



銅ナノ粒子を用いた転写型接合シートの開発

Development of Transfer Bonding Sheet Using Copper Nanoparticles

三好 健太朗* 高田 克則* 五十嵐 弘*
MIYOSHI Kentaro TAKADA Katsunori IGARASHI Hiroshi

パワーデバイスは、電気自動車などの用途でインバーター等の電力変換器に用いられており、最近では高温動作が可能な SiC パワーデバイスが期待されている。一方、従来の Si パワーデバイスで使用されているはんだ接合材は、耐熱性に乏しく、SiC パワーデバイスには不向きで、耐熱性の高い金属ナノ粒子接合材が注目されている。本稿では、当社で製造した銅ナノ粒子を用いて、低温接合 (250°C以下) 可能な転写型接合シートの開発を実施したので報告する。具体的には、バインダーのガラス転移温度および濃度を検討した結果、250°Cの接合温度で、70MPa 以上のせん断強度を安定して得られる転写型接合シートを作製できた。

Power devices are used in power converters such as inverters for electric vehicles and other applications, and recently, SiC power devices capable of high-temperature operation are expected. On the other hand, the solder bonding materials used in conventional Si power devices have poor heat resistance and are unsuitable for SiC power devices, so metal nanoparticle bonding materials with high heat resistance are attracting attention. In this paper, we report on the development of a transfer bonding sheet that enables low-temperature bonding (below 250°C) using copper nanoparticles manufactured by our company. Specifically, by examining the glass transition temperature and concentration of the binder, we were able to create a transfer bonding sheet that can stably obtain a shear strength of 70 MPa or more at a bonding temperature of 250°C.

1. 緒言

近年、電気自動車、ハイブリッド車の普及や太陽光、風力発電の重要性が再認識されており、パワーデバイスの需要が増している。これに伴ってインバーター等の高効率化が進められており、電力変換器を限られたスペースに搭載するためにモジュールの小型化が必要であるが、そのためには利用温度の上限を高めて出力パワー密度を高める必要がある。しかしながら、現在主流である Si パワーデバイスでは動作可能温度の上限が 150°C であり、耐熱性の問題でモジュールの小型化の限界に近づいてきている。

一方、SiC や GaN などのデバイス材料においては 200°C 以上での動作が可能であり、Si パワーデバイス代替として期待されている。それに伴って素子と基板な

どを接合する信頼性の高い実装技術の開発が求められている。従来の Si パワーデバイスにおける電子部品の接合材としては、はんだ系の材料が広く用いられているが、はんだ材料は耐熱性に乏しく、高温環境での使用が見込まれる SiC パワーデバイスには不向きであり、高温動作に耐えられる接合材が必要とされている。

SiC パワーデバイス向け接合材としては、金属ナノ粒子を用いた焼結型接合材が期待されている。金属ナノ粒子は、サイズ効果により表面活性が極めて高いことから低温で焼結し、焼結後はバルクの融点まで溶融しない特徴を持つ。この特徴により高耐熱の接合材料として有望とされており、銀ナノ粒子用いた接合材は、既に使用され始めている²⁾。一方、銀ナノ粒子は、コスト面やイオンマイグレーション耐性が低い課題があり、銀材料よりも低コストでイオンマイグレーション耐性がある銅

* 技術開発ユニット 山梨ソリューションセンター
ナノ材料開発プロジェクト

ナノ粒子を用いた接合材料の開発が期待されている³⁾。

当社は、酸素燃焼技術を利用して、Fig. 1 に示す粒子径 100 nm 程度で表面が数 nm 程度の亜酸化銅で覆われている銅ナノ粒子を乾式法で大量製造できる技術を保有している⁴⁾。本稿では、当社製の銅ナノ粒子を用いた転写型接合シートの開発を実施したので報告する。

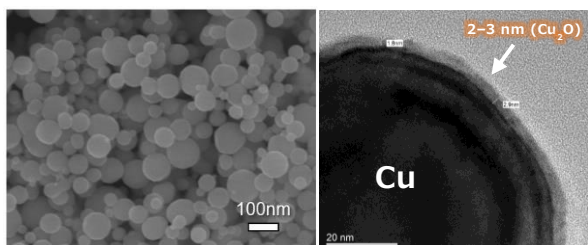


Fig. 1 SEM and TEM image of Copper nano particles.

