ACF等を用いた接触実装構造における接続信頼性影響因子の解明

田中 直敬*, 河野 賢哉*, 三浦 英生*, 角 義之**, 吉田 育生**

Investigation of Design Factors for Evaluating Contact Joint Reliability Consisting of an Anisotropic Conductive Film (ACF)

Naotaka TANAKA*, Kenya KAWANO*, Hideo MIURA*, Yoshiyuki KADO** and Ikuo YOSHIDA**

*株式会社日立製作所機械研究所（〒300-0013 茨城県土浦市神立町502）

**株式会社日立製作所半導体グループ（〒187-8588 東京都小平市上水本町5-20-1）

*Mechanical Engineering Research Laboratory, Hitachi, Ltd. (502 Kandatsu-cho, Tsuchiura-shi, Ibaraki 300-0013)

**Semiconductor and Integrated Circuits Group, Hitachi, Ltd. (5-20-1 Josuihon-cho, Kodaira-shi, Tokyo 187-8588)

概要 ACF（異方性導電樹脂フィルム）等を用いたフリップチップ接合は、バンパ／電極間の導通と封止を1回の低温熱圧着で達成できるため、低コストな狭ピッチ接続技術として有力視されている。本研究では、バンパ／電極間の接触導通部に着目した接触解析を実施し、接続信頼性影響因子の検討を行った。その結果、温度サイクル冷却時の金バンパの塑性ひずみ量を設計パラメータにすることで、温度サイクル時の接続信頼性向上に有効な構造設計、材料設計が可能であることを示した。また耐湿試験下では、ビルドアップ層材料のガラス転移温度の影響でバンパの接触応力が減少する可能性があるため、ビルドアップ層材料の適正化が重要であることを示した。

Abstract

The application of anisotropic conductive films (ACF) to form interconnections between chips and substrates is one potential variation of flip chip technologies. Its appeal comes from the possibilities of forming very fine pitch interconnections that are not feasible with solder, avoiding the use of lead, and achieving simpler, lower cost processing. In this study, we evaluate the interconnection reliability of ACF joints based on a contact conductive mechanism by using a contact analysis. We have clarified the influence of the material properties of the ACF and the build-up substrate on the interconnection reliability during temperature cycling. The key factor that dominates the interconnection reliability is the amount of plastic strain of the Au bump at the contact face. Therefore, it is very important to control the plastic deformation of the Au bump. On the other hand, we found that the interconnection reliability during moisture resistance testing may deteriorate due to stress relaxation at near the glass transition temperature of the commonly used build-up material.

Key Words: ACF, Reliability, Au Bump, Plastic Strain, Contact Stress, Stress Relaxation

1. 緒言

半導体製品において、顧客の要求する高機能なシステムを最も小さく実現する方法は、システムをウエハ上で実現するSOC(System On Chip)技術である。しかしSOC技術によるシステムLSIは、顧客要求に対応した多品種・少量生産となり、加えてチップサイズの大型化により製造歩留まりが低下しやすく、高コスト化が避けられないという問題がある。一方、システム性能はSOCには及ばないものの、既存のLSI製品を先進の実装技術で高密度に実装し高性能なシステムを実現するSiP(System in Package)技術¹⁾が注目されている。

先進の実装技術にはさまざまな選択肢が考えられるが、200～300μm以上の接続ピッチで従来から広く適用されているものにC4(Controlled Collapse Chip Connection)²⁾によるはんだバンパ接合がある。一方、はんだでは実現が困難

な200μmピッチ以下のバンパ接続技術として金バンパを用いたフリップチップ技術がある。この金バンパを用いた接合方法には、金／金接合³⁾や金／はんだ接合⁴⁾のようにメタラジカルな接合技術とACF(Anisotropic Conductive Film)やACP(Anisotropic Conductive Paste)等を用いた非メタラジカルな接合技術がある。この中で非メタラジカルな接合はバンパ／電極間の電気的導通と封止プロセスを1回の低温熱圧着で達成でき、かつ鉛フリーで接続可能であることから、狭ピッチ接続を低コストで実現できる環境対応実装技術として有力視されている。最近では接続ピッチの微細化により導電性粒子の捕獲が困難になってきており、導電性粒子を添加しない非導電性フィルムを用いた非メタラジカルな実装方法も検討⁵⁾されている。

