圧着工法によるフリップチップの接続マージン評価

廣畑 賢治*, 川村 法靖**, 向井 稔**, 川上 崇**, 瀬川 雅雄***, 高橋 邦明****
于 強*****, 白鳥 正樹*****

Evaluation for Flip-Chip Bonding Margin Using Anisotropic Conductive Paste

Kenji HIROHATA*, Noriyasu KAWAMURA**, Minoru MUKAI**, Takashi KAWAKAMI**, Masao SEGAWA***,
Kuniaki TAKAHASHI****, Qiang YU***** and Masaki SHIRATORI*****

*株式会社東芝研究開発センター機械・システムラボラトリー／横浜国立大学大学院工学研究科（〒212-8582 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1）

**株式会社東芝研究開発センター機械・システムラボラトリー（〒212-8582 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1）

***株式会社東芝生産技術センター生産技術企画部（〒235-0017 神奈川県横浜市磯子区新磯子町33）

****株式会社東芝デジタルメディアネットワーク社（〒198-8710 東京都青梅市末広町2-9）

*****横浜国立大学工学部生産工学科（〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5）

*Research and Development Center, Toshiba Corporation/Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Yokohama National University (1 Toshiba-cho, Komukai, Saiwai-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 212-8582)

**Research and Development Center, Toshiba Corporation (1 Toshiba-cho, Komukai, Saiwai-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 212-8582)

***Manufacturing Engineering Center, Toshiba Corporation (33 Shin-Isogo-cho, Isogo-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 235-0017)

****Digital Media Network Company, Toshiba Corporation (2-9 Suehiro-cho, Ome-shi, Tokyo 198-8710)

*****Department of Mechanical Engineering, Yokohama National University (79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501)

概要 接続用樹脂を用いた圧着工法によるフリップチップでは多くの場合、製造プロセス後において、金バンプ／パッド界面に残留する圧縮荷重により電気的接続が保たれている。樹脂の選定やボンディング荷重（B'g荷重）の設定によっては、高温吸湿試験において樹脂の膨潤により接続オープンが発生する場合がある。本報告では、接続用樹脂特性評価、フリップチップ試作品接続抵抗値のボンディング荷重依存性評価、応力シミュレーションを組み合わせることにより、接続マージンを定量化する方法を提案した。さらに、応答曲面法を用いることにより、設計に内在するばらつき要因が接続マージンに及ぼす影響を効率的に把握できることを示した。

Abstract

In the flip-chip packages using Anisotropic Conductive Paste, the load, which remain in the interface between Cu pad and Au bump after manufacturing process, keeps contact resistance stable. According to the resin properties or bonding(B'g) load, the contact resistance may be high and unstable in the reliability test such as high temperature and high humid tests. In this paper, in order to assess the bonding margin, the stress simulation through B'g process was carried out after the evaluation of resin properties. Then, the compressive load, which exists in the interface between Au bump and Cu pad, was generated. Using the results of stress simulation, the B'g margin was evaluated by comparing with the experimental results of the relationship between B'g load and contact resistance after B'g process. Furthermore, using response surface methodology, considerations have been given to reveal the effect of various scatters such as material characteristics and manufacturing on the B'g margin.

Key Words: Flip-Chip Interconnection, Anisotropic Conductive Paste, Stress Simulation, Response Surface Methodology, Statistical Analysis

1. はじめに

電子機器の軽薄短小化が加速し、搭載部品に対する小型化の要求が一段と高まっている。こうした背景のもと、高密度実装が可能なフリップチップ接続技術の開発が活発に行われている。圧着工法によるフリップチップでは、多くの場合、接続用樹脂を介してチップのスタッドバンプと基板電極を熱圧着し接続を行う^{1)~9)}。接続用樹脂としては、異方性導電性フィルム（ACF）、異方性導電ペースト（ACP）、導電粒子なしの樹脂ペースト/フィルム（NCP/NCF）などが用いられている。接続信頼性を確保

