

# 高熱伝導性銀接着剤

Silver Paste with High Thermal Conductivity

塩井直人 / 筑波研究所 研究グループ 第二チーム

Naoto Shioi / Tsukuba Research Laboratory

(2011年9月9日に開催されたMES2011「第21回マイクロエレクトロニクスシンポジウム」での講演内容の概略を示す)



## 1 はじめに

近年、パワー系部品やLED (Light Emitting Diode) の小型化、高機能化により半導体チップの発熱量は増大傾向にあり、高い放熱特性を有した高熱伝導材料の開発に期待が高まっている。特にLEDについては長寿命、低消費電力など環境に優しいという利点を持つことから、液晶テレビのバックライト、照明、自動車、信号機、街灯などその用途は急速に広がってきている。

LEDおよびパワー系部品にはチップから発生する熱を効率的に拡散させるために高放熱性の接合材料が使用されている。チップから発生した熱はパッケージ、基板、筐体へ効率よく逃がすことが必要であり実装材料には高い放熱性が求められる。たとえば高輝度LEDでは鉛フリー化の進行にともない高い放熱特性を持つ金錫はんだが使用されているが、金の含有量が多く高価であるため、安価で同等の放熱性と接合性能を持つ実装材料の開発が注目されている<sup>1)</sup>。

我々は、銀ナノ粒子を配合することにより熱伝導率が向上することを見出している<sup>2) 3)</sup>。そこで本研究では、銀接着剤の熱伝導性の改良に最も効果のある銀ナノ粒子の配合を検討し、熱伝導率、接着強度、信頼性を評価した。

## 2 高熱伝導性銀接着剤の設計

高い熱伝導率と高い接着強度を両立させるため、エポキシ系銀接着剤を使用した。しかしながら、一般的なエポキシ樹脂の熱伝導率は0.16~0.2W/m・Kと低く、熱伝導率の高い銀フィラー (427 W/m・K) を配合しても、その樹脂の存在により熱伝導率は高いものでも30~50 W/m・Kとなっている<sup>4)</sup>。高い熱伝導率を発現させるためには、熱を輸送するフィラーのネットワークの形成が重要であり、混合するフィラーの形状や接着剤中の分散状態、フィラー間の界面状態が影響すると考えられる<sup>5)</sup>。

## 3 実験方法

### 3.1 銀接着剤の調製

一般的な銀フィラーを配合したエポキシ系銀接着剤をベースに銀ナノ粒子を配合することで銀接着剤を作製した。銀フィラーは、平均粒子径と形状の異なる3種を使用した。

### 3.2 硬化条件

銀接着剤は熱風循環式加熱オーブンをを用いて、120°C×60分の条件で含有する溶剤を揮発させて、次いで210°C×60分の条件で硬化させた。

### 3.3 体積固有抵抗率測定

スライドガラス上に幅10mm (W) ×長さ50mm (L) ×厚さ40μmになるように銀接着剤を印刷し、加熱硬化した。四端子法により線抵抗R (Ω)、レーザー変位計にて硬化後の膜厚t (cm) を測定し、断面積S=W×t (cm<sup>2</sup>) を算出し、式 (1) から体積固有抵抗率ρ (Ω・cm) を求めた。

$$\rho = \frac{R \times S}{L} \quad \dots \text{式 (1)}$$

### 3.4 接合強度測定

銀めっきした銅基材上に銀接着剤をピン転写で印刷し、裏面が金めっきされた2mm角のシリコンチップを銀接着剤の厚みが20μmになるよう搭載し、加熱硬化させて接合体試料を作製した。作製した試料はダイシエアテスターを用いて、せん断速度300μm/secの条件で接合強度を測定した。

### 3.5 信頼性試験

信頼性評価としてシリコンチップを搭載した接合体試料について冷熱サイクル試験および高温高湿試験を実施した。冷熱サイクル試験は気槽式熱衝撃試験機を用いて、-55°C (30分) ⇔ 125°C (30分) を1サイクルとして1,000サイクル実施した。高温高湿試験は恒温恒湿試験機を用いて、

