
弾性導電接着剤を用いた応力緩和接続技術

Stress free connection technology using Elastic Conductive Adhesive

佐野 武*

Takeshi SANO

要 旨

電子デバイス接続において、熱膨張差に起因する応力が問題となっており、応力緩和特性に優れた弾性導電接着剤を開発した。この弾性導電接着剤は低配合比にて高い導電性が得られる特殊な導電性フィラーと粘弾性特性を適正化した樹脂バインダーにより構成されている。これにより、市販品の1/10以下の低弾性率化を達成しており、大変形時の抵抗上昇も抑えることができた。また、シリコンチップを膨張差の大きい基板に弾性導電接着剤により接続し、温度サイクル試験を実施した結果、優れた接続信頼性を示した。

ABSTRACT

In electronic device connection technology, stress resulting from expansion difference introduces a problem in reliability. Elastic Conductive Adhesive (ECA), which can relax connection stress, has been developed. The ECA consists of special conductive filler and resin binder. The filler, in small quantities, achieves high electroconductivity. The resin binder has adequate rheology characteristics. The ECA has a low coefficient of elasticity to be not more than 1/10 for marketing products. And the rise in resistance for large transformations is small. Temperature cycle tests were carried out for samples in which silicon chips were connected to a substrate with a big expansion difference by the ECA. Results showed sufficient connection reliability.

* 研究開発本部 環境技術研究所

Environmental Technology R&D Center, Research and Development Group

1. まえがき

近年の電子機器の小型、薄型、高機能化に伴い、使用される電子部品形態としては、ボールグリッドアレイ (BGA) , チップサイズパッケージ (CSP) 等のエリアアレイ状に接続部を有するパッケージが実用化されてきており、更には半導体素子を高密度に実装できるフリップチップ実装が注目されてきている。これら電子部品の接続方式としては、はんだが一般的に用いられている。

この電子部品接続においては、電子部品と基板との熱膨張差に起因する応力が接続部に集中するため、はんだ接続においては、疲労破壊による接続部破断が問題となっている。これに対して、導電性接着剤はバインダー樹脂による機械的な保持機能と導電性フィラーによる導通機能が分離でき、はんだよりも優れた耐熱歪特性が期待できる接続材料として開発¹⁾ が盛んである。ここで、一般的に導電性接着剤ははんだよりも接着強度が低いことから、接続部破断対策として材料自身の弾性率を高くすることで接着強度が高められている。しかし、膨張差に起因する熱応力に対しては、この高弾性率化により接続部の応力緩和ができず、界面剥離等による接続部破断が発生しているのが現状である。

筆者は、接続部材間の熱膨張差に起因する熱応力に対して、接着強度を高めるのではなく、材料自身の弾性率を下げることによって接続部破断の発生しない接続が実現できると考え、応力緩和と性能を重視した低弾性率の弾性導電接着剤 (以下 ECA : Elastic Conductive Adhesive とする) を開発した。本報では、高導電率と低弾性率を両立したECAの構成とその接続特性について報告する。

2. 接続材料開発

2-1 開発目標

ECA材料特性として必要な弾性率と導電率について、次のように考えた。

接続部破断が発生しないためには、接続部が変形した状態で発生するせん断応力以上の接着強度を確保していればよいと仮定し、Fig.1の材料力学の単純モデルで計算した。

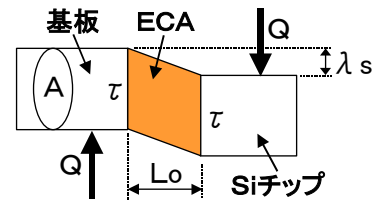
せん断方向の変位 (ずれ量 : λ_s) が加わった時のせん断

応力 : τ は次式で表される。

$$\tau = Q / A = G \cdot \gamma \dots\dots\dots (1)$$

$$\gamma = \lambda_s / L \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{また、通常 } G = E / (2 \cdot (1 + \nu)) \dots\dots\dots (3)$$



- Q : せん断力, τ : せん断応力
- A : 断面積, λ_s : ずれ量
- γ : せん断歪, L_o : 接続厚
- G : せん断弾性率
- E : 弾性率
- ν : ポアソン比

Fig.1 Schematic of shear stress.