ACFを用いた実装構造は、液晶用のドライバICをガラス基板上に接続する方法として採用されてきたが、近年、低コストで有機基板への狭ピッチ接続を可能にする技術と

して、盛んに適用が進められている。ACF実装構造の接続信頼性に関する研究も多数報告されており、ロバスト手法を適用した接続信頼性への影響因子の検討^{6,7)}や、応力解析を用いた接続寿命予測方法の検討^{8,9)}等が報告されている。しかしいまだにACF実装の接続メカニズムあるいは接続信頼性を支配する設計パラメータの定量的な解明には至っていない。これは、ACFにおける電氣的導通がはんだ接続のような金属接合ではなく、基板電極との接触によって成り立っているためと考えられる。そこで本研究では、接触導通メカニズムの解明と接続信頼性評価技術の開発を目的とし、その第1ステップとして、有限要素法を用いた接触解析によりACF等の接触導通構造における接続信頼性の影響因子を検討したので、その概要について報告する。

2. ACFを用いた接触実装構造

ここで接触実装とは、はんだ接合のようにバンプ／電極間の合金反応によって金属接合された接合形態とは異なり、バンプ／電極間が接触によって電氣的導通を達成している接合形態を総称したものである。Fig. 1 (a)(b)にACFによる接続断面構造例を示す。Fig. 1 (a)に示すように、Alパッド上に金のスタッドバンプが形成されたLSIチップを、ACFシートが仮圧着された基板搭載エリアに200℃前後の温度で熱圧着することで、金バンプと基板電極との電氣的導通を達成すると同時にLSIの回路面がACFによって封止される。接合温度が200℃前後であることから、金バンプと金めっきされた基板電極間に金属接合が形成されることはなく、両者の接触のみで電氣的な導通が達成される。ACF圧接時の残留応力とACFの硬化収縮および圧着温度からの熱収縮によって両者の接触面に接触圧が生じ、電氣的な導通が達成されるものと考えられる。Fig. 1 (a)における断面では、金バンプと基板電極が直接接触して電氣的導通を達成しており、接触界面に導電性粒子は捕獲されていない。一方、Fig. 1 (b)の断面では、金バンプと基板電極との隙間に導電性粒子が捕獲され、間接的に電氣的導通が達成されている。このように導電性粒子は金バンプと基板電極間に隙間が生じて電氣的導通を補完する働きをしていることがわかる。しかしFig. 1 (a)の断面のように、金バンプと基板電極が直接接触することで電氣的導通が達成できれば、導電性粒子の挙動を考慮することなく低コストな実

(a) Cross section of direct contact between a bump and a substrate

(b) Cross section of indirect contact through conductive particles

Fig.1 Partial cross section of ACF interconnection structure

装プロセスで狭ピッチ接続を可能にすると考えられる。そこで本研究では、金バンプと基板電極の直接接触を前提とした接触実装構造の信頼性評価手法を検討することとした。

3. 接触接続部の信頼性評価方法

はんだ接続のように金属接合された接合形態については、例えば温度サイクル等の繰り返し負荷に対する疲労寿命という概念で定量的な寿命評価^{10,11)}を行うことが可能である。しかし、Fig. 1 (a)に示したように、金バンプと基板電極との直接接触によって電氣的導通を達成している場合、接続信頼性を定量的に評価する方法が十分には確立されていない。接触接続部の信頼性を評価する場合、LSIの製品性能に影響する接触導通部の接触抵抗を考慮する必要がある。一般に接触導通部の真の接触面積は接触面の接触力に比例し、接点材料の降伏応力に反比例する¹²⁾ことから、接触導通部の接触力と接点材料の降伏特性が接続信頼性を評価する上での重要因子であると考えられる。