85°C /85% RHで1,000時間実施した。それぞれ所定のサイクル数または経過時間で接合強度を測定した。

### 3.6 熱伝導率測定

銀接着剤を硬化させて直径5mm×厚さ1mmのペレットを作製した。熱伝導率は、レーザーフラッシュ法を用いて測定した。

## 4 結果と考察

銀ナノ粒子の配合量による熱伝導率への影響を評価した。銀ナノ粒子は銀フィラーに対して0、2、4、6wt%の割合で配合した。結果を図1に示す。銀ナノ粒子を配合しない銀接着剤と比較し、銀ナノ粒子を配合した銀接着剤はいずれも著しく高い熱伝導率を有することが確認された。銀ナノ粒子の配合量が4wt%の場合、最も高い熱伝導率を示した。この結果より、銀ナノ粒子の配合量は銀フィラーに対し4wt%とした。

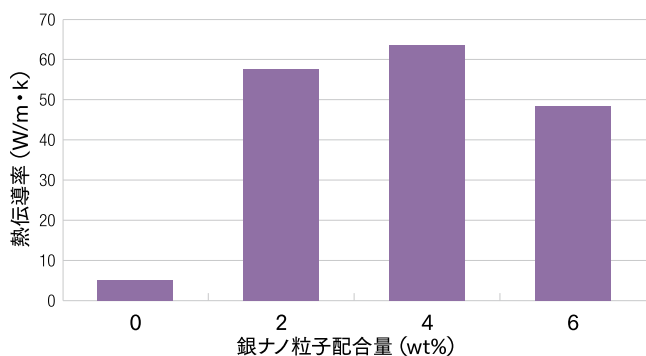


図1 銀ナノ粒子の配合量と熱伝導率の関係

銀ナノ粒子を配合することにより高い熱伝導率が得られた理由について考察した。エポキシ樹脂中の銀フィラーの体積分率と熱伝導率の関係は、Bruggemanの式(2)より計算し、図2に結果を示す。また、図2には銀ナノ粒子の配合量を変えた3種の銀接着剤の熱伝導率も示した。式(2)中で $\phi$ はフィラーの体積分率、 $\lambda e$ は複合材の熱伝導率、 $\lambda c$ はマトリックス樹脂の熱伝導率、 $\lambda d$ はフィラーの熱伝導率である。

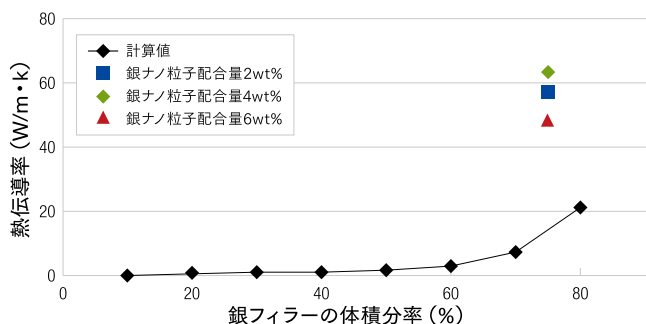


図2 銀フィラーの体積分率と熱伝導率 (計算値と銀ナノ粒子を配合した銀接着剤の比較)

$$1-\phi = \frac{\lambda e - \lambda d}{\lambda c - \lambda d} \left[ \frac{\lambda c}{\lambda e} \right]^{1/3} \dots \text{式}(2)$$

銀ナノ粒子を配合した銀接着剤における銀フィラーの体積分率は約70~80%である。銀ナノ粒子を配合した銀接着剤の熱伝導率はいずれも計算値から大きく離れており、熱伝導率が飛躍的に向上することが分かる。Bruggemanの式より、マトリックス樹脂またはフィラーの熱伝導率が高くなるとこの結果は得られないことから、樹脂中に分散した銀ナノ粒子が加熱硬化中に銀フィラー同士を融着させることで熱を伝達するネットワークが強化されたと推察した。

銀フィラーの平均粒子径と形状の影響について評価した。銀フィラーは3 $\mu$ m球状、1 $\mu$ m球状、1 $\mu$ mフレーク状の3種を使用して、熱伝導率と体積固有抵抗率および接合強度を評価した。熱伝導率と体積固有抵抗率の評価結果を図3に示す。

