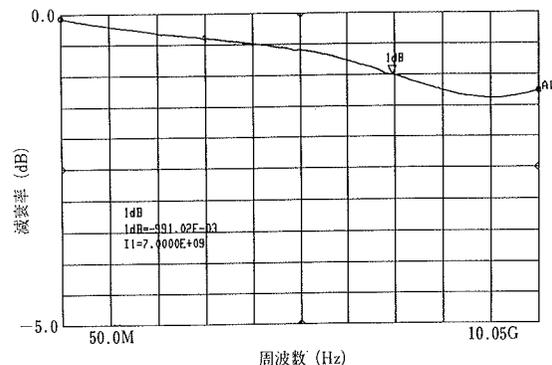


図12 周波数特性の測定

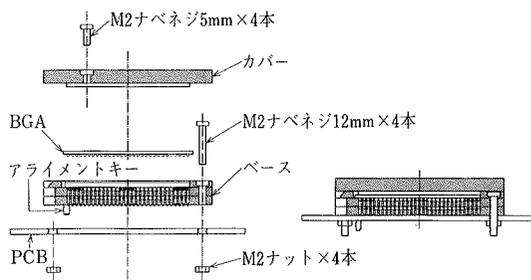


図13 SLICソケット装着 (スクリューキャップ)

であると考えられる範囲である。クロストークもほぼ-13 dB程度を確保している。

図11は、スルー基板での測定である。インピーダンスパラメータ (Z_{12} , Z_{21}) あるいはアドミタンスパラメータにおいて伝達パラメータ値としては、ここでは測定結果が実数軸上に集中していることが求められ、ほぼその中心に集中し位置している。また、信号の減衰特性の測定では、3 GHzにおいて約-0.6 dB程度である。

図12では、周波数をさらに10 GHzまで伸ばして減衰率を確認したものである。具体的には、-1 dBでの周波数が7 GHzであるが、測定ピン位置の環境をGNDで囲まれな

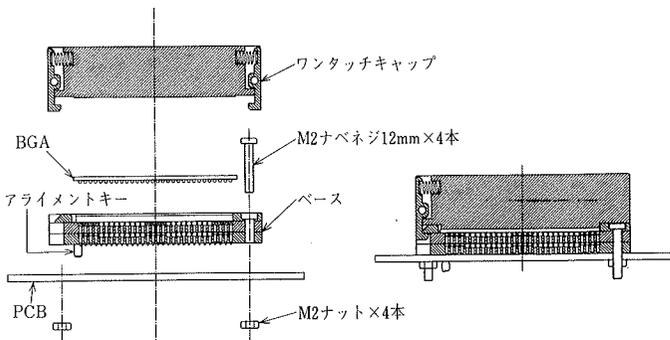


図14 SLICソケット装着 (ワントッチキャップ)

いコーナーへ移すと同周波数が5.8 GHz程度となる。

実用性の確認

前述の確認結果からは、接触抵抗と接圧の関係は十分に動作マージンを入れて、SLICソケットが実現できることを明示しており、またソケット端子配列はICパッケージの端子配列によりコンタクト配列が決定され、任意特性インピーダンス化が難しいもののソケットでのダブルミニプローブ使用は、高い周波数動作時でも実数軸上での安定的特性が約束され、革新的な実用性を確信できる。

ソルダーレスICソケットの基本構成

1. 基板への装着とBGA, CSPの保持

図13は、SLICソケットのPCB基板への装着概念と、パッケージのソケットでの保持方法の略図である。ダブルミニプローブをコンタクト端子とするSLICベースソケットは、ソケットの4コーナーのスルーホールとPCB基板のスルーホールを通してネジ止めして固定される。BGAやCSP ICパッケージは、ソケットキャビティに収めてカバーをネジ止めで、あるいはワンタッチキャップ形式(図14)他で押さえて止める。これにより基板回路パターンは、ダブルミニプローブのスプリング圧力で接触する片端とパレルおよび反対側の片端を通し、ICパッケージの回路端子に接続される。