2. 転写型接合シートの概要

転写型接合シートの概要を Fig. 2 に示す。転写型接合シートとは、離形フィルム基材に銅ナノペースト乾燥膜を形成し、その乾燥膜上に、SiC チップなどの被接合材をマウントし、加温加圧することで被接合材と同サイズに転写可能なシート状の接合材である。

一般的なペースト型の接合材と比較して、印刷や予備乾燥が不要となるため、接合体作製の生産性が高く、またシート状であり被接合材と同サイズで転写できるため、ハンドリング性も優れている。

本開発において、ユーザーニーズ、安定した接合性能の確保およびユーザーでのハンドリング性の観点から、技術課題は、以下の3つが存在する。

- (1) ひび割れのない乾燥膜形成
- (2) SiC チップへの転写型接合シートの全面転写
- (3) 250℃以下の低温接合性の付与

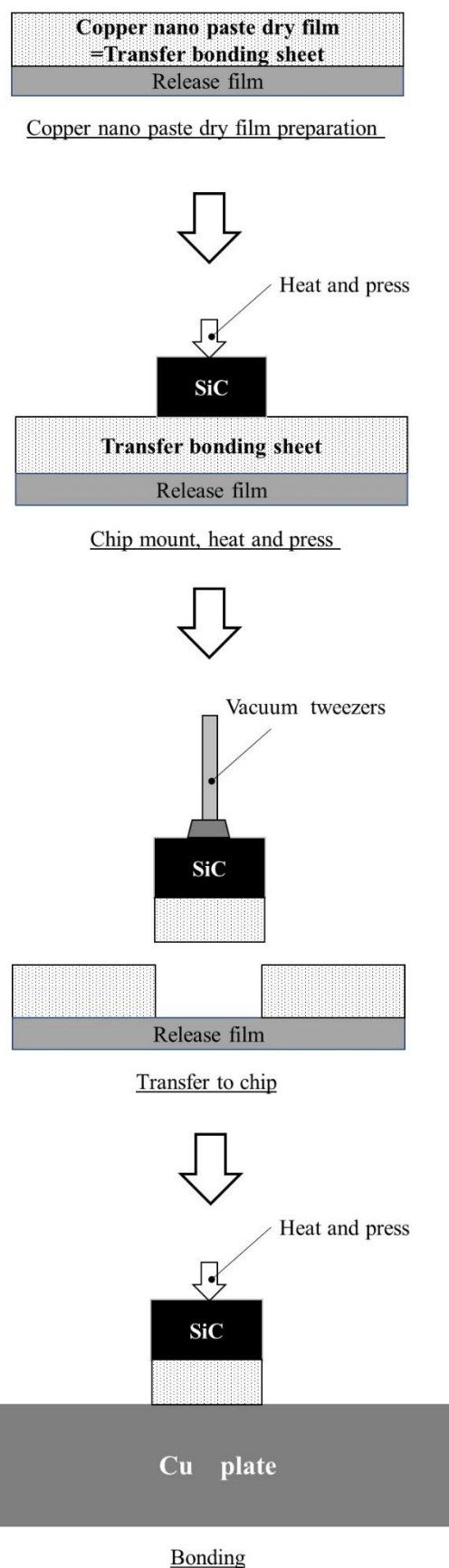


Fig. 2 Development overview of transfer bonding sheet

3. 実験方法

3.1 ひび割れ抑制検討および全面転写検討

適正な銅ナノペースト乾燥膜を作製するためのペースト組成について検討を行った。Table1 に試作検討した銅ナノペーストの構成を示す。

SiC チップへの全面転写を実現させるためには、銅ナノペースト乾燥膜に接着機能を付与する必要がある。そこで、銅ナノペースト中に、アクリルバインダー（バインダー：ペーストに粘性を与えると同時に、乾燥膜に接着機能を付与する材料）を添加し、当社製銅ナノ粒子と表面の亜酸化銅を還元する還元剤、および溶媒のテルピネオールを混合し、銅ナノペーストを作製した。また、一般的に乾燥膜のひび割れは、アクリルバインダーのガラス転移温度と相関があることから、ガラス転移温度の異なる 2 種のアクリルバインダーを用意し、同一組成のペーストをそれぞれ作製して、ガラス転移温度が銅ナノペースト乾燥膜の形成に与える影響を検討した。