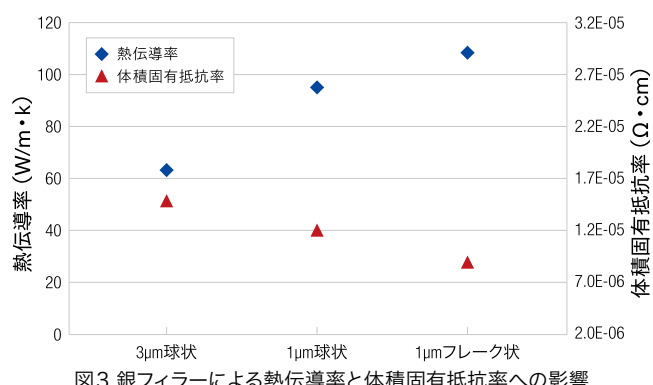


図3 銀フィラーによる熱伝導率と体積固有抵抗率への影響

熱伝導率と体積固有抵抗率は銀フィラーのサイズによる影響が大きいことが確認された。3 $\mu$ mよりも1 $\mu$ mの銀フィラーを使用の方が熱伝導率は高く、体積固有抵抗率は低くなる傾向が確認された。これは、硬化物中の銀フィラーの充填密度が小さい銀フィラーほど高くなったためと推察した。接合強度の結果を図4に示す。

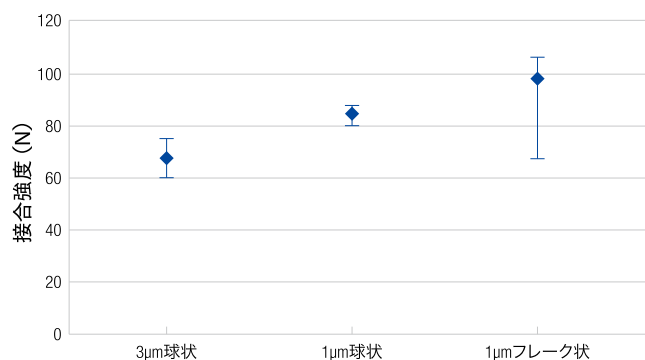


図4 銀フィラーによる接合強度への影響

銀フィラーの形状が接合強度のばらつきに大きく影響することが確認された。球状フィラーの方がフレーク状フィラーを配合した場合よりも接合強度のばらつきが少なく

った。特に1 $\mu$ mの球状フィラーを使用した場合、接合強度も高くばらつきも小さくなることが確認された。フィラーの形状による強度ばらつきの要因を確認するため、接合体試料についてX線観察を行った。結果を図5に示す。

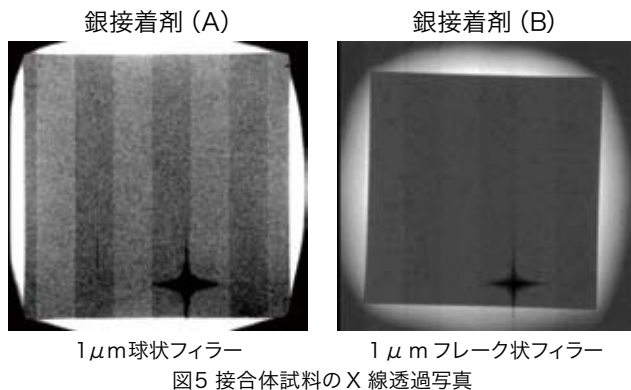


図5 接合体試料のX線透過写真

1 $\mu$ m球状の銀フィラーを使用した銀接着剤 (A) ではポイドがなく良好な接合状態が確認されたが、1 $\mu$ mフレーク状を使用した銀接着剤 (B) ではポイドが確認された。銀フィラーの形状が溶剤の揮発性に影響したものと推察した。

3種の銀フィラーを配合した銀接着剤について信頼性試験を行った。冷熱サイクル試験における接合強度の変化を図6に示す。球状フィラーを配合した銀接着剤は1,000サイクル後も大きな変化はなかったが、フレーク状フィラーを配合した銀接着剤ではサイクル数の経過とともに接合強度の低下が確認された。フレーク状フィラーを配合した銀接着剤の接合体試料に発生していたポイドが影響した結果と考察した。