2. ソケット構成, 設計, 製作

BGA (LGA), CSPのパッケージは、仕様、技術と特徴がさまざまである。SLICソケットは、サイズ、コンタクト(ボールやランド)ピッチ、配列にかかわらずすべてに対応している。1.27 mmピッチのBGA用ソケットの組立図を図15に示す。BGAパッケージ35×35

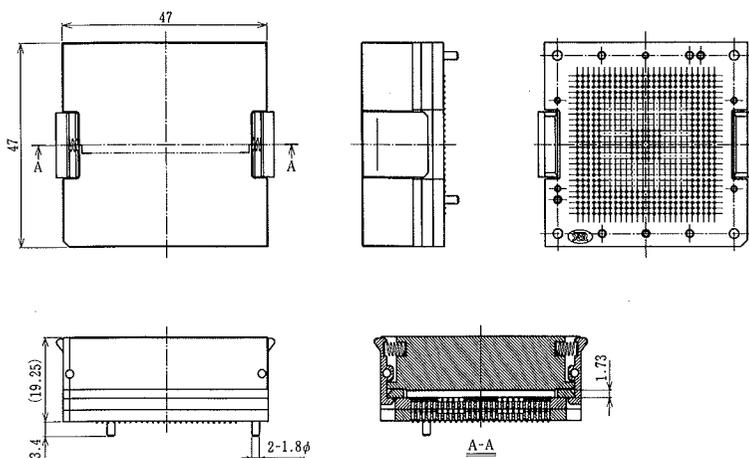


図15 BGA用SLICソケット

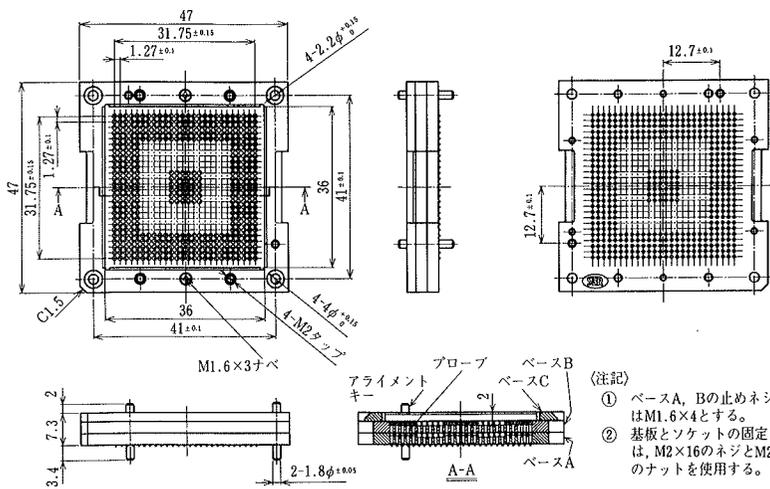


図16 ベースソケット

(注記)
 ① ベースA, Bの止めネジはM1.6×4とする。
 ② 基板とソケットの固定は、M2×16のネジとM2のナットを使用する。

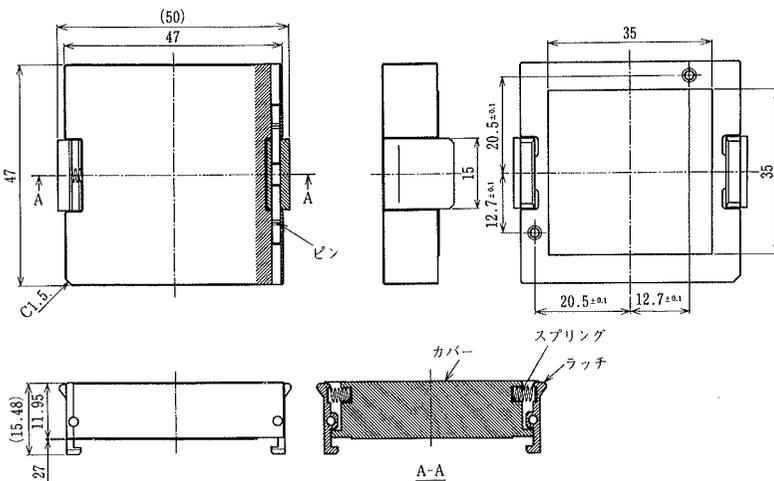
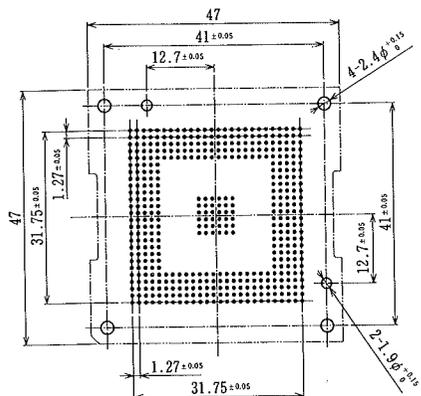


