

パワーデバイス用焼結銅ペースト

岩田 広太郎

Sintering Copper Paste for Power Device

Kotaro IWATA

Abstract

Sintering copper paste was developed for die bonding applications in power devices. Printability and sintering performance of the paste were improved by selecting appropriate dispersants. The improved copper paste could be bonded at pressures as low as 2 MPa or temperatures as low as 250°C. The physical properties of the sintered layer after bonding depended on the bonding conditions, and the more advanced the sintering, the higher the thermal conductivity and elasticity.

キーワード：ナノ粒子，焼結，銅，パワーモジュール，接合

1. はじめに

近年、エネルギー高効率化が求められるパワー半導体では、現行のシリコン（Si）ベースから炭化ケイ素（SiC）や窒化ガリウム（GaN）などの次世代材料を使ったパワー半導体の開発や採用が加速している。SiCやGaNなどの新材料は200°C以上での高温で高速スイッチング動作が可能な高効率デバイスとして注目されており、電気自動車の航続距離増大や5G通信向け高周波基地局での省エネ等に貢献する技術とされる。

絶縁基板と半導体を接合する接合層にも高い耐熱性が求められるが一般的な鉛フリーはんだであるSAC305（Sn-3.0Ag-0.5Cu）では耐熱性が不十分であり、鉛を多く含む高温はんだが多く使用されている。加えて、前記材料の熱伝導率はいずれも50~60 W/m・Kと低く、半導体から発せられる熱を効率よく逃がすことは難しい。そのため銀ナノ粒子を加圧焼結することで高耐熱かつ高放熱な接合層を得る接合技術が研究開発されており¹⁾、欧州を中心に一部量産採用されている。三菱マテリアルグループでは、低温焼結性の銀粉末を用いることで無加圧接合可能な焼結型銀ペーストを開発しており²⁾、近年では従来必要であった貴金属めっきが不要で銅基材に直接接合可能であることや³⁾、厚膜かつ大面積でもボイドフリーな接合を実現する⁴⁾、など開発が進んでいる。

焼結型銅接合材料は銀接合材料と並ぶ次世代接合材料として注目されており、i) 原材料価格が銀接合材料より安価、ii) 熱的・電気的物性が銀と同程度、iii) エレクトロマイグレーションが起こりにくい、iv) 銅基材への密着性が高いといった特長を有している。一方で、原料で

ある銅粉末の酸化対策としてギ酸や水素といった活性ガス雰囲気下での接合や、不活性雰囲気では300°C以上という高温条件での接合が必要になるなどが技術課題として挙げられてきた。

そこで、当社開発の銀接合材料の低温焼結性に着目し、原料銀粉末の作製技術を応用した焼結型銅接合材料の開発を進めており、不活性雰囲気かつ300°C以下の低温で接合可能なことが特徴である⁵⁾。本稿では焼結型銅接合ペーストの改善状況や接合層特性の評価結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 ペースト作製

銅粉、溶剤、分散剤を所定の成分比で秤量し、遊星攪拌機にて混合した後、三本ロールで混練することで銅ペーストを調製した。分散剤はペースト中の重量比で1%とし、銅粉比率（フィラー率）は適宜変更し、残分を溶剤とした。

2.2 ペースト評価

粘度をmalcom社製スパイラル粘度計PCU-02Vを用いて25°C-10 rpmで測定した。ペーストの印刷性を白色干渉顕微鏡にて評価した。マスク厚は50 μm、マスク開口サイズは10 mm□とし、銅基板上にペーストを印刷塗布した。印刷表面の高さマップを白色干渉顕微鏡にて取得した。

2.3 接合体作製

図1のように銅基板上にメタルマスクを配置し、メタ

ルマスク上に乗せた一定量のペーストをメタルスキージにて手動で印刷塗布した。ペーストを塗布した基板をホットプレート上で加熱することで乾燥した。乾燥した塗布膜上にチップマウンターを用い、Auメタライズのシリコン素子をマウントした。加圧加熱接合はアルファデザイン社製ダイボンダHTB-MSを用いた。接合中は窒素ガスをフローし、酸素濃度が500 ppm以下となるようにした。加圧接合におけるパラメータである圧力、到達温度、保持時間は適宜変更した。