そこで本研究では、金バンプと基板電極間の接触面の接触力に着目した有限要素法による接触解析を行い、ACF実装構造における接続信頼性評価を試みた。解析にあたっては接点材料の降伏特性も考慮し、金バンプと基板電極（めっき銅）を弾塑性体とした。解析モデル例をFig. 2に示す。本モデルでは、80μmピッチで直径約50μmのスタッドバンプが搭載されたLSIチップ（厚さ0.4mm）を、ビルドアップ層を有する有機基板にACFを用いて実装した

Fig.2 Schematic stress analysis model

構造を想定しており、Fig. 2 中に示した寸法は熱圧着後の接続断面構造となっている。解析は2次元平面応力2次要素（板厚指定）を用いた熱弾塑性接触解析（ABAQUS® ver.5.7）とし、以下に示した前提に基づき行った。

- 1) 金バンプ接触面に作用する接触応力は、主にACF実装構造の厚さ方向の熱変形に依存することから、1バンプ領域のみをモデル化した。
- 2) 金バンプ接触面に作用する接触応力は、ACFの圧着温度からの熱応力のみを考慮し、圧着過程におけるACF流動硬化時の残留応力の影響を考慮しない。
- 3) 金バンプ接触面は平坦であり、すべり摩擦は考慮しない。

上記の解析前提2)にあるACF流動硬化時の残留応力は、圧着温度からの熱応力に併せ、定量的な接続信頼性評価を行う上で無視できない因子であると考えられる。しかし上記残留応力の影響は、圧着荷重や温度に対するACFの排斥状態や、接続されるピン位置にも依存することが予想されることから、現段階では定量化が困難な因子である。そこで本研究ではまず、電気的な接続を達成するための最低条件として、ACF圧着温度でストレスフリーを仮定し、熱圧着によって金バンプ／基板電極間のACFの排斥のみが完了した解析モデルを基準に解析評価を行うこととした。Table 1 に解析に用いた材料定数を示す。金バンプと基板電極（めっき銅）は弾塑性体とし、その他の材料は弾性体とした。金バンプおよび基板電極の降伏特性は、それ

Table 1. Material properties of components

Component	Young's modulus (MPa)	Thermal expansion coefficient 10 ⁻⁶ /℃	Yield stress (MPa)	Glass transition temperature (℃)
LSI	192000	3	—	—
ACF-1	1200	80	—	140
ACF-2	5000	35	—	150
PIQ	3000	55	—	200
Resist	1100	115	—	140
Build-up-1 (common use)	3000	80	—	75, 200
Build-up-2 (similar to FR-4)	20000	15	—	140
Core layer	20000	15	—	140
Au bump	80000	14	70	—
Cu pad	67500	17	100	—

ぞれワイヤボンディング用金ワイヤの引張試験結果、めっき銅箔試験片の引張試験結果を用いて定義した。先に述べた金バンプ接触面の接触力発生に影響する因子として、ACF材料と基板を構成するビルドアップ材料の物性を解析パラメータとして検討した。これらの物性は実存する材料の物性データを考慮し、ACF-1はフィラー含有していない低弾性・高熱膨張タイプ、ACF-2はフィラーを高充てんした高弾性・低熱膨張タイプの材料に相当する。また、Build-up-1は一般のビルドアップ層材料として広く適用されている低弾性・高熱膨張タイプ、Build-up-2は通常コア材として用いるFR-4をビルドアップ層材料として仮定した高弾性・低熱膨張タイプの基板をそれぞれ想定したものである。

