

光半導体向け銀ナノ粒子接合材FlowMetal®の開発

Silver Sinter Paste, FlowMetal® for Optical Semiconductor Devices

中島 尚耶

Naoya NAKAJIMA

Abstract

Output power of optical semiconductor devices, for example, light emitting diodes, laser diodes, is recently getting higher and higher according to enlarging applications. It is important to improve heat dissipation of the devices because heat given off from semiconductor chips deteriorates the devices. Therefore, we have developed silver sinter pastes as jointing materials, which can show high thermal conductivities and low temperature sinterability, for high-power devices. A newly developed silver nanoparticle-based paste in this study can be sintered at temperatures of lower than 200 °C and shows a high thermal conductivity of 240 W/m·k. It is suitable for high-power optical semiconductor devices because it also has a good printing property for airpowered dispenser and a high joint strength of 100 MPa.

Keywords: Silver sinter paste; Low-temperature sinterability; Thermal conductivity Ag nanoparticles; Optical semiconductor device; Light emitting diode; Laser diode

1. 緒 言

近年、長寿命・省エネ・水銀レス化を背景として、電球・蛍光灯から光半導体（発光ダイオード；LED、レーザーダイオード；LD）光源への置き換えが急速に進んでいる。Figure 1に一般的な光半導体パッケージの構造を示す。光半導体チップが基板に接合材で接続されており、光半導体チップから発生する熱は接合材を介して基板側に放熱される。これは、チップ上面側も必要に応じて放熱経路として利用できるパワーデバイスとの大きな違いである。より高い出力を得るために大電流駆動・高集積化が進められているが、半導体チップの発熱が大きくなりチップ周辺はますます高温になる。光半導体パッケージの出力と寿命は放熱性能に左右されるため、接合材の熱伝導率（放熱性）は極めて重要視される。

高出力の光半導体チップの接合には金すず共晶はんだAu80/Sn20wt%（融点280℃）が多く用いられているが、熱伝導率は組成により決まり、共晶組成のAu80/Sn20wt%では57W/m·Kとなる¹⁾。また、金すず共晶はんだの熱伝導率をこれ以上高めるには共晶組成から外して金含量を大きく上げるしかなく、接合温度や材料費の上昇が避けられないため現実的な手段ではない。

当社では、銀ナノ粒子の低温焼結性を利用した接合材の開発を進めてきた^{2,3)}。金属ナノ粒子はサイズ効

果により、ナノメートルサイズまで粒径が小さくなると室温程度まで融点が低下することは一般的によく知られている⁴⁾。焼結後はバルク金属の融点に戻りはんだのような再溶解を示さないため、接合温度が低く、かつ優れた耐熱性を示す。さらに、銀は熱伝導率が約420W/m·Kと非常に高いため、焼結後の銀ナノ粒子は既存の接合材（はんだ・導電性接着剤）では実現不可能な高い熱伝導率を発揮する。本報では、光半導体チップの接合用途で開発を進めてきた銀ナノ粒子接合材FlowMetal®について述べる。

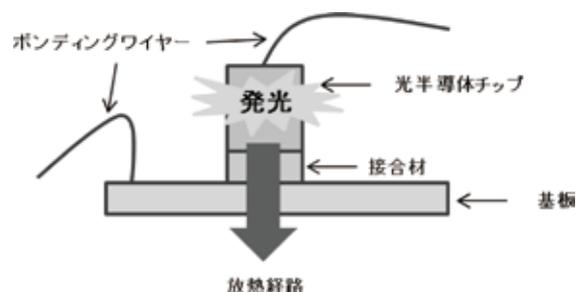


Figure 1 Typical optical semiconductor package

2. 実 験

2.1 目標水準

接合材に求められる機能は、チップと基板を機械的・熱的・電気的に接合することである。高出力光半

Table 1 Target of silver nanoparticle-based jointing materials for high-power optical semiconductor usage

	評価項目	目標品質
接合特性	接合強度	80MPa 以上 (焼成温度：200℃以下)
	ボイド率	5%以下
	熱伝導率	200W/m・K 以上
液特性	シェルフライフ：冷蔵下での保存可能期間	6 か月
	ポットライフ：室温下での使用可能時間	8 時間
	塗布性および粘度 (レオメーターによるせん断粘度測定)	・ディスペンサー、ピン転写が適用 できること