するのにバンプ周辺を樹脂で固着・封止する構造をとっているため、樹脂選定はフリップチップ実装の高信頼性化にとってきわめて重要である。樹脂選定やボンディング荷重（B'g荷重）の設定によっては、高温・吸湿試験において樹脂の膨潤により接続オープンや電気抵抗の上昇が発生する場合がある。圧着工法によるフリップチップの場合、Fig. 1に示すように、B'g荷重および樹脂の硬化収縮・応力緩和・熱収縮により最終的な金バンプ／パッド界面圧縮荷重つまり接続マージンが決まる。長期信頼性を確保するには、樹脂特性やB'g荷重の影響度の明確化が重要課題になる。本報告では、応力シミュレーションを実施し、試作品初期

Fig.1 Bonding mechanism in flip-chip interconnection using ACP

接続抵抗値のB'g荷重依存性結果と照らし合わせ、バンプ接合部の接続マージンを定量化した。さらに、応答曲面法をベースとした統計的信頼性設計手法を適用することにより、設計に内在するばらつきが接続マージンに及ぼす影響を把握し、B'g荷重の設定や公差の設定を支援することを試みた。

2. 接続マージン解析¹⁰⁾

2.1 対象

Fig.2 に示す小型画像センサーモジュール（試作品）：TOG(TAB on Glass)¹⁾を対象に評価を実施した。この試作品は、CMOSチップ、光学ガラスおよびTABテープにより構成されている。接続用樹脂としては異方性導電ペースト（ACP）を用いている。製造プロセスをFig.3 に示す。まず、TABテープの裏面に接着剤を塗布し、光学ガラスを接着する。TABテープの基材はポリイミドで、イメージエリアに相当する位置に開口部を設けてある。接着は紫外線硬化型接着剤により行われる。この方法により、10 μ m以下の光学精度が容易に確保できる。次に、CMOSチップのAl電極パッドにワイヤボンディング法などにより、金バンプを形成する。TABテープの電極上には、ACPを塗布し、光学ガラス付きのTABテープに、CMOSチップをフリップチップ接続する。ここで、熱圧着により、バンプをTABテープの電極に接触させ、ACPを硬化させることで、確実な接続特性と同時に封止構造も確保することが可能となる。

2.2 応力シミュレーションモデル

SiチップとTABおよびガラス間の線膨張率差に起因するバンプ部のせん断変形が顕著な場合は、バンプを3次元でモデル化し、境界条件として、せん断変形を考慮する必要があると考えられる。しかし本対象の場合、モジュールの全体応力解析を実施した結果、硬化温度から室温に降温した際、金バンプ周辺部にはせん断変形がほとんど生じな

Fig.2 Cross section image of the TOG module

Fig.3 TOG module production process

いことが明らかになったため、バンプ周辺部の軸対称モデルにより応力解析を実施した。有限要素（FEM）モデルをFig.4 に示す。バンプ中心部から樹脂端までの距離の最小値150 μ mを対象領域半径とした。また、導電粒子が金バンプ／パッド界面に存在しない場合を仮定してモデル化を行った。

2.3 材料特性評価

解析に用いた弾性率、ポアソン比、線膨張率をTable 1 に示す。ただし、銅パッドおよび金バンプは塑性特性まで考慮して解析を行った。硬化温度時の樹脂高温変形特性や樹脂硬化収縮は最終的な金バンプ／パッド界面圧縮荷重に影響すると考えられる。以下に示す方法により特性を評価した。今回評価した接続用樹脂はエポキシ樹脂に約 ϕ 5 μ m

Fig.4 FEM model

Table 1. Material properties

	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Thermal expansion coefficient ($^{\circ}\text{C}$)
Resin (ACP)	2.0 (RT)	0.3	68×10^{-6} (T_g 以下)
	0.05 (150°C)		200×10^{-6} (T_g 以上)
Chip	170	0.28	3.5×10^{-6}
TAB	4	0.2	20×10^{-6}
Au Bump	88	0.34	20×10^{-6}
Cu Pad	123	0.34	16.5×10^{-6}
Glass	72	0.3	5.5×10^{-6}