図17 キャップ



(注記)
 ① 製品搭載面から見た図面である。
 ② PCBランドサイズは0.6以上とする。

図 18 基板配置図

→図 19 BGA 1.27 mm ピッチシリーズ

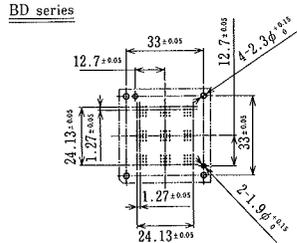
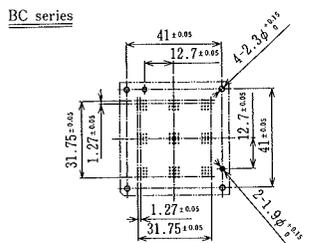
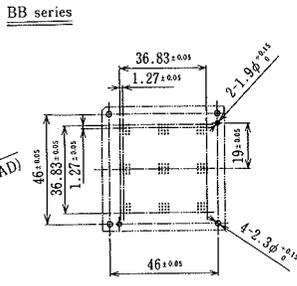
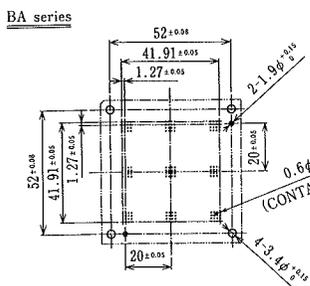
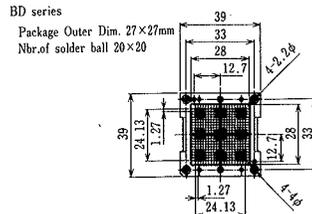
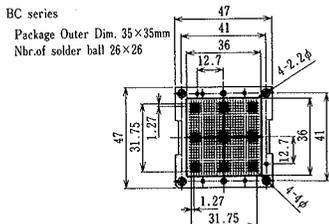
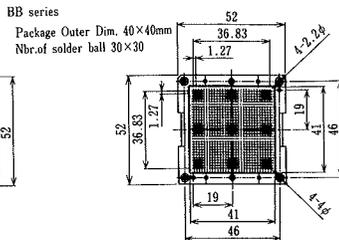
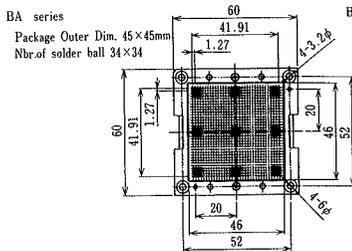
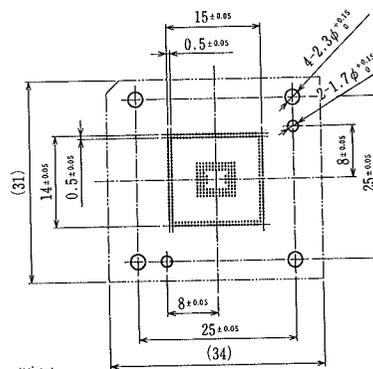