導体チップ向け接合材の要求品質として、①周辺部材の熱劣化を防ぐために200℃程度の低温焼成が可能、②高熱伝導率、③信頼性試験・長期駆動試験後の性能低下が少ない、ことが特に強く求められている。このため接合材を開発するにあたり、接合信頼性の指標として重要視される項目である接合強度の目標値を80MPa（従来品の2倍以上）と定めた。また、光半導体の場合はパワーデバイスと比較すると一般的に接合面積が小さいため、ユーザーの量産現場で使用されている接合材塗布方法（ディスペンサー、ピン転写など）に応じた液特性を有することも重要である。本報で設定した主な目標水準をTable 1に掲げる。

粒子間および粒子／部材間の焼結を促進させて焼結体を高密度化することが重要だと考えられる。一方、焼結性を高めるために粒子の小粒径化を進めると比表面積が大きくなり、適切な液特性を付与させるために必要な分散剤や分散媒の量が増大してしまう。接合材中の揮発成分が多いほど焼結体の密度が低下し粒子の未焼結を招きやすくなり、接合強度が低下する傾向となるため、本報では、低温焼結性と接合特性および液特性を兼ね備えた銀ナノ粒子の設計を進めた。そして新たに設計した銀ナノ粒子を用いることで、従来品よりも銀濃度を高めたペースト状接合材を調整することにした。

2.2 銀ナノ粒子接合材の設計指針

銀ナノ粒子接合材を加熱すると、分散剤・分散媒の揮発分解を経て粒子同士が焼結したポーラス構造を有する銀層を形成する。銀ナノ粒子接合材の設計因子は、①銀粒子、②銀粒子表面に存在する分散剤、③分散媒、に大別される。つまり、銀ナノ粒子接合材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複雑な材料である。Figure 2に設計因子と製品品質との関係を示す。接合強度を向上させるために特に注目すべきは、銀粒子と分散剤の配合設計であり、

3. 結果と考察

3.1 接合特性・焼結層の評価

従来品と本報の接合材を用いて1mm角の金めっき付きサファイアチップと金めっき付きコバルト基板を大気雰囲気下で200℃のオープン内に30分保持することで接合試験サンプルを作製した。このサンプルについてのボンディングテストを用いたせん断試験より得られた接合強度値をFigure 3に示す。従来品は40MPa

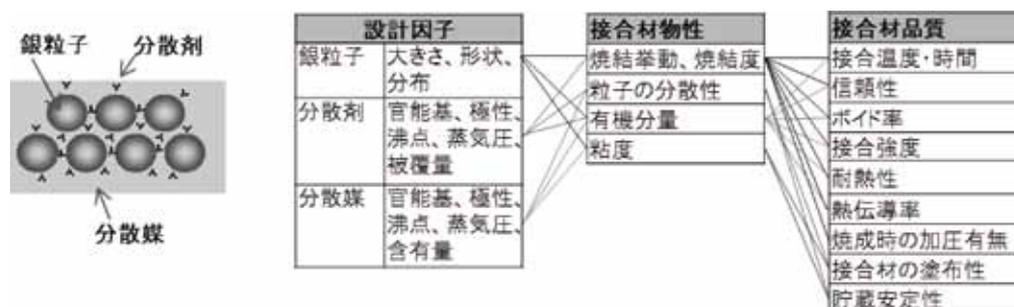


Figure 2 Designing and decisive factors of silver nanoparticle-based jointing paste for high-power optical semiconductor usage