上記によれば、せん断応力は弾性率に比例して低下するため、接着強度が同等であれば低弾性率化により、より大きな接続部歪に耐えられることとなる。このため、ECAの開発目標としては、市販品に対して10倍の変位に耐えうる接続を目指し、弾性率を市販のシリコン系導電性接着剤 : 20~50 (MPa) に対して1/10以下とした。体積抵抗率は市販品と同レベルと設定した。

- 開発目標 弾性率 : 2.0以下 (MPa)
- 体積抵抗率 : 1E-3以下 ($\Omega \cdot \text{cm}$)

2-2 材料構成

一般的な導電性接着剤と同様にECAも導電性フィラーとバインダー樹脂から構成しており、この両材料の開発、選定を行った。

2-2-1 導電性フィラー

導電性接着剤において高導電性を得るためには、バインダー樹脂中に分散させる導電性フィラー (一般的にはフレーク状、球状銀フィラー) の配合比を高め、導電性フィラー間の接触点を多くする必要がある。しかし、導電性フィラーの配合比を高くすると、バインダー樹脂として低弾性率のシリ

コーン樹脂を採用しても弾性率が高くなってしまいう問題があった。本開発では導電性接着剤の低弾性率化を達成すべく、低い配合比率で高い導電性を得ることを狙いとして微細な針形状を有した銀系の導電性フィラーを採用した。その針形状の導電性フィラーをFig.2に示す。

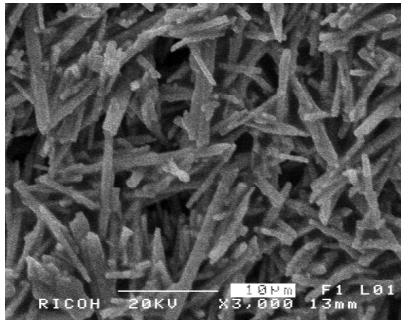


Fig.2 SEM photograph of conductive filler.

ここで、導電性接着剤の体積抵抗率に対する導電性フィラーの形状効果を見るため、針形状の導電性フィラーとフレーク状フィラーとを比較した結果をFig.3に示す。バインダー樹脂としては同一のシリコン樹脂を用いている。

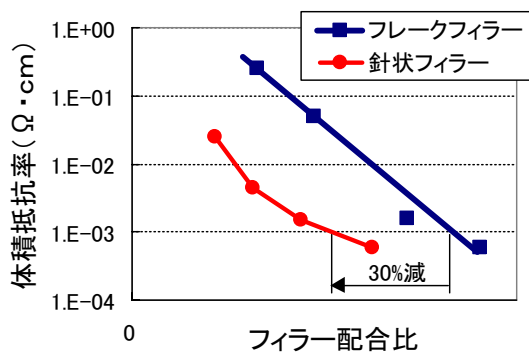


Fig.3 Effect of conductive filler for volume resistivity.

高アスペクト比の針形状の導電性フィラーを採用することにより、体積抵抗率 $1\text{E}-3$ ($\Omega \cdot \text{cm}$) 以下を得るために必要な導電性フィラー配合比を約30%低減できることがわかる。これにより、バインダー樹脂の特性を生かすことができ、導電性接着剤の低弾性率化を可能としている。

2-2-1 バインダー樹脂

ECAは大きな変形を伴うことで応力緩和することから、大きく変形した状態でも体積抵抗率が安定している必要があ

る。このため、粘弾性特性の異なるバインダー樹脂を用いて、弾性率とともに変形時の抵抗特性を測定し、優れた接続抵抗特性を得るためのバインダー樹脂選定を行った。なお、バインダー樹脂は熱硬化シリコン樹脂とした。

2-2-1-1 測定方法

接続構造上、接続材料に対して引張り応力が加わることを想定した。Fig.4に示すように、短冊状に形成したECAサンプルをTMA (Thermal Mechanical Analysis) を用いて常温にて引張り荷重を加え、伸び率を測定することで弾性率を求めた。ここで、引張り荷重プロファイルは、初期荷重印加状態から定速で増加させ、一定時間保持後、定速で減少させて初期荷重印加状態にて保持することとした。なお、本測定系において同時にECA自体の抵抗を四端子法で測定し、引張り変形に対する抵抗値を測定した。