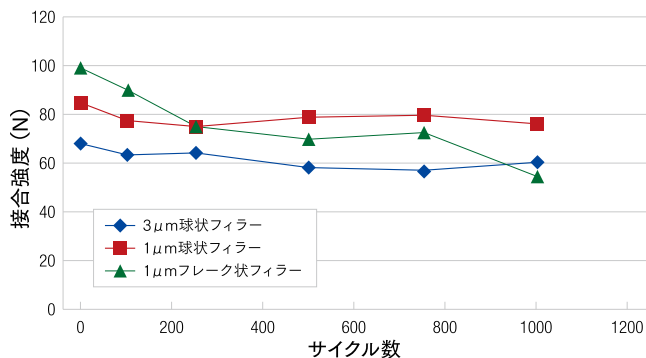


図6 冷熱サイクル試験での接合強度の変化

1 $\mu$ m球状フィラーを配合した銀接着剤について、冷熱サイクル試験1,000サイクル後の接合体試料の接合断面を図7に示す。1,000サイクル後も接合界面にクラックの発生はなく良好な接合状態を維持していることが確認された。高温高湿試験における接合強度の変化を図8に示す。フレーク状フィラーを配合した銀接着剤は時間の経過とともに接合強度がわずかに低下したが、球状フィラーを配合した銀接着剤の接合強度は1,000時間後もほとんど変化せず、初期の接合強度を維持した。

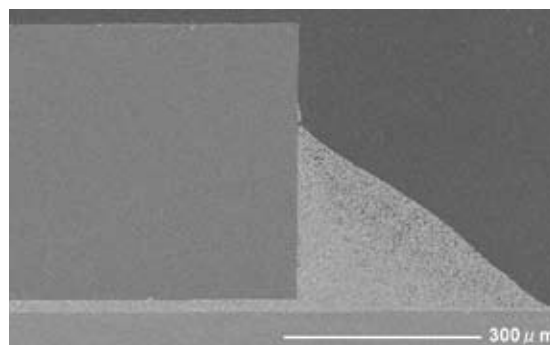


図7 接合体試料断面のSEM写真

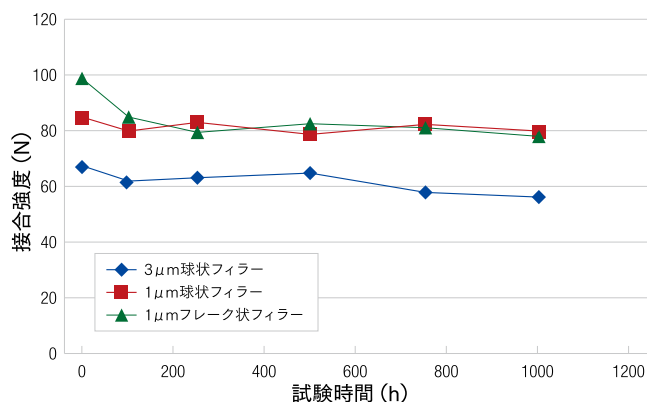


図8 高温高湿試験での接合強度の変化

## 5

### おわりに

銀ナノ粒子を1 $\mu$ m球状フィラーに対して4wt%配合した銀接着剤は、高熱伝導率で、高い接合強度を示し、強度のばらつきも少なく、高い信頼性を有することが確認された。この銀接着剤を高熱伝導性銀接着剤NH-3000Dとして設定した。NH-3000Dの特性一覧を表1にまとめた。高い放熱性が求められる高輝度LEDやパワー半導体に適用可能と考えている。

表1 NH-3000Dの特性一覧

項目	NH-3000D	付記
バインダー	エポキシ樹脂	
配合フィラー	銀フィラー+銀ナノ粒子	銀フィラー: 1 $\mu$ m球状
硬化条件	120°C×60min→210°C×60min	大気循環硬化炉
体積固有抵抗率	12 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	
粘度	30Pa·s	スパイラル型、25°C、10rpm
接合強度	85N	2mm角チップ搭載、ダイシェア強度
熱伝導率	95W/m·k	レーザーフラッシュ法

#### <参考文献>

- 1) 菅武「導電性接着剤の実用化」、Polyfile2011.3、pp.26-29
- 2) Yasunari Ukita, et al. "Lead Free Die Mount Adhesive using Silver Nanoparticle Applied to Power Discrete Package", IMAPS2004
- 3) 浮田康成、館山和樹、瀬川雅雄、遠藤佳紀、後藤英之、大迫雄久「銀ナノ粒子を含む導電性ペーストのパワートランジスタパッケージへの適用」、MATE2005
- 4) 和田迫三志「ニチアス技術時報」、2007年2号、No.350
- 5) 井上雅博「導電性接着剤の電気および熱伝導特性」、日本接着学会誌、Vol.47、No.1、pp.23-34、2011