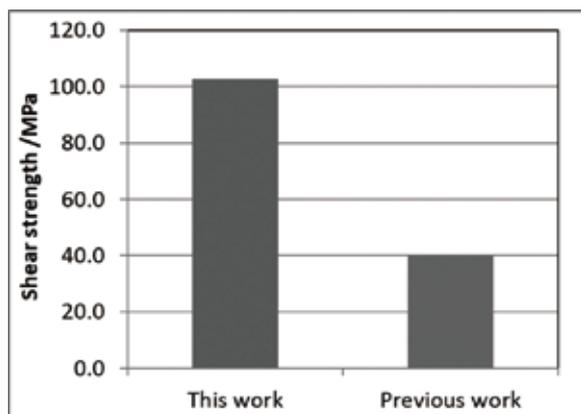


Figure 3 Shear strength of silver nanoparticle-based joining pastes

程度の接合強度であったのに対し、本報の接合材では100MPaと非常に高い接合強度が得られた。測定後の被着面を観察すると、チップ・基板のいずれにも銀が付着しており、接合強度測定サンプルは焼結した銀層で破壊していることが確認された。続いて、接合試験サンプルを機械研磨した後、イオンミリングによる接合層の断面出し加工を行い、加速電圧20kVでSEM (Scanning Electron Microscope) 観察を行った。その断面写真をFigure 4に示す。従来品では粒子同士が焼結したポーラス構造を有しているが、本報の接合材では粒子間の空隙が少なくなり、より緻密な焼結体を形成していることが確認された。また、接合試験サンプル作成時と同様の温度プロファイルで測定した接合材の熱重量分析 (TG) の結果をFigure 5に示す。焼成後は重量減少がほぼ完結しており、銀濃度を高めかつ200°C程度の低温で有機成分が揮発分解する設計としたことにより、粒子間および粒子/部材間の焼結の促進と焼結体の高密度化が達成され、接合強度の大幅な向上に繋がったと考えられる。

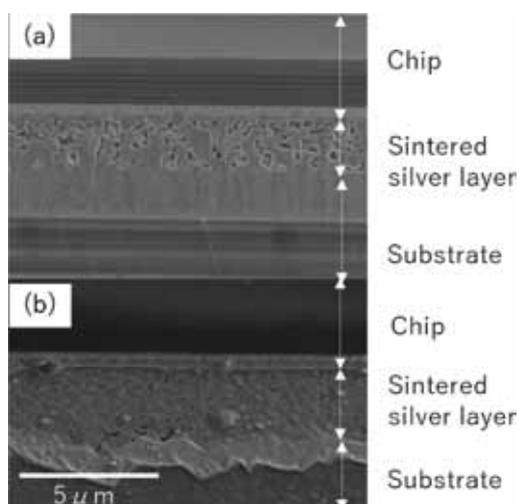


Figure 4 Cross-sectional SEM images of the sintered silver layers: a) previous work; b) this work

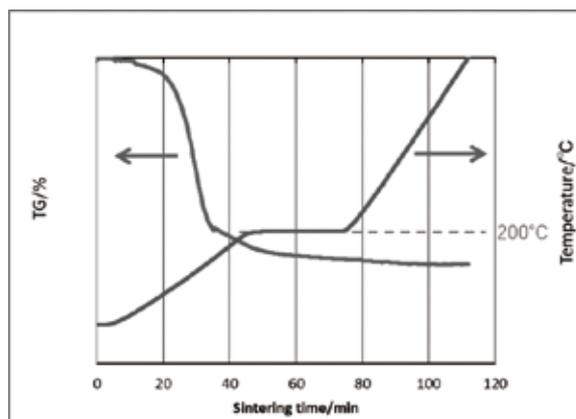


Figure 5 Thermogravimetric curves of the silver nanoparticle-based joining paste

3.2 熱伝導率評価

銀ナノ粒子焼結体の熱伝導率は、ヴィーデマン-フランツ則 (Wiedemann-Franz law) により電気伝導率から精度よく推定することができる⁹⁾。これは、熱伝導率と電気伝導率の比は金属の種類によらず一定で温度に比例するという経験則である。本報では、接合試験サンプルと同条件でスライドガラス上に成膜した銀ナノ粒子焼結体の電気伝導率から熱伝導率を推定した。この結果、熱伝導率は240W/m・Kと見積もられ、既存材料である金すず共晶はんだ (Au-20Sn) の57.3W/m・Kと比較して4倍以上大きな値となることがわかった。このように高い熱伝導率を発現する銀ナノ粒子接合材は、光半導体チップの高出力化にともなって要求される高い放熱性に対応できる材料と言える。

3.3 塗布性評価

半導体チップの実装においては、接合材の塗布量が少なくと接合部位に接合材が十分行きわたらず接合強度が不足し、逆に多すぎると半導体チップの上面にまで接合材がオーバーフローして電氣的不具合を引き起こす可能性があるため、適量の接合材を安定塗布することが量産使用するうえで重要となる。これを評価するために、光半導体チップに限らず電子部品の実装工程で一般的に用いられるエアパルス式ディスペンサー (ノズル内径: 0.2mm) による接合材塗布試験を実施し、塗布した接合材の形状および塗布径をデジタルマイクロスコープで観察した。