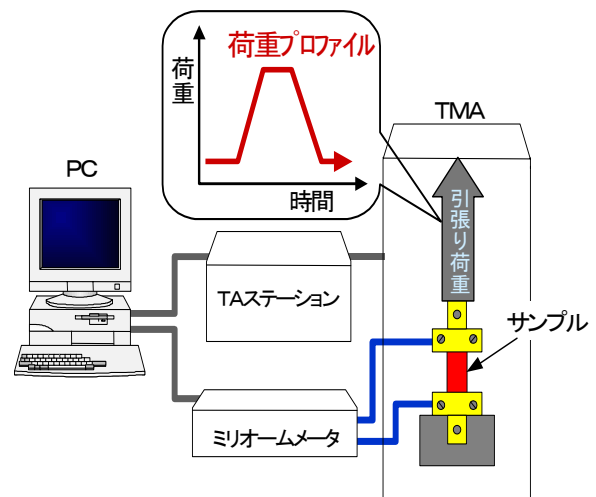


Fig.4 Schematic of measurement system.

2-2-1-2 結果および考察

バインダー樹脂 (TypeA, B) を用いたECAの特性をTable.1に示す。TypeA, Bともに弾性率および無負荷状態での体積抵抗率は開発目標を満足している。

一方、TMAを用いて引張り荷重を加えたときのECAの初期に対する伸び率および抵抗特性をFig.5およびFig.6に示す。

Table 1 Characteristics of the ECA.

Type	弾性率 (MPa)	体積抵抗率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)
A	0.55	8.E-04
B	1.60	

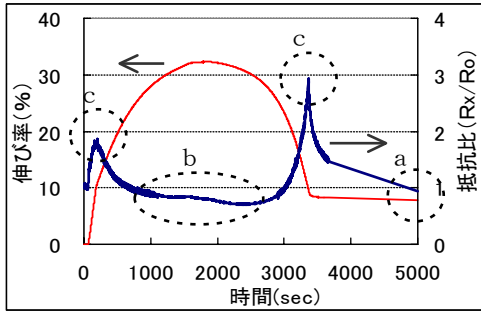


Fig.5 Resistance characteristic of the ECA in transformation : TypeA.

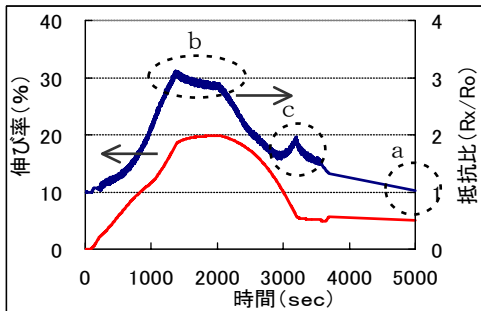


Fig.6 Resistance characteristic of the ECA in transformation : TypeB.

バインダー樹脂TypeA, Bともに、引張り荷重解放後はともに初期抵抗値に戻っている (a領域) が、引張り変形時の抵抗挙動に大きな違いが見られる。

応力緩和と接続においては、大きく変形したときの抵抗上昇を低減することが必要であるから、b領域での抵抗比を見るとTypeAのほうがTypeBよりも特性が優れている。一般的に、導電性接着剤の導電性は、バインダー樹脂の収縮力により導電性フィラー間の接触が確保されることで発現すると考えられており、その視点でTypeAのb領域での挙動を考察する。この30%以上の伸び変形時に抵抗比が1以下であることは、初期に対して体積抵抗率が低下していることを示している。この体積抵抗率の低下は、バインダー樹脂の伸び変形により、引張り方向に対して直行方向に収縮応力が発生し、導電性フィラー間の接触点が多くなるためと考えられる。

また、特徴的な抵抗挙動として、ECAの急激な変形過程

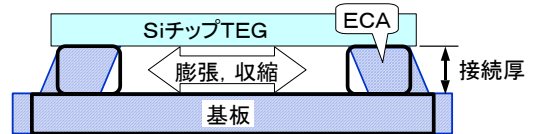
で抵抗上昇 (C領域) が見られている。この動的な変形過程での抵抗上昇は、TypeA, Bともに見られるが、特にTypeAにて顕著に起こっている。この現象は、変形過程で導電性フィラー間の接触を確保するための収縮応力が一瞬緩和されるためと考えられ、変形速度を遅くすることにより抵抗上昇を小さくできることがわかっている。