図 20 BGA シリーズ PCB 基板配置図



(注記)
 ① 製品搭載面から見た図面である。
 ② PCBランドサイズは0.35φ以上とする。

図 22 基板搭載パターン図

mm サイズ、456 ボール対応である。一般的には PC のチップセットや ASIC の搭載が多い。ベースソケット図は、図 16 である。26×26 の配列に対してパッケージ配列パターンに同じ配列でダブルミニプローブを配列充填している。配列充填はいかようにも変更できる。パッケージのソケット内での位置どりは、ベースソケットのボール収納ホールによるボールアライメントで一義的に整置される。図 17 は、キャップ (ワンタッチ) である。

図 18 は、このソケットを搭載する回路基板のパターン配置、ソケット取り付け穴とアライメント

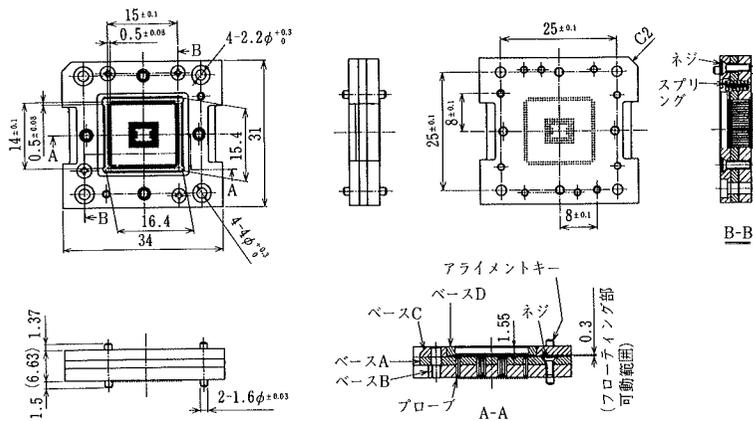


図 21 0.50 mm ピッチ CSP SL IC ソケット

図 23 接触抵抗耐久試験

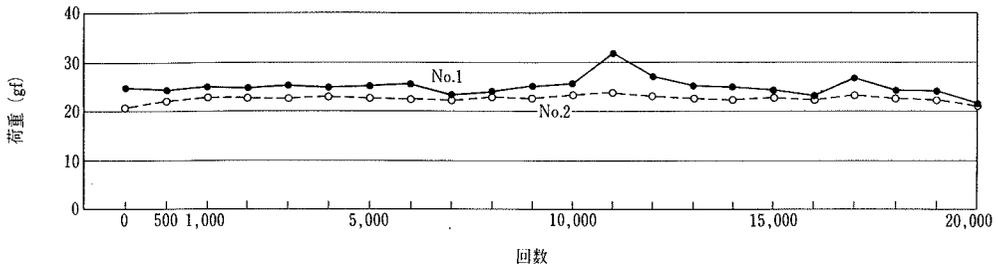
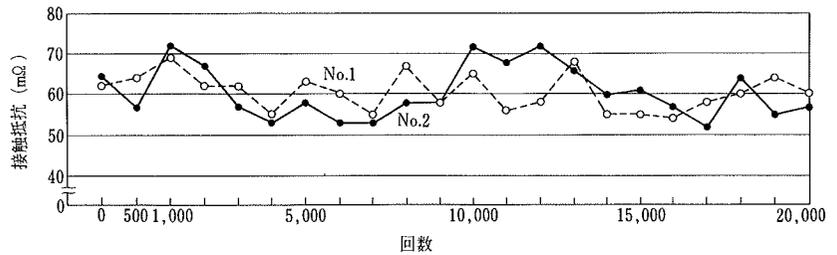


