

LED用低温焼成金属接合材料の開発

Development of Die-attach Materials Having Low Sintering Temperature for Power LED Packages

松居 美紀

Miki MATSUI

Abstract:

Although silver nanoparticles (AgNPs) can be sintered at low temperatures than bulk silver due to the size effect, they show the high melting point as bulk silver once they are sintered. For die-attach materials, AgNPs can be used at low sintering temperatures and show high reliability, especially thermal durability. Utilizing our dispersion technology derived from rubber and elastomer compounding technology, we developed a die-attach paste for LED packages. The newly developed paste can be sintered at 150 °C and be applied for flip-chip type LEDs because the paste hardly generate overflow beyond the chip edges.

Keywords:

die-attach material; light emitting diode; low-temperature sinterable; Ag nanoparticles; minimized-overflow; Hansen solubility parameter; semiconductor device; high reliability

1. 緒 言

近年急速に電球・蛍光灯からの置き換えが進んでいる LED 照明であるが、その内部に用いられている LED パッケージは、図 1 のような構造が一般的である。照明用途では、より明るい光量を得るために大電流を投入できるハイパワー LED と呼ばれるものが多く使われているが、LED 素子の発熱が大きくなり素子周辺は高温になる。このためハイパワー LED 素子を基板に接合する際には融点が高く 280℃を超える金すず (AuSn) はんだが一般的に使われている。はんだでは材料の融解と凝固を利用して接合するため、接合温度をはんだの融点より高く設定する必要がある。従って、必然的に接合温度が高くなり使用部材が制約されるほか、金を含むためコストが高くなる。

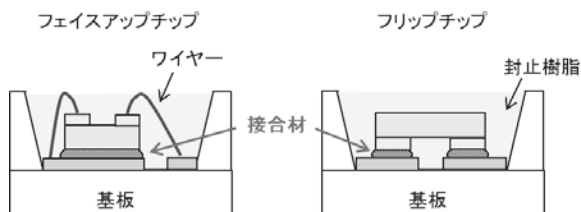


Figure 1. Typical LED packages of face-up chip type (left) and flip-chip type (right).

当社ではコア技術である「分散技術」「ナノ粒子創生技術」を応用して、一般的には背反する特性である

分散安定性と低温焼結性を両立させた金属ナノ粒子を開発しており、FlowMetal® シリーズとして製品化している。開発当初から進めているプリントエレクトロニクス市場への展開に加えて、半導体素子を接合するための焼結型接合材の開発も進めている。

金属ナノ粒子は、金属をナノメートル (nm) オーダーまで小さくすることでバルク金属にはない特性を示す。焼結型接合材への適用を考える際の重要な特性として、元来の融点よりはるかに低い温度で焼結することが挙げられる。そして一旦焼結した後はバルク金属同等の融点に戻るため、優れた耐熱性や熱特性を示す。即ち、従来からあるはんだでは不可能な、低い接合温度と高い耐熱性の両立が実現できる¹⁾。

本論では、FlowMetal® の新しいラインナップとして開発を進めている低温焼成可能な LED 用銀ナノ粒子接合材について述べる。

2. 実 験

2-1. 目標水準

LED 用接合材に求められる機能は、LED 素子と基板を機械的・熱的・電氣的に接合することである。加えて、本開発においては近年市場の要求が増えている、裏面にカソード、アノードの両電極を有するフリップチップタイプにも適用できることを目指して、接合部分における材料のはみ出しが非常に少ないことも目標

の一つとして挙げた。

フリップチップ LED は表面に電極と基板を接続するワイヤーを持たず、光束がワイヤーに遮られないためハイパワー LED に適していることが大きな特徴であるが、裏面の電極が微小な間隔で隣り合っているために、接合材がはみ出すとショートなどの不具合を招きやすい（図1 右）。

従来から接合材として用いられている金すずはんだでは、接合時は熔融金属となるため表面張力が非常に高く、はみ出しにくい性質を有している。一方、焼結型接合材 FlowMetal[®] は銀ナノ粒子と有機溶媒で構成されており、その表面張力は有機溶媒同等の低い値しか示さず、容易にチップからはみ出して濡れ広がってしまう（図2）。そのため、はんだのように材料固有の物性に頼ることはできず、はみ出しを少なくするための材料設計が必要となる。

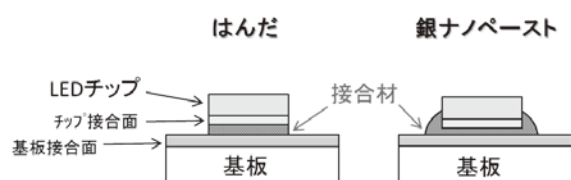


Figure 2. Cross-sectional views from the point of view of “overflow” beyond the edges of LED chips. On heating, since solder melts and shows high surface force, it hardly overflows. On the other hand, silver nanoparticles paste has organic solvent with low surface force and it often overflows.