4. 温度サイクル環境の接続信頼性評価

温度サイクル試験に対するACF接続構造の接続信頼性を評価した。Fig. 3 に温度サイクル試験の接続信頼性を評価するための解析条件を示す。ACFの熱圧着温度（180℃）から室温への冷却と、その後の-55℃／125℃の温度サイクル負荷を繰り返し与えた。

Fig. 4 (a)(b)は、高弾性・低熱膨張Build-up-2（FR-4相当）で構成された搭載基板に実装した場合の、温度サイクル試験中の金バンプ接触面中央部における垂直方向の接触応力変化と塑性ひずみ変化を示している。Fig. 4 (a)は低弾性ACF-1、(b)は低熱膨張ACF-2の場合の解析結果をそれぞれ示している。ACF圧着温度からの冷却によって金バンプ接触面に圧縮の接触応力が生じると同時に、冷却過程において接触面近傍で金バンプが降伏し、塑性ひずみが生じていることがわかる。温度サイクル試験の下限温度である

Fig. 4 Normal contact stress and plastic strain during temperature cycling of an Au bump at the contact interface for mounting on a high-elasticity build-up substrate

Fig. 5 Normal contact stress and plastic strain during temperature cycling of an Au bump at the contact interface for mounting on a low-elasticity build-up substrate

-55°Cから再加熱されると金バンプ接触面の接触応力は急速に減少し、いずれも上限温度である125°Cに達する前に零になってしまう。しかし、昇温過程において接触応力が消失する温度(金バンプと基板電極の接触面が離れる温度)はACF材によって異なり、低弾性ACF-1の方が低熱膨張ACF-2を用いた場合より低温側に到達し、温度サイクル昇温時の接続マージンの低下が著しいことがわかる。これはFig. 4 (a)(b)に示すように、ACF-1の線膨張係数が大きいため、冷却過程において金バンプの塑性変形(永久変形)が加速され、金バンプ接触面に大きな塑性ひずみが生じたためである。したがって、温度サイクル環境の接続マージンは、冷却過程で生じた金バンプの塑性ひずみ量に依存することになり、温度サイクル昇温過程における接続信頼性を評価する場合、その前の温度サイクル冷却時に生じる金バンプの塑性ひずみ量が重要な設計パラメータになると考えられる。すなわち、金バンプの塑性ひずみ量を小さく抑える構造あるいは材料設計を行うことで、温度サイクル昇温過程における接続マージンを増加できると予想される。

Fig. 5 (a)(b)は同様に、低弾性・高熱膨張Build-up-1(一般適用材)で構成された基板に実装した場合の、温度サイクル試験中の金バンプ接触面中央部における垂直方向の接触応力変化と塑性ひずみ変化を示している。Fig. 5 (a)は低弾性ACF-1、(b)は低熱膨張ACF-2の場合の解析結果をそれぞれ示している。Fig. 4 (a)(b)と比較すると、ACF-1を用いた場合においても、温度サイクルの昇温過程において接触応力が消失する温度は高くなっており、接続信頼性が増加しているのがわかる。ACF-2を用いた場合には、温度サイクルの上限温度である125°Cでも金バンプ接触面の接触応力は十分に維持されており、圧接時の残留応力を考慮しなくても十分な接続信頼性を確保できるレベルにある。これは、Fig. 5 (a)(b)に示すように、温度サイクル冷却時の金バンプの塑性ひずみ量がFig. 4 (a)(b)の場合に比べて小さくなっているためである。Fig. 6のSEM写真の例で示すように、基板を構成するビルドアップ層が低弾性(低剛性)である場合、ACFと金バンプとの熱変形差を低弾性なビルドアップ層が吸収し、金バンプの塑性変形を抑制するためと考えられる。以上の検討結果から、ACF等の接触実装における温度サイクル環境の接続信頼性評価は、温度サイクル

Fig. 6 Partial cross section of ACF interconnection structure when mounted on a low-elasticity build-up substrate