Table 1 Paste compoision

Paste	Composition	Binder Glass transition temperature
A	Copper nanoparticles	45°C
	Acrylic binder A	
	Reducing agent	
	Terpineol	
B	Copper nanoparticles	5°C
	Acrylic binder B	
	Reducing agent	
	Terpineol	

Table1 に示す銅ナノペーストを離形フィルム上に塗布し、ペースト塗布膜中の溶媒を熱風オーブンにて乾燥し、転写型接合シートを得た。次に、転写型接合シート上に SiC チップ（5 mm 角,t350 μm）をマウントし、150°C、10 MPa、30 秒の加温・加圧処理によって SiC チップのメタライズ面（最表面：Au）への転写可否を検証した。

3.2 低温接合性の付与検討

250°C以下の低温接合性を付与するにあたり、アクリルバインダーB を用いて、銅ナノペースト中のバインダー濃度を検討した。Table2 に検討したペーストの構成を示す。バインダー添加濃度の異なる 2 種のサン

ルを比較検討した。

Table 2 Paste compoision

Paste	Composition	Binder concentration
B	Copper nanoparticles	X
	Acrylic binder B	
	Reducing agent	
	Terpineol	
C	Copper nanoparticles	0.5X
	Acrylic binder B	
	Reducing agent	
	Terpineol	

Table2 に示す銅ナノペーストを用いて、3.1 と同様に転写型接合シート作製および SiC チップに転写させ、接合試験を実施した。接合試験は、C1020 無酸素銅板（20 mm 角,t2 mm）上に接合シートを転写した SiC チップをマウントし、Fig. 3 に示す昇温パターンで加圧接合装置にて接合した。また、接合は接合圧力 10 MPa で窒素雰囲気中にて実施した。得られた接合サンプルは、破壊試験機にて破壊させ、せん断強度を評価した。なお、A4 サイズ程度の転写型接合シート 1 枚から、5 つの転写型接合シート付 SiC チップを用意して接合サンプルを作製し、せん断強度のばらつきも併せて調査した。

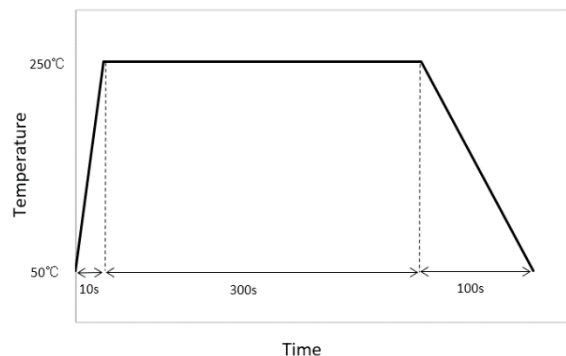


Fig. 3 Heating pattern in bonding test

4. 実験結果と考察

4.1 ひび割れ抑制検討および全面転写検討

銅ナノペースト A を用いた転写型接合シートのマイクロスコープ像を Fig. 4 に示す。銅ナノペースト A を用いて作製した転写型接合シートは、乾燥膜にひび割れが多数生じた。一方、銅ナノペースト B を用いた転写型接合シートは、Fig. 5 に示すようにひび割れのない良好な乾燥膜が得られることを確認した。

銅ナノペースト A を用いた転写型接合シートで見られたひび割れは、乾燥収縮による応力に耐え切れず、発生したものと考えられる。一方、銅ナノペースト B を用いた転写型接合シートは、ガラス転移温度が常温以下 (5°C) のアクリルバインダーを用いているため、可塑効果が発揮され、乾燥膜に柔軟性があり、乾燥収縮時の応力を緩和でき、ひび割れを抑制できたものと考えられる。

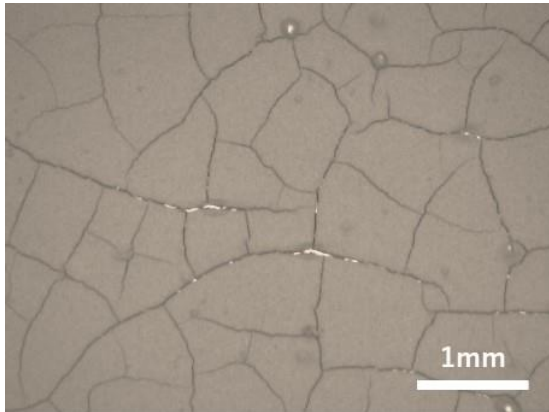


Fig. 4 Microscope image of paste A dry film.