また、焼成温度に関しては、200℃以上で焼成可能な銀ナノ粒子接合材配合が既にあるが、本開発ではさらに低温である150℃を焼成温度の目標とした。150℃での焼成が可能になると、部材の汎用性がさらに高く

なり、高温では変色してしまうような耐熱性の低い樹脂製基板等の部材も選択することができる。従って、本製品の使用可能範囲を広げることができ、多くのLED メーカーへ強くアピールできる材料となる。その他、接合材として要求される一般的特性も含めて、表1に本研究の代表的な目標水準を掲げた。

2-2. 設計因子

ナノ粒子は、凝集してナノ粒子の効果が損なわれることを防ぐためにナノサイズの銀粒子の周りに分散剤が吸着しており、さらにそれが溶媒中に分散したコロイド状態で存在している。

銀ナノ粒子を用いた製品設計においては、粒子自身のサイズや形状だけでなく、粒子表面に存在する分散剤、周囲に存在する溶媒や添加剤など様々な因子が設計項目として挙げられる。即ち、ナノ粒子製品は単一組成の化学品ではなく、多くの要素が高次元に絡み合った製品と言える。設計因子と製品品質の関係の要点を表したものが図3である、設計因子としては、粒子、分散剤、溶媒の3つに大別でき、これらが相互に関わって最終品質を決める。

接合材のはみ出しを少なくするためには、粘度をある範囲まで低くすることが有効であることが過去の検討から分かっていた。粘度を低くするためには溶媒を多量に添加する必要があるが、それに伴ってボイド率の増加やシェア強度の低下など焼成後の特性が悪化する傾向となるため、溶媒添加量はできる限り少なくすることが望ましい。また、ナノ粒子の粒径は比表面積に影響するので、粒径によっても必要となる有機分量は大きく変動する。そのため上述した粒子、分散剤、溶媒が重要な設計因子であるが、本論においては、分散剤と溶媒の設計を中心に述べる。

Table 1. Target level of die-attach material for flip-chip type LED usage.

	評価項目	目標品質
ペースト特性	塗布性および粘度 (レオメーターによるせん断粘度測定)	10 ~ 20 Pa・s
	安定性 1 シェルフライフ：冷蔵下での保存可能期間	3 months
	安定性 2 ポットライフ：室温下での使用可能時間	8 hours
接合体特性	接合条件（熱風循環炉）	150℃ 90min
	シェア強度	> 30 MPa
	ボイド率 = (ボイド面積) / (チップ面積)	< 5 %
	はみ出し率 = (はみ出し面積) / (チップ面積)	< 1 %
	ヒートサイクル試験 (- 40/100℃)	1000 cycles

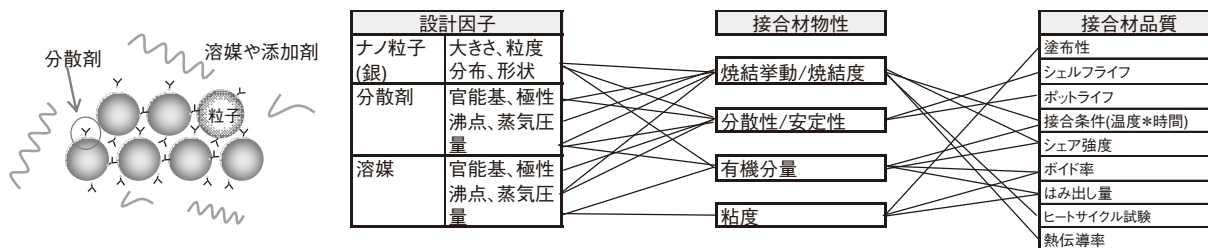


Figure 3 Designing and decisive factors of silver nanoparticle paste for LED usage.

3. 結果と考察

3-1. 分散剤と溶媒の設計

150℃の焼成温度を実現するためには焼成過程に接合材に含まれる有機物を全て揮発させる必要があるため、用いる材料の沸点や分解温度が高すぎると実現できない。しかしながら、低沸点材料を用いると室温下でも成分が徐々に揮発するため、シェルフライフの目標を満たすことができない。

試みとして既存の高温焼成配合を 150℃で焼成してみると銀ナノ粒子の焼結が不十分であった。分析の結果、含んでいる有機分量が多く、また分解温度の高い分散剤や高沸点溶剤を比較的多く含んでいたため、200℃未満では焼成時間を多少長く取っても十分に焼結しないことが分かった。そこでまず分散剤の見直しを行い、分解温度や沸点が比較的低い材料のみを用い、さらに有機分の総量を少なくできるようにナノ粒子を再設計することで 150℃焼成可能な銀ナノ粒子を作製できた。そしてボイド率を低く抑えられるように溶媒も見直した。

3-2. 評価と改良

上記の検討によって得られた接合材で接合体特性の評価を行ったところ、150℃×90 分の焼成で目標とした 30MPa 以上のシェア強度が得られ (図4)、ボイド率も平均3%であることが確認できた (図5)。そして接合部の長期信頼性試験として実施したヒートサイクル試験(−40/100℃)では1000サイクル経過後もシェア強度が維持できており目標を達成した。