冷却時の金バンプの塑性ひずみ量を設計パラメータとすることで、接続信頼性の向上に有効な構造設計(例えばチップ、基板厚さやバンプ高さ、サイズ等)、あるいは材料設計(構成材料の物性)の評価が可能であることが明らかになった。

Fig. 7に、Fig. 5 (a)で示したACF-1を用いた場合の、温度サイクル試験中の金バンプ接触面中央部における垂直方向の接触応力変化と基板電極(めっき銅)の塑性ひずみ変化を示した。Fig. 5 (a)(b)より、基板を構成するビルドアップ層を低弾性とする事で金バンプの塑性変形が抑制され、温度サイクル時の接続信頼性が増加することを示した。しかし、Fig. 7で示すように、金バンプの塑性変形は抑制されるものの、基板電極であるめっき銅に塑性変形が生じていることがわかる。これはFig. 6のSEM写真で示したように、金バンプ接触面のビルドアップ層の熱変形が大きく、必然的に基板電極の変形も大きくなることに起因していると考えられる。図中の温度サイクル下限温度(-55°C)からの昇温過程に着目すると、金バンプに生じた接触応力の除荷過程は金バンプの弾性変形範囲内であるため、温度変化に対して線形関係で減少するはずである。ところが昇温過程の途中(約40°C)で減少勾配が変化し、より急

Fig. 7 Normal contact stress of an Au bump and plastic strain of a Cu pad at the contact interface during temperature cycling for mounting on a low-elasticity build-up substrate

激な減少傾向を示している。この金バンプ接触応力の減少勾配の変曲点は、基板電極であるめっき銅が再降伏する温度と一致している。すなわち、基板電極が昇温過程で再降伏することによって、昇温過程の途中で基板からの接触反力が低下し、金バンプ接触応力の減少を加速させたと考えられる。基板電極の塑性変形を考慮しなければ、図中に矢印で示したように接続マージンは大幅に改善されるはずである。ビルドアップ層の低弾性特性に起因した基板電極（めっき銅）の塑性変形は、温度サイクル時に留まらず、ACFの圧接プロセス時においても発生し、初期的に接続マージンを低下させる可能性もある。したがって、ACF等の接触実装における温度サイクル時の接続信頼性をさらに改善するには、ACF圧接時および温度サイクル時の基板電極の塑性変形も考慮したビルドアップ層の材料特性の適正化が必要であると考えられる。

5. 耐湿試験環境の接続信頼性評価

次に、耐湿試験に対するACF構造の接続信頼性評価を試みた。耐湿試験とは、例えば85℃/85%のような加速吸湿環境下に長期間放置した際の信頼性評価である。前節で示したように、85℃まで加熱されると金バンプとACFとの熱膨張差が緩和され金バンプの接触応力は減少するが、その後の温度一定下では接触応力も一定に保持されるため、その後の接続信頼性の低下は考えにくい。しかしTable 1に示したように、一般にビルドアップ層材料として用いられているBuild-up-1は、一般的な加速試験条件（85℃/85%）に近い75℃付近にガラス転移温度を有している。したがって、耐湿試験環境におけるビルドアップ層材料の変形挙動は弾性変形ではなく、時間に依存した粘弾性挙動である可能性がある。そこで、耐湿試験環境の接触接続部信頼性に及ぼすビルドアップ層材料のガラス転移温度の影響を検討した。

Fig. 8は、ビルドアップ層材料の応力－ひずみ関係を室温と85℃で測定した結果である。恒温槽付きの高精度引張試験機を用いて、50×10×0.03mmのシート状試験片の引張試験を実施した。引張試験における変位速度は10μm/sとし、実際の実装構造において想定されるひずみレベルで試験を行った。Fig. 8に示すようにビルドアップ材料の応力－ひずみ曲線の傾きから算出される弾性係数は、室温においてはTable 1に示したカタログ値（3GPa）とほぼ一致