図 24 接圧耐久試験

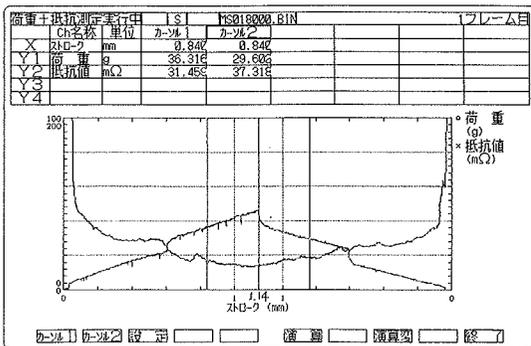


図 25 初期特性

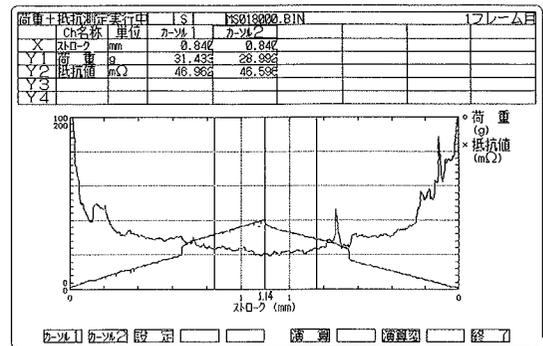


図 26 2万回時の特性

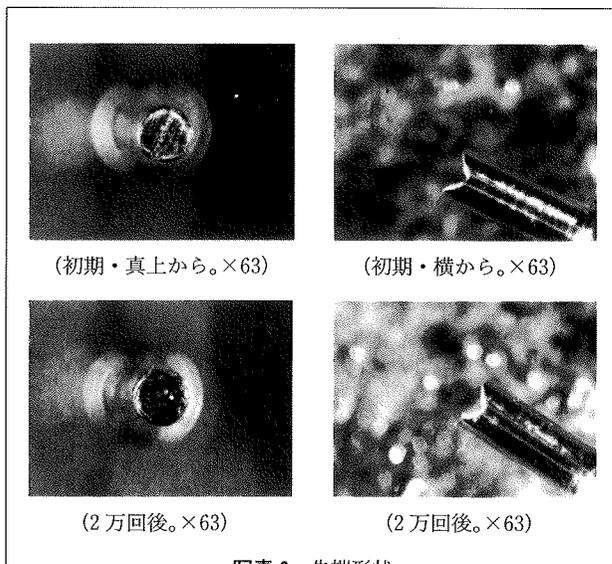


写真 2 先端形状

キー位置である。BGA パッケージの実装搭載ルールに同一であり、このことはソケットを取り付けずに量産時などの直接 IC 実装が可能とし、開発評価と量産の共用の実用性を意味し、システム設計、開発者は ASIC やシステムの開発時の開発評価回路基板と量産用基板の共用という利点を享受できる。

図 19 は、ほぼすべての 1.27 mm ピッチ BGA パッケージに対応可能なシリーズのベースソケット図であり、図 20 はそのシリーズの基板パターン配置図である。

16×16 mm, 326 コンタクト, 0.50 mm ピッチの CSP 用 SL IC ソケットのベースソケット設計図を図 21 に示す。IC テスタおよび検査用ソケットを目的に設計され、主に IC ハンドラ対応の構造である。ソケットは、ボールアライメント方式

とリフト方式の併用で、パッケージを一旦ディッシュで受けてボールアライメント整置し、キャップもしくはハンドラヘッドでディッシュごとパッケージを押し下げて（リフト降下）回路接続させる。したがってベースソケットは、ディッシュを含む数枚の構造である。極小なボールに対しても十分なコンタクト動作距離を確保でき、かつコンタクトの動作特性を損なうことなく使用できる。回路基板への搭載は、図 22 による。前述 BGA 同様、パッケージ実装搭載時に必要とする設計マナーに同じである。

1.0 mm、0.8 mm や 0.75 mm ピッチの場合にもダブルミニプロープの配列ピッチと配列パターンを使用するパッケージにまったく同一にし、1.27 mm 用ソケット、0.50 mm 用ソケットと同様の構成と特性で実現している。

信頼性の確認

1. 負荷耐久試験結果

IC ソケットとしての負荷動作回数が 2 万回以上に至るときの接触抵抗値、コンタクト接圧値の動作経過値を表わしたのが図 23 および図 24 である。図 25 は、この時の初期動作特性を、図 26 は 2 万回動作後の特性を測定した結果である。写真 2 は、初期と 2 万回動作後それぞれのコンタクト先端形状の変化を確認し、図 27 で先端表面の分析（ASE；オージェ電子分光法）した結果である。