2.4 接合体評価

作製した接合体の接合状態を超音波探傷装置にて評価した後、接合強度をダイシエアテスタによるシエア強度にて評価した。シエア強度は従来のはんだ材料と同等程度の30 MPaを目標とした。

2.5 焼結膜評価

ガラス基板とガラス素子を用いて接合体作製と同様のプロセスにて焼結膜を得た。マスク厚は50 μm、マスク開口サイズは10 mm□とした。ペーストの焼結性を焼結膜の断面SEM観察にて評価した。また、焼結膜の比抵抗をロレスタで測定しWiedemann-Frantz 則によって熱伝導率へ換算した。また焼結膜をフィッシャー社製ピコインデントナー HM500で測定することによりヤング率を得た。インデントナーの最大押し込み量は2.0 μm、最大荷重は100 mNとした。

3. 結果考察

これまで開発してきたペーストの課題として印刷性があげられる。ペースト中の粉末分散性が低いとペーストの粘度が高く、また、凝集ダマを内包することで印刷後の表面に凹凸が生じてしまう。ペースト中の粉末分散性を向上させることにより、印刷性の向上が期待できる。また表面凹凸が低減されることにより、接合される部材との密着性が向上し、結果として現状よりもより低温かつ低加重で接合できる可能性がある。

印刷性改善に向け分散剤の探索をした結果、従来の分散剤Aに代わる分散剤Bを見出した。図2に分散剤Aを用いた従来ペーストと分散剤Bを用いた新規ペーストの印刷性評価結果を示す。分散剤Aでは粉末の分散不足による凝集ダマに起因した凹凸が見られた一方分散剤Bでは凹凸のない滑らかな印刷表面が得られた。それぞれのペーストから焼結膜を作製し断面SEM観察した結果を図3に示す。作製条件は10 MPa加圧にて300℃-3分加熱した。分散剤Aよりも分散剤Bの方が焼結促進され、より太いネックが形成されていることが分かる。一般的により強い分散効果を得ようとすると銅粉表面に分散剤が強く吸着し焼結を阻害してしまうが、分散剤Bでは分散性向上と焼結促進の両方の効果を有するため、本焼結銅ペーストに適した分散剤であると判断した。図4に各ペーストのフィラー率を変量した際の粘度変化を示す。印刷に適した粘度(50~150 Pas程度)にするためには分散剤Aではフィラー率80~84%程度までであるが、分散剤Bではフィラー率88~90%程度とより高フィラー率で

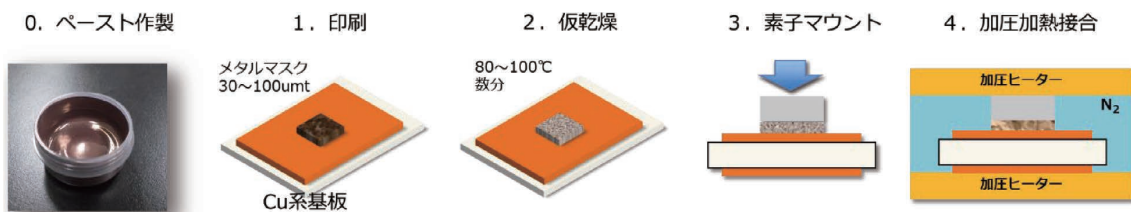


図1 接合サンプル作製フロー
Bonding sample preparation flow

評価項目	分散剤A	分散剤B
印刷性 (表面高さ分布)		

図2 各分散剤の印刷性評価
Printability evaluation of each dispersant

のペースト作製が可能であった。より高フィラー率の方が揮発させるべき溶剤が少なく、より粉末が高密度に充填されるため、焼結が促進されると考えられる。

分散剤 B を用いたペーストにおいて各接合条件における接合体を作製し、シエア強度を評価した。図 5 に各接合条件におけるシエア強度を示す。これまで標準条件としていた 10 MPa-300°C-3 min (ref) と同等のシエア強度が、従来よりも①低加圧である 5 MPa-300°C-3 min や、②短時間である 10 MPa-300°C-1 min や、③低温である 10 MPa-250°C-10 min にて得られた。また、標準条件よりも劣るものの、低加圧 5 MPa かつ低温 250°C でも 40 MPa と