Fig.8 Stress-strain curve for commonly used build-up material

するが、85℃においては室温に比べて弾性係数が1/3程度に低下していることがわかる。これは一般にガラス転移温度の影響を反映した結果と考えられる。Fig. 9はFig. 8と同じシート状の試験片を用いて、実際の実装構造において想定される0.5%レベルの初期ひずみ（ ϵ_0 ）を与え、変位保持（ひずみ保持）したときの引張応力の保持時間に対する変化を測定した結果である。測定はFig. 8と同様、同じ試験機を用いて室温と85℃において実施した。Fig. 9に示すように、室温においては変位保持した直後にいったん応力緩和現象が見られるが、その後徐々に回復し、10時間の保持においてほぼ初期と同レベルの引張応力を維持していることがわかる。一方85℃においては、変位保持した直後の応力緩和も室温に比べて著しく大きく、わずか5時間の変位保持によって初期の約60%程度にまで引張応力が減少した。時間と温度に依存する緩和弾性係数（ $E[t, T] = \sigma[t, T] / \epsilon_0$ ）の概念を導入すると、85℃における緩和弾性係数が5時間の変位保持によって $E(0\text{hr}, 85^\circ\text{C}) = 0.9\text{GPa}$ から $E(5\text{hr}, 85^\circ\text{C}) = 0.5\text{GPa}$ まで低下したことになる。この応力緩和現象は、ビルドアップ層材料がガラス転移温度（75℃）以上の遷移領域で顕著な粘弾性挙動を示したためと考えられる。以上の実験的な検討結果から、耐湿試験環境（85℃/85%）においては、ビルドアップ層材料のガラス転移温度の影響によって弾性係数は室温の1/3程度まで低下し、その環境下で保持されると粘弾性挙動に伴う応力緩和が生じることを確認した。

Fig.10は、実験的に明らかにしたビルドアップ層材料の特性から耐湿試験環境における金バンプ接触面の接触応力変化を予測するため、Fig. 2に示した解析モデルにおいてACF圧着温度から室温まで冷却した際に生じた接触応力

Fig.9 Stress relaxation rate of build-up material for 0.5% tensile strain holding test

Fig.10 Predicted ratio of compressive contact stress decrease of a Au bump with respect to Young's modulus of the build-up material

を100（基準値）とし、ビルドアップ層材料の弾性係数の変化に対する接触応力の減少率を解析により算出した結果である。Fig.10に示すように、耐湿試験環境における金バンプの接触応力は、Fig.8に示した弾性係数の低下と、Fig.9に示した粘弾性挙動に伴う緩和と弾性係数の低下によって、初期の60%以下にまで減少することが予想される。すなわち、ビルドアップ層材料のガラス転移温度の影響によって耐湿試験環境下での接触応力は半分以下に減少し、さらに、85℃までの加熱による応力減少（熱膨張差の緩和）とACF材料の吸湿膨潤による応力減少が相乗的に作用することで、実質的な接触応力はさらに低下すると考えられる。

一般的に適用されているビルドアップ層材料は、C4によるはんだバンプ接合を前提として開発されてきた歴史があり、今回対象としたACF等の接触実装を前提とした検討は十分になされていないと考えられる。はんだ接合のように合金層形成によって金属接合された接続構造においては、基板側接合部表層の部材の弾性率がより低い場合には接合部への負荷が低減され、かつガラス転移温度の存在による応力緩和現象は、より接続信頼性を向上させる上で有効である。このように一般的な設計思想としては、接合部の応力を極力緩和することが重要であるが、ACF等の接触実装構造における接続信頼性を考えた場合、上述した設計思想はバンプ／電極間の接触応力の減少を誘発するため、逆に接続信頼性の低下を引き起こす可能性がある。したがって、以上の検討結果から、耐温度サイクル性を含めたトータルの接続信頼性向上を達成するには、温度サイクル時の金バンプの塑性変形増大を抑制しながらも、耐湿試験時の経時的な接触応力の減少を防止できるような、上記ビルドアップ層の材料特性も含めた適正な材料システムの構築が重要であることがわかった。