の導電粒子を分散させたもので、反応硬化剤をマイクロカプセル化したことが特徴のACPである。

2.3.1 高温変形特性の取得

10mm×100mm厚さ2mmの樹脂試験片を作成し、長手方向に引張り保持した後の応力変化を測定した。試験温度は 150°C （樹脂硬化温度）、応力レベルは、硬化時、樹脂内鉛直方向に発生する引張り応力を参考に設定した。結果、Fig.5に示すとおり、プロセス時間内（5分以内）では応

Fig.5 Variation of stress in resin

Fig.6 Evaluation of resin shrinkage under resin curing

力の低下はわずかであり、今回対象とした樹脂では 150°C で応力緩和は十分小さいと仮定した。

2.3.2 硬化収縮特性評価

Si基板（100mm×10mm、Si基板厚 $625\mu\text{m}$ ）上に樹脂を $200\mu\text{m}$ 塗布後、 150°C まで昇温し硬化させ、硬化後室温まで降温した（Fig.6参照）。樹脂硬化時（ 150°C ）および降温時の試験片反り量を測定した結果、硬化時には反りが生じず、また室温時の反り量がSiと樹脂の線膨張率差による反り量（計算値）とよい一致を示した。今回対象とした樹脂では樹脂硬化収縮による反りはほとんど生じないことが明らかになり、硬化収縮による金バンプ／パッド界面圧縮荷重への影響は十分小さいと判断した。硬化収縮による反りが生じない原因としては、硬化収縮発生時の樹脂弾性率が著しく小さいことが考えられる。また、樹脂によっては硬化時に応力緩和する可能性も考えられる。

2.3.3 膨潤特性

吸湿前後の樹脂試験片（10mm×100mm厚さ2mm）厚さの変化を測定することにより膨潤率を算定した。今回対象とした樹脂では、吸湿条件が 60°C 90%の場合、飽和膨潤率（厚さ方向）は0.5%であった。樹脂の種類によっては同条件で2.0%以上に達する場合もあり注意を要する。

2.4 応力シミュレーションの流れ

解析はFig.7に示すように、製造プロセスおよび樹脂の膨潤を模擬した4ステップに分けて実施した。

- ① B'g荷重負荷（樹脂は未硬化のため、FEMモデルの樹脂要素を削除して解析）。
- ② 樹脂の硬化後（FEMモデルの樹脂要素復活後）、B'g荷重除荷。
- ③ 室温まで降温（ただし初期温度は 150°C ）。
- ④ 樹脂の体積膨張（樹脂膨潤を模擬）。

試作品において、バンプ接続部電気抵抗値のB'g荷重依存性を実測した結果、 0.8N/bump 程度以上で良好な初期接続を確保できることが明らかになった（Table 2参照）。また、B'g荷重が 1.6N/bump 以上では十分なチップ-TAB間ギャップが確保できず絶縁不良が発生する場合があっ

Fig.7 Flow of FEM analysis

Table 2. Relationship between contact resistance and B'g load

B'g load (N/bump)	Condition of interconnection (Contact resistance)
Bellow 0.8	High and Unstable
0.8~1.6	Low and Stable (<10mΩ)
Above 1.6	Unstable

Fig.8 Comparison with simulation and experiment

た。接続マージンを考慮した適切値が存在すると考えられる。よってここでは、0.6, 0.8, 1.0, 1.5N/bumpの4ケースについて解析を実施した。

まず、製造後のTOGモジュール断面写真から得られた銅パッドたわみ量と解析結果を比較することにより、シミュレーション結果の検証を行った。Fig.8に比較結果を示す。解析値と実測値でよい一致を示している。そこで、本シミュレーションモデルによる接続マージンの定量化を試みた。