十分なシエア強度を有していることが分かった。さらにはより低加圧である 2 MPa-300°C-3 min でも目標である 30 MPa を上回る 40 MPa のシエア強度を示した。

図 6 に各接合条件における熱伝導率とヤング率の相関を示す。熱伝導率とヤング率には正の相関があり、より高加圧、高温、長時間で熱伝導率とヤング率が大きくなること分かる。接合材として必要な特性である高放熱や高信頼性を両立するためには熱伝導率は高く、ヤング率は低いほうが望ましく、トレードオフの関係といえる。図 7 に各接合条件における焼結層の断面 SEM を示す。焼結が進行しネックが太くなっていくほど、熱伝導率、ヤ

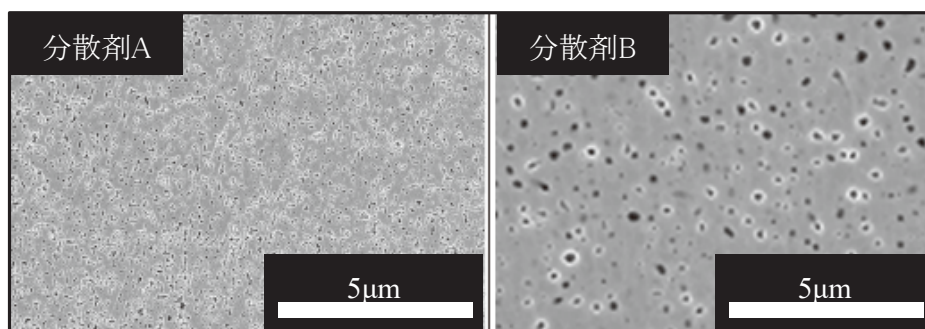


図 3 各分散剤の焼結性評価
Evaluation of sintering properties of each dispersant

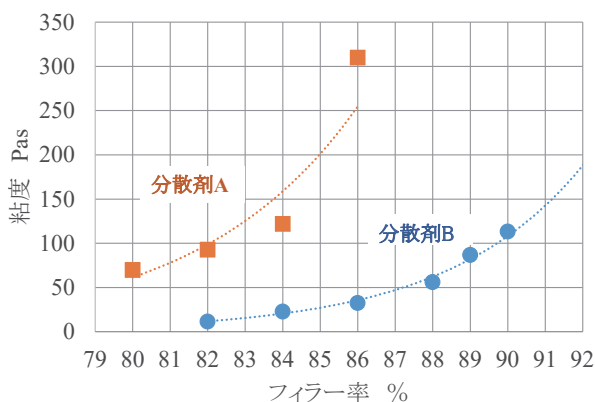


図 4 各分散剤の粘度評価
Viscosity evaluation of each dispersant

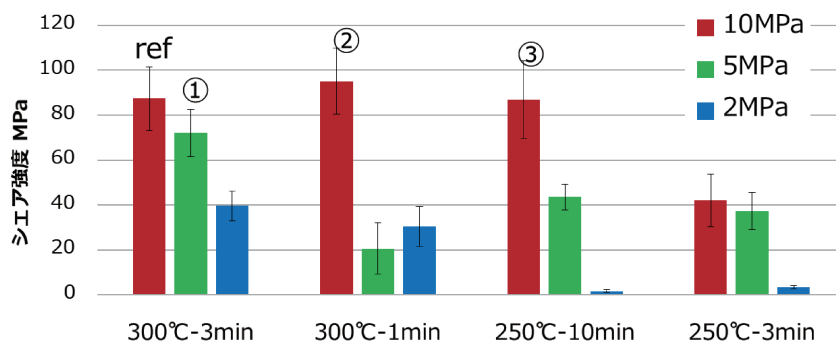


図 5 各接合条件におけるシエア強度
Shear strength at each bonding condition

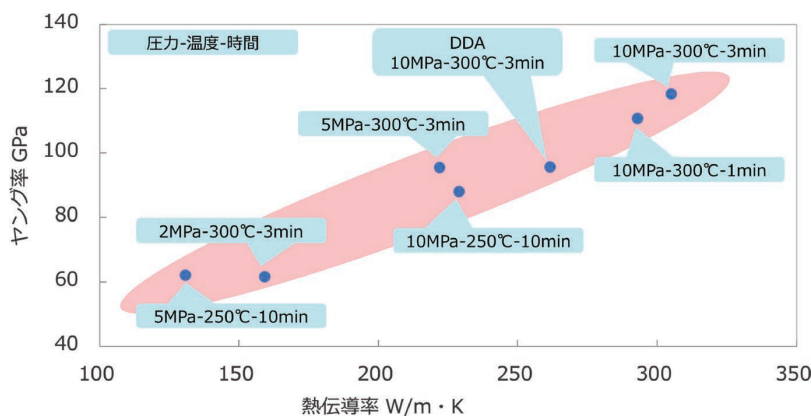


図 6 各接合条件における熱伝導率とヤング率の関係

Relationship between thermal conductivity and Young's modulus of each bonding condition

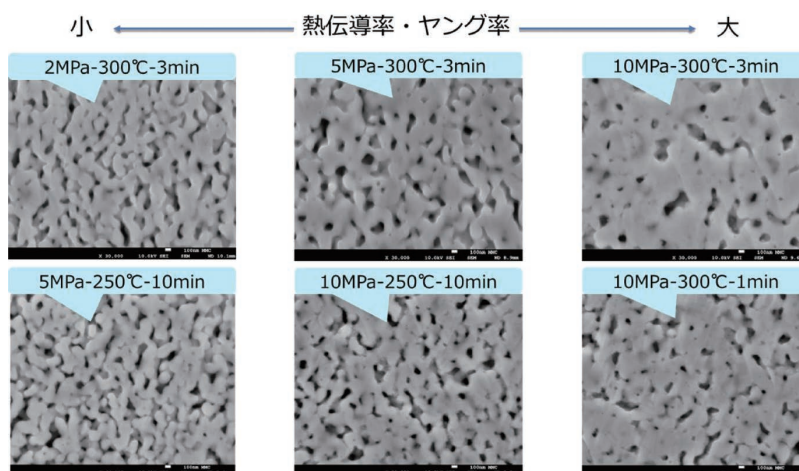


図 7 各接合条件における焼結性評価