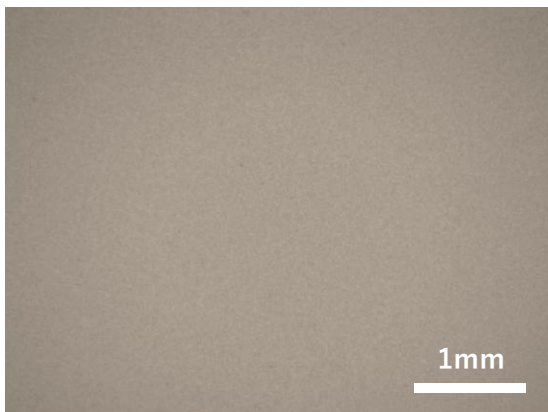


Fig. 5 Microscope image of paste B dry film.

ひび割れのない良好な乾燥膜が得られた銅ナノペースト B を用いた転写型接合シートにおける転写後の SiC チップメタライズ面および離形 PET フィルムを Fig. 6 に示す。Fig. 6 に示すように、離形フィルムに残渣なく SiC チップと同サイズに転写型接合シートを転写できることが確認された。

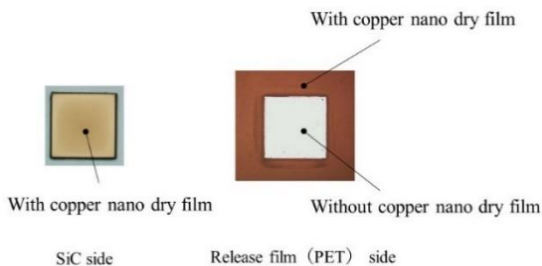


Fig. 6 Microscope image of SiC and release film after transfer

4.2 低温接合性の付与検討

銅ナノペースト B および銅ナノペースト C を用いて作製した転写型接合シートにおける接合試験の結果を Table3 に示す。

Table 3 Shear strength measurement results of transfer bonding sheet

Paste	Sample	Bonding conditions	Shear strength [MPa]
B	1	250°C	>79.3
	2		>79.3
	3	10 MPa	41.9
	4	5 min	37.9
	5	@ N ₂	58.6
C	1	250°C	>79.3
	2		>79.3
	3	10 MPa	>79.3
	4	5 min	>79.3
	5	@ N ₂	>79.3

銅ナノペースト B を用いた転写型接合シートでは、5 サンプル中 2 サンプルにおいて、200 kg のロードセルでは破壊できないほどの高せん断強度 (>79.3 MPa) であったが、残りの 3 サンプルについては 40 MPa 前後の強度に留まり、せん断強度にばらつきが生じた。また、破壊されたサンプルは、いずれも SiC チップと転写型接合シート界面で剥離する結果となった。一方、バインダー濃度が低い銅ナノペースト C を用いた転写型接合シートでは、いずれのサンプルでも 200 kg のロードセルでは破壊できないほどの高せん断強度 (>79.3 MPa) で安定することを確認した。

銅ナノペースト B を用いた転写型接合シートにおけるせん断強度のばらつきを考察するために、別途、接合サンプルを用意し、接合サンプルの断面観察を実施した。その結果を Table4 に示す。

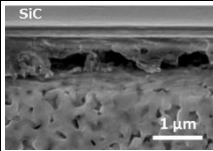
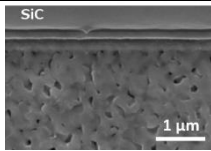
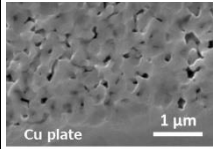
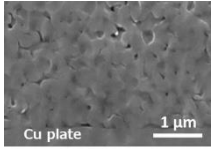
いずれのサンプルも転写型接合シートにおける銅ナノ粒子の焼結は十分進行しており、銅板と転写型接合シート界面には空隙がなく良好に接合できていることが確認された。一方で、SiC チップと転写型接合シート界面に空隙が観察される場合 (パターン 1) と空隙がなく良好に接合できている場合 (パターン 2) があり、この空隙が、SiC チップと転写型接合シート界面での破壊の原因であると推測した。