プロセスの流れに沿って金バンプの鉛直方向圧縮荷重が変化する様子を、1.0N/bumpの場合についてFig.9に示している。プロセスに沿って金バンプ/パッド界面圧縮荷重が変化している様子がわかる。

今回対象とした圧着工法による接続では、金バンプと銅パッド間には化学的な結合は生じておらず、金バンプ/パッド界面圧縮荷重により接続が保たれている。そこで金バンプ/パッド界面の鉛直方向圧縮荷重により接続マージンを評価した。プロセスおよび樹脂膨潤をスルーした鉛直方向圧縮荷重の変化図を1.0N/bumpの場合についてFig.10に示す。

Fig.10では比較のため、Tg点以上で無応力の場合の結果も併せて示している。B'g荷重負荷のプロセスやTg点以上での樹脂高温変形特性の考慮により、プロセス終了後の

Fig.9 Variation of normal stress distribution in bump/pad interface

Fig.10 Variation of the load in bump/pad interface under flip-chip bonding sequence (In the case of B'g load 1.0N/bump)

鉛直方向圧縮荷重に大きな差がある。樹脂の高温変形特性は、樹脂の種類や硬化温度に影響されると思われる。樹脂の高温変形特性を考慮して樹脂および硬化温度を決定することが重要であると考えられる。製造プロセス後および樹脂膨潤後（高温吸湿試験後）のバンプ下面鉛直方向荷重とB'g荷重の関係をFig.11に示している。0.8N/bump程度以上で良好な初期接続を確保できることから0.8N/bumpの場合の金バンプ/パッド界面圧縮荷重-0.7Nを基準と考えた。1.0N/bumpでは吸湿試験後、0.5%の膨潤が生じた場合においても0.1N程度の接続マージンがあることがわかる。検討のため2.0%の膨潤率を仮定し解析を実施した結果、Fig.11の▲印に示すように、2.0%では基準を下回っている。金バンプ下面鉛直方向圧縮荷重により接続マージンを評価できると思われる。Fig.11では、B'g荷重とバンプ/パッド界面に生じる圧縮荷重はおおむね線形関係にあるが、B'g荷重が1.6Nを超えたあたりから傾きが小さくな

Fig.11 Relationship between B'g load and the load in bump/pad interface

る。これは、B'g荷重1.5N程度までは、金バンプが弾性変形内であることを示している。パッド下の部材剛性、B'g荷重、金バンプの降伏応力のバランスによっては、線形関係を示すB'g荷重領域や傾きが異なると考えられる。

3. 応答曲面法による公差解析¹⁵⁾

半導体パッケージの製造過程において、材料や製造プロセスに、ばらつきが内在する。このため、個々の要素技術の開発だけではなく、多くのばらつき要因が応力や変形量などの構造応答に及ぼす感度を統計的に把握した上で、設計を行う必要がある。本章では、設計に内在するばらつき要因が、金バンプ／パッド界面に生じる圧縮荷重や、チップ／TAB間のギャップへ及ぼす影響度を、統計的手法を用いることにより算定し、B'g荷重の設定や公差の設定を支援することを試みた。

3.1 応答曲面近似式の作成

ばらつきの要因が、金バンプ／パッド界面に生じる圧縮荷重やギャップといった構造応答に及ぼす影響度を効率良く把握するために、応答曲面法^{11)~14)}を用いる。設計に内在するばらつき要因を変数とした近似式（応答曲面近似式）をそれぞれの構造応答について作成する。ここで、応力解析の数値実験点は直交表を用いた実験計画法により決定する。Table 3 には、本対象において、顕著に内在すると考えられるばらつき要因および仮想的に設定したばらつき範囲（公差）を示している。各要因の水準数は3水準、水準間隔はばらつき範囲内で等間隔とし、L18の直交表に要因の割付を行った。応答曲面近似式には、Chebyshevの直交多項式¹¹⁾を用いる。この近似式は、各数値実験点（＝直交表の列）の解析結果を用いて作成する回帰式に相当するものである。この直交多項式は、低次項が優先され高次数項が互いに独立であるという特徴をもっているため、任意の次数で近似式を打ち切っても、残った次数においては最良な回帰式を示している。構造応答を y 、設計に内在するばらつき要因を X_i 、各ばらつき要因の平均値を μ_i とすると、