分析結果では、ニッケル（Ni）下地メッキおよび金（Au）メッキの上層面にハンダ（Sn、Pb）の残留が確認できる。接触特性にはこの時点では問題になっていないが、残留量や厚さが大きいとき、たとえばこの分析結果の 2 倍程度のピーク値で検出された時（別の分析結果（図 28））には、高抵抗値の問題端子になっている。これは、極端な衝撃接触が数千回、数万回と継続され続ける時に現われ、回避可能な問題であるが特にハンドラでの応用時は注意を要する。

2. 試験結果

振動試験結果を表 2 に示す（回路瞬断の問題なし）。耐衝撃試験を表 3 に示す（回路瞬断の問題なし）。高温放置試験を表 4 に示す（問題なし）。

SL IC ソケットの幅広い応用

回路基板への実装時にハンダ付け不要とする

AES PROFILE V/F ALT. 11/7/97 EL-P01 REG 6 AREA 1 SPUTTER TIME=21.50 MIN.

FILE: 134n108 #600d

SCALE FACTOR= 205.169 k c/s, OFFSET= 0.000 k c/s

BY=6.00KV BI=0.00000UA

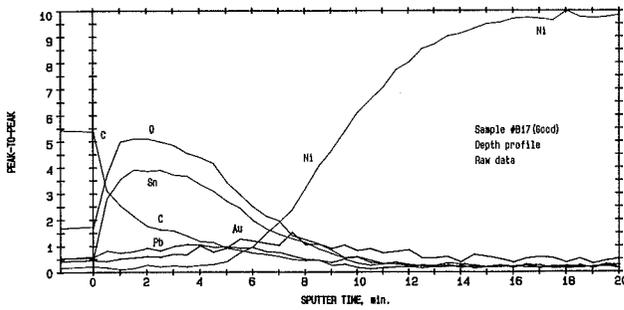


図 27 ASE 先端表面分析

AES PROFILE V/F ALT. 11/7/97 EL-P01 REG 6 AREA 1 SPUTTER TIME=20.00 MIN.

FILE: 134n106 #N.G.

SCALE FACTOR= 151.719 k c/s, OFFSET= 0.000 k c/s

BY=6.00KV BI=0.00000UA

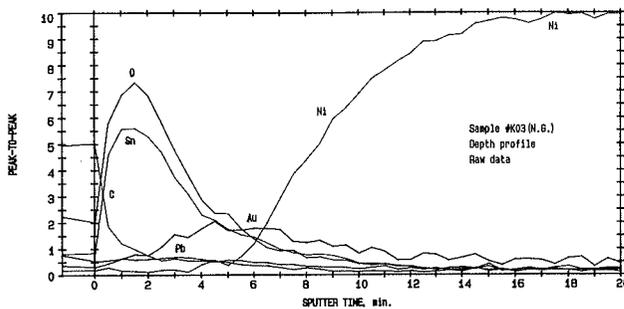


図 28 ASE 先端表面分析（高接触抵抗）

表 2 耐振動試験

試験方法、判定	<ul style="list-style-type: none"> MIL-STD-202 方法 204 条件：A（周波数：10～500 Hz，X・Y・Z 方向に各 2 時間） プローブのトータルストロークを 0.84mm で固定。 試験中、1μs を越える回路オープンがないこと。また、外観に異常がないこと。
試験装置	<ul style="list-style-type: none"> 振動試験機 メーカー名：エミック 型名：F-400 BN-E 47 回路オープン測定器 10 ch-Circuit Open Detector
試験結果	異常なし

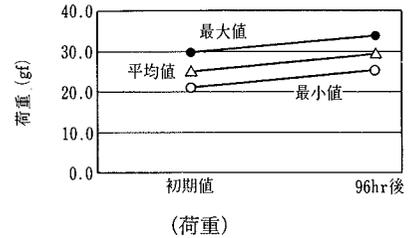
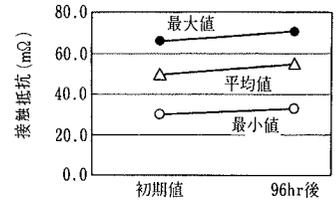
表 3 耐衝撃試験