6. 結 論

ACF等の接触実装構造における接続信頼性評価技術の開発を目的に、有限要素法による接触解析を実施し、接触導通構造における接続信頼性影響因子の検討を行った結果、以下に示す結論を得た。

- 1) 温度サイクルにおける接続信頼性は、温度サイクル冷却時の金バンプの塑性ひずみ量を設計パラメータにすることで評価することができ、接続信頼性の向上に有効な構造設計、あるいは材料設計が可能であることを示した。
- 2) 温度サイクルにおける金バンプの塑性ひずみ量は、ACF材料や基板を構成するビルドアップ層材料の機械的特性、特にACF材料の線膨張係数とビルドアップ層材料の弾性係数に依存することを明らかにし、温度サイクル時の高信頼接続を実現する材料システム設計指針を示した。
- 3) 耐湿試験におけるビルドアップ層材料のガラス転移温

度の影響を検討し、耐湿試験環境下（85℃／85％）ではビルドアップ層材料の弾性係数の低下と応力緩和現象により、金バンプの接触応力が室温の60%以下にまで減少する可能性があることを示した。さらに、ビルドアップ層材料の低弾性特性は、ACF圧接時および温度サイクル時において基板電極の塑性変形を誘発し接続信頼性を低下させるため、さらなる高信頼化にはビルドアップ層材料の材料特性の適正化が重要であることを示した。
(2001.10.17-受理)

文 献

- 1) 朝倉博史：“LSIの高付加価値化にSiP技術が急浮上”，日経マイクロデバイス，pp.114-132，2001-3
- 2) D.W.Wang, K.I.Papathomas：“Encapsulant for Fatigue Life Enhancement of Controlled-Collapse Chip Connection (C4)”，IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol.16, No.8, pp.863-867, 1993
- 3) 梶原良一，小泉正博，守田俊章，西村朝雄，成沢明彦，篠田政佳：“多ピンLSIチップ対応の超音波フリップチップ接合技術”，Mate2001講演論文集，pp.161-166，2001
- 4) 寺嶋晋一，宇野智裕，橋野英児，巽 宏平：“マイクロボールを用いたAu／Sn合金FC接合の長期信頼性”，Mate2001講演論文集，pp.125-130，2001
- 5) 西川英信，西田一人，清水一路，大谷博之，古口日出男：“樹脂封止シートによるフリップチップ接合技術”，Mate2000講演論文集，pp.107-110，2000
- 6) 清水 聡，倉島羊平，近藤資子：“ACFによるFC実装技術開発”，MES'99講演論文集，pp.117-120，1999
- 7) D.Delaney and J.White：“Flip Chip Assembly Utilizing Anisotropic Conductive Films: A Feasible Study”，Proc 50th Electronic Components and Technology Conf, May 2000, pp.641-645, 2000
- 8) 西田一人，山本憲一，清水一路，西川英信，古口日出男，佐々木智江，Nipon Taweejun：“樹脂封止シートによるフリップチップ接合技術”，Mate2001講演論文集，pp.167-172，2001
- 9) 岩津 聡，本多位行：“樹脂接続フリップチップにおける内部応力と信頼性の相関関係”，エレクトロニクス実装学会誌，Vol.4, No.6, pp.515-518，2001
- 10) 熊沢鉄雄，鬼沢昌宏，河野竜治，北野 誠：“はんだボール接合部の寿命評価”，第11回路実装学術講演大会講演論文集，pp.149-150，1997
- 11) 于 強，白鳥正樹，金子誠史，石原達也，王 樹波：“電子デバイスはんだ接合部の熱疲労強度における解析・実験ハイブリッド評価”，日本機械学会論文集（A編），Vol.64, No.619, pp.558-563，1998
- 12) 朝井英清：“電気接点・接触現象総合資料集”，総合電子リサーチ編，2000