Table 3. Scatter variables and structural response

	Scatter variables	Scatter range
X_1	B'g load (N)	$1.2 \pm 50\%$
X_2	Young's modulus of substrate (GPa)	$3.9 \pm 20\%$
X_3	Young's modulus of underfill (GPa)	$2 \pm 20\%$
X_4	C.T.E. of underfill (ppm/°C)	$68 \pm 20\%$ (below Tg) $200 \pm 20\%$ (above Tg)

構造応答は(1)式で表される。ただし $X_1, X_2, \dots$ は、ばらつき要因、 $\mu_1, \mu_2, \dots$ は平均値、 a は係数、 k, h は水準数、水準間隔をそれぞれ示している。

$$\begin{aligned} \text{構造応答 } y = & a_0 + a_{10}(X_1 - \mu_1) + a_{20}[(X_1 - \mu_1)^2 \\ & - (k^2 - 1)h^2/12] + a_{01}(X_2 - \mu_2) + a_{02}[(X_2 - \mu_2)^2 \\ & - (k^2 - 1)h^2/12] + a_{11}(X_1 - \mu_1)(X_2 - \mu_2) \\ & + a_{21}[(X_1 - \mu_1)^2 - (k^2 - 1)h^2/12](X_2 - \mu_2) \\ & + a_{12}[(X_2 - \mu_2)^2 - (k^2 - 1)h^2/12](X_1 - \mu_1) + \dots \quad (1) \end{aligned}$$

18ケースの応力シミュレーションを実施し、金バンプ／パッド界面に生じる圧縮荷重、およびチップ／TAB間のギャップ量を抽出し、それぞれについて、応答曲面近似式を作成した。

高温吸湿後の金バンプ／パッド界面圧縮荷重 (N)

$$\begin{aligned} = & 0.964 - 0.679X_1 - 0.000132X_1^2 - 0.0464X_2 + 0.005X_2^2 \\ & - 0.229X_3 + 0.0389X_3^2 - 0.0116X_4 + 0.0000593X_4^2 \end{aligned}$$

チップ／TAB間のギャップ量 (μm)

$$\begin{aligned} = & 44.4 + 0.00786X_1 - 0.000327X_1^2 + 1.82X_2 - 0.150X_2^2 \\ & - 7.48X_3 + 1.70X_3^2 - 0.258X_4 + 0.00130X_4^2 \end{aligned}$$

3.2 分散分析

各ばらつき要因の影響度を判断するために分散分析を行う。分散分析には、各要因が構造応答に与える影響度を多項式の成分に直交分解して評価する方法を用いた。ここで、影響度とは各要因の変動に伴う構造応答の変化の程度を表している。この方法により影響度は応答曲面近似式を作成する過程で1次、2次などのように分解された特性に対して求めることができる。各構造応答について分散分析を行った結果をTable 4, 5に示す。危険率の $**$ 、 $*$ はその成分がおおの1%、5%の危険率で有意であることを示す。今回仮想的に設定したばらつき範囲では、B'g荷重のばらつきの寄与が大きいことが明らかになった。

3.3 構造応答確率分布および不良発生確率の算出

本来、ばらつき要因の確率分布は、十分な検査データから決定すべきであるが、ここでは仮想的に各要因のばらつきが独立に正規分布に従うと仮定し、Table 3に示すばらつき範囲内に99%の確率で存在すると設定した。ばらつき要因の確率分布に従う乱数をそれぞれの要因について発生させ、応答曲面近似式より構造応答のばらつきを評価した結果をFig.12に示す。不良発生基準値は、Table 2に示す実験結果から決定した。各構造応答について不良発生基準値をTable 6に示す。