試験方法、判定	<ul style="list-style-type: none"> MIL-STD-202 方法 213 条件：A（半波正弦波，50 G，11 ms，X・Y・Z 方向に各 2 回） プローブのトータルストロークを 0.84mm で固定。 試験中、1μs を越える回路オープンがないこと。また、外観に異常がないこと。
試験装置	<ul style="list-style-type: none"> 衝撃試験機 メーカー名：米 AVEX 型名：SM-110-3 P 回路オープン測定器 10 ch-Circuit Open Detector
試験結果	異常なし

表 4 高温放置試験

試験方法、 判定	<ul style="list-style-type: none"> ・MIL-STD-202 方法 108 ・条件：A (温度：85°C±2°C, 96時間) ・プローブのトータルストロークを0.84mmで固定。 ・耐電圧, 絶縁抵抗, 接触抵抗, 荷重を満足すること。 												
試験装置	小型高温チャンバ「MODEL：STH-120」(タバイエスペック)												
試験結果	<table border="0"> <tr> <td>耐電圧</td> <td>初期 AC500V 1分間</td> <td>試験後 AC300V 1分間</td> </tr> <tr> <td>絶縁抵抗</td> <td>初期 500 MΩ 以上</td> <td>試験後 300 MΩ 以上</td> </tr> <tr> <td>接触抵抗</td> <td>初期 200 mΩ 以下</td> <td>試験後 300 mΩ 以下</td> </tr> <tr> <td>荷重</td> <td>初期 30±10 g</td> <td>試験後 30±20 g</td> </tr> </table>	耐電圧	初期 AC500V 1分間	試験後 AC300V 1分間	絶縁抵抗	初期 500 MΩ 以上	試験後 300 MΩ 以上	接触抵抗	初期 200 mΩ 以下	試験後 300 mΩ 以下	荷重	初期 30±10 g	試験後 30±20 g
耐電圧	初期 AC500V 1分間	試験後 AC300V 1分間											
絶縁抵抗	初期 500 MΩ 以上	試験後 300 MΩ 以上											
接触抵抗	初期 200 mΩ 以下	試験後 300 mΩ 以下											
荷重	初期 30±10 g	試験後 30±20 g											

(接触抵抗)



特徴は、従来の IC ソケットが持つほぼすべての機能と特長を兼ね備えてかつ、接点端子、ソケットの修理、保守、再実装、回収可能というまったく新たな特長と機能を持っている。BGA, FBGA, CSP のみならず表面実装タイプの IC ソケットとして SOP, QFP, LCC に使用できる。

IC 開発評価用やインサーキットエミュレータヘッド用ソケットで使用の際は、別個に評価用ボード、エミュレータ用ボード用意の必要はなく、量産基板にそのまま SL IC ソケットを使用し、開発段階、試作や環境試験評価、市場評価を行える。パイロットプロダクションおよび量産では、IC を直接ハンダ付け実装する。IC のバージョン改訂など不測の事態の時は、SL IC ソケットを実装してシステムを出荷することもできる。開発から量産化への経費、期間の軽減、縮小をダイナミックに実現できる。

また、市場クレームによる IC の不良解析や再評価においては、IC の実装を外し回路基板のランドをきれいにし、SL IC ソケットをその上に装着して新しい

IC で、あるいは取り外した IC をソケットに入れて行うことができる。前述にもある、テストや評価試験用ソケットとして応用はもちろんである。

これらの使用、応用範囲は、ASIC, ASSP, FPGA, MCU, CPU, メモリあるいはリニア IC とあらゆる半導体製品について考えられる。

今後の展望と課題

IC ソケットを革新する故に、ソルダーレスの効果と評価には、理解と時間が必要でもある。しかし、システム開発環境とシステム構成部品としての革命的な利点を SL IC ソケットは備えており、IC ソケットやコネクタの主座近くを占め得ると考える。特に BGA, CSP 用 IC ソケットとしては、主流になり得る。

課題は数多く、さらなる高周波特性対応、空間効率の改善、装着法の改革などがある。しかし、低価格化が最も重要な課題である。そのための準備は、着々進んでいる。