Evaluation of sintering properties of each bonding conditions

ング率ともに増大していくことが明らかになった。

4. おわりに

パワーデバイス用接合材として焼結銅ペーストを開発した。適した分散剤を選定することで、ペースト中の粉末を分散させるとともに焼結性を向上させることが可能となった。加圧接合時の温度、圧力、時間が大きくなるとともに接合強度は向上した。焼結の進行とともに熱伝導率とヤング率の増大が見られた。接合強度と熱伝導率、ヤング率はいずれも相関関係にあり、これらの特性を独立に制御していくことが今後の検討項目である。

文 献

- 1) 菅沼克昭, “SiC/GaN パワー半導体の実装と信頼性評価技術”, 日刊工業新聞社 (2014) pp. 110-111.
- 2) 増山弘太郎, 山口朋彦, 樋上晃裕, 山崎和彦, “ナノ/サブミクロン複合銀粒子による無加圧低温接合”, エレクトロニクス実装学会 (2017).
- 3) 増山弘太郎, 野中壮平, 八十嶋司, 片瀬琢磨, 石川

雅之, “焼結型銀ペーストを用いた銅への無加圧接合に関する研究”, 第 28 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム (2018).

- 4) 林志桜里, 乙川光平, 増山弘太郎, 八十嶋司, 伊藤和之, 岩田広太郎, 中川将, 中矢清隆, 片瀬琢磨, “焼結型銀ペーストを用いた銅への無加圧接合に関する研究”, 第 28 回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム (2022).
- 5) 山口朋彦, 乙川光平, 樋上晃裕, “焼結型銅接合材の開発とその信頼性評価”, 第 33 回エレクトロニクス実装学会 春季講演大会 (2019).



岩田 広太郎 Kotaro IWATA
界面接合領域 専任研究員 博士 (理学)