構造応答のばらつき分布と、不良発生基準値とを照らし

Table 4. Analysis of variance for load between Au bump and Cu pad

Factor	Dimension	Degree of freedom	Variance	F Ratio	Contribution Ratio
B'g load	1	1	34.5	1753.93 **	98.94%
	2	1	0.100	5.30	0.24%
Young's modulus of substrate	1	1	0.0154	0.78	0.00%
	2	1	0.00904	0.46	0.00%
Young's modulus of underfill	1	1	0.0652	3.32	0.13%
	2	1	0.000969	0.05	0.00%
C.T.E. of underfill	1	1	0.00170	0.09	0.00%
	2	1	0.0140	0.72	0.00%
Error		9	0.0153		0.68%
Total		17			100.00%

* : F(0.05) = 5.591447 ** : F(0.01) = 12.24638

Table 5. Analysis of variance for gap between chip and TAB

Factor	Dimension	Degree of freedom	Variance	F Ratio	Contribution Ratio
B'g load	1	1	241.76	247.65 **	85.58%
	2	1	10.28	10.53 *	3.31%
Young's modulus of substrate	1	1	18.84	19.30 **	6.35%
	2	1	1.31	1.34	0.12%
Young's modulus of underfill	1	1	0.92	0.94	0.00%
	2	1	0.29	0.30	0.00%
C.T.E. of underfill	1	1	0.02	0.02	0.00%
	2	1	1.08	1.11	0.04%
Error		9	0.76		4.61%
Total		17			100.00%

* : F(0.05) = 5.591447 ** : F(0.01) = 12.24638

Fig.12 Probability distributions for structural response values

合わせ、モンテカルロ法（試行回数 10^6 、ばらつき要因の範囲外はカット）により不良発生確率 P_f を算出した結果をTable 7に示す。複数の構造応答が存在する場合でも、同時確率を求めることができ、不良発生確率 P_f を指標に、B'g荷重の設定やばらつき要因公差の設定を行うことが可能である。今回仮想的に想定したばらつき要因分布では、

Table 6. Criteria for fracture

Criteria 1	Criteria 2
Load in the interface between Cu pad and Au bump (N)	Gap between chip and TAB tape (μm)
-0.702	21.2

Table 7. Probability of failure P_f

P_f for criteria 1	P_f for criteria 2	P_f for criteria land criteria 2
0.0967	0.0501	0.147

B'g荷重に注目した場合、目標値を1.25N、ばらつき範囲を目標値 $\pm 20\%$ に設定する必要があることが、モンテカルロシミュレーションを繰り返し実行することにより明らかになった。不良発生確率 P_f の算出には、応答曲面近似誤差や考慮外のばらつき要因などの不確かさが存在する。しかしながら、実用上、設計案の相対比較には、同程度に不確かさが内在するため有効であると考えられる。

4. まとめ

圧着工法によるフリップチップでは、多くの場合、接続用樹脂を介してチップのスタッドバンプと基板電極を熱圧着し接続を行う。樹脂選定やボンディング荷重（B'g荷重）の設定によっては、高温・吸湿試験において樹脂の膨潤に

より接続オープンや電気抵抗の上昇が発生する場合があります，長期信頼性を確保するには，樹脂特性やB'g荷重の影響度の明確化が重要課題になる。本報告では，応力シミュレーションを実施し，試作品初期接続抵抗値のB'g荷重依存性結果と照らし合わせ，バンプ接合部の接続マージンを定量化した。

その結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 小型画像センサモジュールをモチーフに，接続用樹脂特性評価および応力シミュレーションを実施し，金バンプ／パッド界面の鉛直方向圧縮荷重により接続マージン評価を行った。試作品の初期接続抵抗値(B'g荷重依存性)結果より明らかになった基準値と照らし合わせることで，接合部の接続マージンを定量化できることを示した。
- (2) 金バンプ／パッド界面に生じる圧縮荷重，およびチップ／TAB間のギャップ量といった構造応答を，ばらつき要因を変数とする関数として，近似的に表現する応答曲面近似式により，ばらつき要因が構造応答に及ぼす影響度を効率的に把握することが可能になる。複数の構造応答の評価が必要な場合でも，同時確率を指標に，B'g荷重の設定やばらつき要因公差の設定を行うことが可能である。