Figure 6に塗布した接合材の外観写真を、Figure 7に24000ドット塗布後の塗布径推移を示す。塗布径は2000ドット毎に200ドット抜き取り、平均値、最大値、最小値を算出した。この結果、24000ドット塗布後も初期から塗布形状および平均塗布径に変化がないこと、および突発的な塗布量変動も発生せず、安定して塗布できることが確認できた。以上の結果より、本報で使用した接合材は銀濃度が高いにも関わらず、塗布異常やノズル詰まりを発生することが無かったため、現行の接合材塗布方式に適用可能であるといえる。

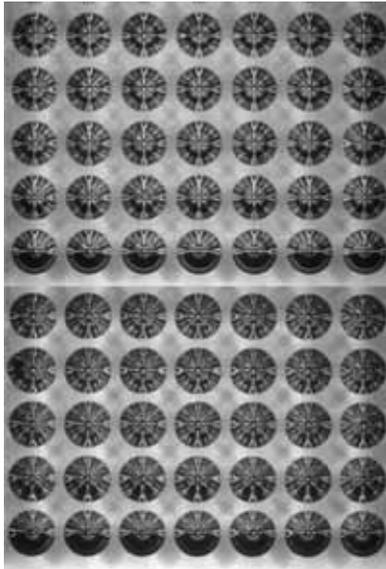


Figure 6 Optical microscope photos of dispensed dots; a) initial; b) after 24000 shots

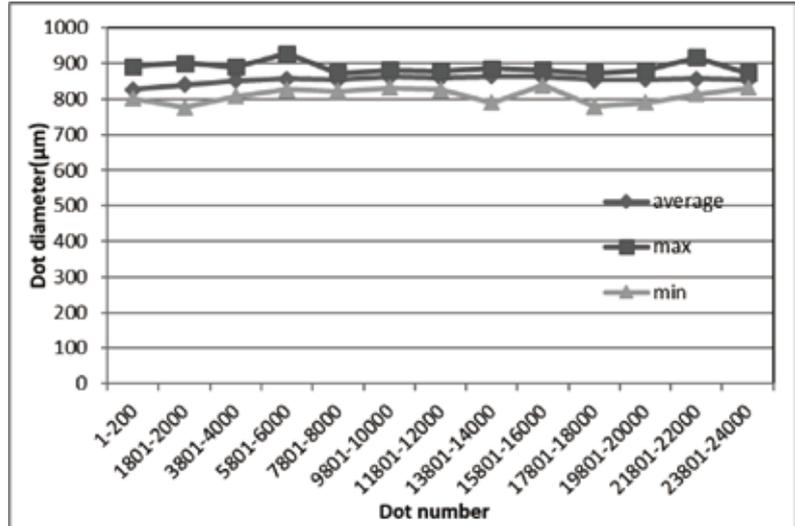


Figure 7 Variation of dot diameter dispensed

4. 結 言

本報では、光半導体チップの高出力化に対応できる高い熱伝導率を有するとともに、低温焼結性、接合特性、塗布性についても兼ね備えた銀ナノ粒子接合材FlowMetal®の開発について述べた。当社では、銀粒子・分散剤の設計から接合材の製造まで、総ての工程を自社内で行っているため、市場が要望する特性を迅速に具現化できるという強みを持つ。

本報で開発した技術を用いた接合材については、信頼性試験・長期駆動試験後の性能維持率も高く、既に光半導体市場向けに量産販売を開始している。本報の接合材についても、同市場における拡販に寄与するものと期待している。

References

- 1) T. Zhou, T. Bobal, M. Oud, and J. Songliang, "Au/Sn solder alloy and its applications in electronics packaging", Internal Report of Coining, Inc. (1999), pp. 1-7.
- 2) 松居美紀：バンドーテクニカルレポート, 20, 2 (2016)
- 3) 渡辺智文：バンドーテクニカルレポート, 22, 5 (2018)
- 4) Q.S. Mei, K. Lu, "Melting and superheating of crystalline solids: From bulk to nanocrystals", Prog. Mater. Sci., Vol. 52(2007), pp. 1175-1262.
- 5) K. Gloos, C. Mitschka, F. Pobell, and P. Smeibidl, Cryogenics 30, 14(1990)



中島 尚耶
Naoya NAKAJIMA
2012年 入社
新事業推進センター