2-2-1-3 バインダー樹脂選定

ECAの大変形に対する抵抗特性は、バインダー樹脂の粘弾性特性を制御することでコントロールできることがわかった。応力緩和と接続においては、大きく変形したときの抵抗上昇を低減することが必要であると考え、バインダー樹脂TypeAを選定し、接続状態での特性を評価した。

3. 接続特性

3-1 熱歪信頼性試験



- 基板 : 青板ガラス
- SiチップTEG : 75.0x1.3x0.6 (mm)
- バインダー樹脂 : TypeA
- 接続バンプ : 径 ϕ 200 (μm)
高さ 50 (μm)
- 温度サイクル試験 : 100/25/-25 ($^{\circ}\text{C}$) 1000サイクル

Fig.7 Schematic of temperature cycle test sample.

ECAを用いたLSIフリップチップ実装を想定し、基板とLSIチップ間の膨張差に起因する繰返し熱歪に対する接続抵抗特性を評価するため、温度サイクル試験を行った。試験サンプルの構成をFig.7に示す。

本構成におけるECA接続部の熱歪をFEM解析した結果、最も外側の端子でずれ量: 約34 (μm) との結果を得た。これは接続厚50 (μm) にて換算すると、せん断歪: 約0.68に相当し、この大きな熱歪を繰返し加えた試験を実施したこととなる。

試験結果をFig.8に示す。温度サイクル試験中は、初期値に対して2倍程度の抵抗変動が見られるが、試験サイクル数の増加とともに抵抗変動幅も縮小しており、試験後においては初期抵抗値に戻っている。ここで、ゴム状弾性樹脂中にフィラーを分散した構造においては、小さな歪領域で弾性率が高くなり、大きな変形が起こるとこの構造が歪によって壊れることが知られている。²⁾しかし、本結果によれば繰返し熱歪に対しても抵抗上昇が見られないことから、ECA接続は大変形に対して、微小領域の導電性フィラー間の接触状態も含めて、接続部破断が発生しない接続特性を有していることを検証できた。なお、温度サイクル試験環境下での抵抗変動は、特に温度降下時に発生している。これは、温度変化に対するECAの収縮およびSiチップTEGとガラス基板との膨張差に起因するECA自体の変形過程に依存する抵抗変動と考えられる。

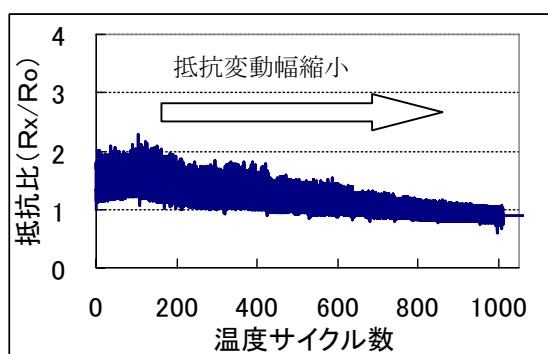


Fig.8 Results of temperature cycle tests.

4. まとめ

応力緩和性能に優れた低弾性率の弾性導電接着剤 (ECA) を開発し、接続部材間の熱膨張差に起因する大きな熱応力に対して破断の発生しない接続を実現できた。このECA開発のポイントは以下の2点である。

- (1) 高アスペクト比を有する微細針形状の導電性フィラーを含有させることにより、低配合比にて高導電率を達成し、バインダー樹脂の低弾性率特性を生かすことができた。
- (2) バインダー樹脂の粘弾性特性を適正化することにより、ECAの大変形時の抵抗上昇を抑えることができた。

参考文献

- 1) 竹沢弘輝 他：はんだ代替導電性接着剤を用いたセラミックスCSPの2次実装信頼性，第8回マイクロエレクトロニクスシンポジウム，第42号，(1998)，pp.97-100.
- 2) 村岡清繁：タイヤ用ゴムにとって粘弾性特性とは，日本ゴム協会誌，No.6，(2001)，pp.242-247.