謝 辞

本研究を実施するにあたり有益なご助言をいただいた東芝研究開発センター・菊入信孝氏，大嶺俊光氏，試験実施にご協力いただいた東芝生産技術センター・唐沢 純氏，小野美智子氏，東芝デジタルメディアネットワーク社・青木 慎氏，東芝ケミカル・岸本泰一氏に感謝致します。

(2001.5.15-受理 2001.8.20-再受理)

文 献

- 1) M.Segawa, M.Kimura, K.Ooi, S.Sugi: "A Micro Miniaturized CCD Color Camera Utilizing a Newly Developed CCD Packaging Technique", IEEE Trans.on Consumer Electronics, Vol.41, No.3, August, pp.946-953, 1995
- 2) 小野美智子, 瀬川雅雄, 杉 修一, 木村正信, 大井一成, 岸本泰一: "Φ4 mmマイクロカメラ用小型画像センサーモジュール", 第7回マイクロエレクトロニクスシンポジウム, MES'97, pp.29-32, 1997
- 3) M.Segawa, M.Ono, S.Musha, Y.Kishimoto, A.Ohashi: "A CMOS Image Sensor Module Applied for a Digital Still Camera Utilizing the TOG Bonding Method", ECTC Proc., pp.1109-1114, 1998
- 4) 瀬川雅雄, 小野美智子, 青木 慎: "異方性導電接続法を用いたデジタルカメラ用画像センサーモジュール", 5th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics, pp.183-188, Feb.1999
- 5) 加藤俊夫: "フリップチップ実装技術の現状と今後の課題", エレクトロニクス実装学会誌, Vol.2, No.5, pp.404-409, Sep. 1999
- 6) 佐藤武彦: "導電性接着剤接続技術", エレクトロニクス実装学会誌, Vol.10, No.6, pp.373-376, Sep. 1995
- 7) 武市元秀: "ベアチップ実装用ACF", エレクトロニクス実装学会誌, Vol.2, No.2, pp.95-98, Mar.1999
- 8) 竹村賢三, 長井 朗, 渡辺伊津夫: "フリップチップ接続用異方導電材料", 回路実装学会誌, Vol.2, No.2, pp.99-103, Mar. 1999
- 9) 土谷雅弘: "導電微粒子の電気的特性評価", マイクロ接合研究委員会資料 (MJ-301-97), pp.35-45, Dec. 1997
- 10) 廣畑賢治, 川村法靖, 向井 稔, 川上 崇, 瀬川雅雄, 小野美智子: "圧着工法によるフリップチップの接続マージン評価", 第14回エレクトロニクス実装学術講演大会, pp.101-102, 2000
- 11) 柏村孝義, 白鳥正樹, 于 強: "統計的最適化手法におけるばらつきと構造信頼性の評価", 機論, 63-610, A, pp.222-227, 1997
- 12) 柏村孝義, 白鳥正樹, 于 強: "実験計画法による非線形問題の最適化", 朝倉書店, 1998
- 13) R.H.Myers, D.C.Montgomery: "Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments", John Wiley & sons, 1995
- 14) 廣畑賢治, 向井 稔, 川村法靖, 川上 崇, 于 強, 白鳥正樹: "統計的手法を用いた電子機器はんだ接合部の構造信頼性設計", 機構論, No.00-19, pp.511-512, 2000
- 15) 廣畑賢治, 川村法靖, 向井 稔, 川上 崇, 瀬川雅雄, 于 強, 白鳥正樹: "統計的手法を用いたフリップチップパッケージの構造信頼性設計", 計算工学講演会論文集, Vol.6, pp.673-676, 2001