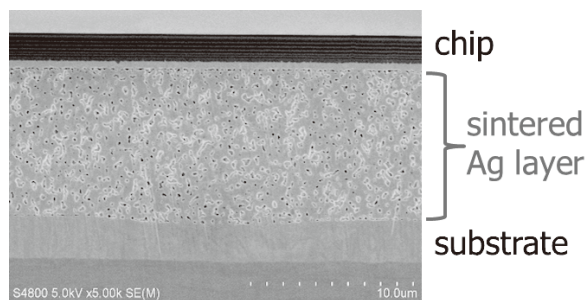


Figure 4. Cross-sectional SEM image of a LED chip die-attached on a lead frame with the developed silver nanoparticles paste.

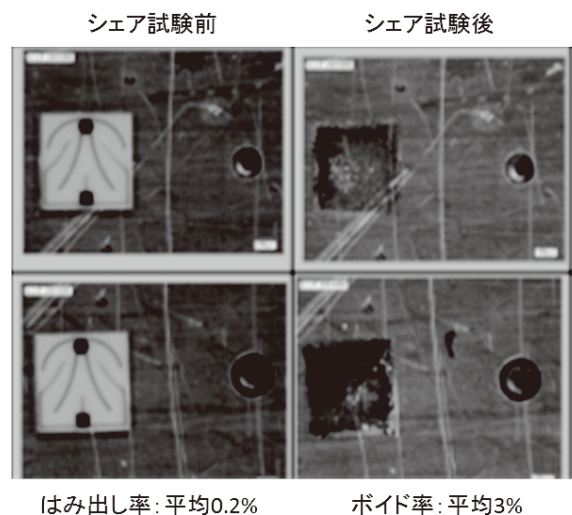


Figure 5. Optical microscope photos of pastes printed with a die-bonder and LED chips mounted on the pastes. Before shear strength test (left side of each photo) and after test (right side of each photo).

一方、ペースト特性についての評価では、ボットライフが目標よりはるかに短い2時間程度しかなく、経時的に増粘することによって塗布径が増大することが判明した (図6)。原因調査の結果、ある程度高沸点の溶剤を用いているにも関わらず、溶媒が揮発する速度が予想以上に速いことが分かった。この現象を考察するためにハンセン溶解度パラメーター (HSP)²⁾を参考とした。これは、古くから知られているHildebrandのSP値をさらに3成分(分散項、極性項、水素結合項)に分けて3次元空間にプロットすることで材料の相溶性を考えるやり方である。この方法を基に溶媒を見てみると、分散剤のHSPから3次的に離れた位置になることが分かった。従って、この溶媒は粒子に吸着している分散剤との相溶性が悪いため、沸点や蒸気圧から予測される以上に揮発しやすくなっているのではないかと考えた。そこで分散剤のHSPに近づけるように溶媒を再設計し、新たな改良配合を作製した。

この改良配合のペースト特性を先の検討と同様に実施したところ、目標とするボットライフ8時間を達成できた (図6)。そして、この配合が目標とする粘度範囲に調整可能であることも確認した。

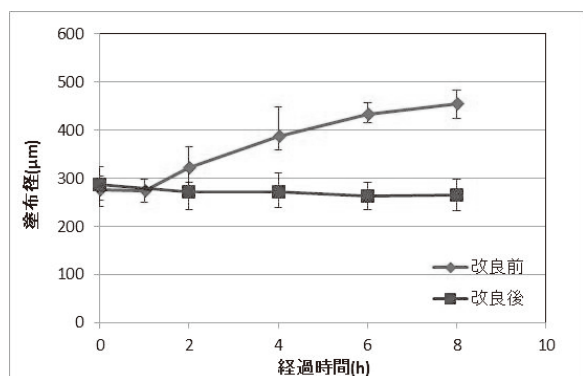


Figure 6.
Temporal variation of diameter printed on a lead frame with a die-bonder.

4. ま と め

本論では、銀ナノ粒子材料の設計因子である粒子、分散剤、溶媒の全てを新たに設計し、さらに HSP の考え方を取り入れたナノ粒子配合設計技術により、こ

れまで達成できていなかった 150℃焼成可能な LED 用接合材を開発した事例について述べた。フェイスアップチップタイプへの適用はもちろん、幅広い粘度範囲への調整が可能であり接合材のはみ出し量が少なくできるため、フリップチップタイプへの適用も可能と考えている。

本開発品は既に一部の顧客において評価が始まっている。さらに応用展開として、LED 素子よりもサイズが大きく信頼性試験もより厳しくなるパワーデバイス用に特化したラインナップも現在開発中である。

参考文献

- 1) 武居正史：バンドーテクニカルレポート, 19, 2 (2015). References
- 2) C. M. Hansen: Hansen Solubility Parameters A user's handbook, Second Edition, CRC Press, Chapter1 (2007)



松居 美紀
Miki MATSUI
2011年 入社
R&Dセンター