銅ナノペースト中に存在するアクリルバインダー

は, Fig.7 に示すように銅ナノ粒子表面層に吸着している吸着バインダーと銅ナノ粒子表面層に吸着せずに, 溶媒中に分散しているフリーバインダーの2種が存在していると考えられるが, 銅よりも比重が軽いフリーバインダーは, ペースト溶媒の乾燥中に塗膜表面側へ移動し, 転写型接合シートの最表面に偏析しやすいと推測される。さらに, 乾燥ムラなどがあるとバインダーの分布状態にばらつきが生じることが予想される⁵⁾。そのため, SiC チップと転写型接合シート界面にバインダーが偏析した状態で接合されるため, 接合時にバインダーが分解され, 界面に空隙が生じ, 剥離の起点となったと考えられる。

この転写型接合シート最表面のバインダー偏析および分布状態のばらつきが, せん断強度のばらつき要因と考えた。

Table 4 Cross sectional observation results of bonded sample using paste B.

Pattern	1	2
SiC - Bonding sheet interface		
Cu plate- Bonding sheet interface		

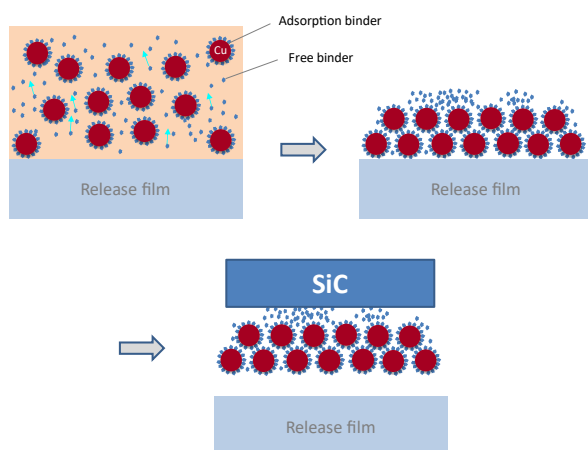


Fig. 7 Surface segregation image of free binder

一方, 銅ナノペースト C では, バインダー濃度がペースト B よりも低いため, フリーバインダーもより少ないと推測される。よって, 転写型接合シート最表面へのバインダー偏析も少なくなり, 高いせん断強度で安定化

できたと考えられる。

5. 結論

本研究では, 離形フィルム基材に銅ナノペースト乾燥膜を形成し, その乾燥膜上に, SiC チップなどの被接合材をマウントし, 加温加圧することで被接合材と同サイズに転写可能でかつ, 250°C以下の低温接合が可能な転写型接合シートを開発できた。その結果, 以下のことを確認した。

- ・ガラス転移温度が常温より低いアクリルバインダーを用いることで, ひび割れのない良好な銅ナノペースト乾燥膜が得られ, 150°C, 10 MPa の加温・加圧処理で SiC チップと同サイズに転写可能な転写型接合シートが作製できることが判明した。
- ・バインダー濃度を低減した転写型接合シートは, 250°C, 10 MPa の低温加圧接合条件において, 70 MPa 以上の高強度を安定して得られることが判明した。

今後は, バインダーのガラス転移温度および添加量の最適化による転写型接合シートのさらなる性能向上検討を予定している。

参考文献

- 1) 伊藤健, 篠原俊朗, 三橋雅彦, 本泉佑, 平井清人, 曾我雅康, 秋山伸之, 宮入正幸, 小柏俊典. サブミクロン銀粒子を用いたダイボンド技術. 第26回エレクトロニクス実装学会要旨集, (2012), pp.337-338.
- 2) 篠原俊朗, 三橋雅彦, 八坂慎一, 伊藤健, 田口勇, 伊東秀高, 増田信次, 本泉佑. パワーエレクトロニクス実装に向けた高耐熱接合技術の研究. 神奈川県産業技術センター研究報告, 15 (2009), pp.49-50.
- 3) 福角真男, 長岡亨, 森貞好昭, 中許晶美. 金属ナノ粒子を利用した接合技術. スマートプロセス学会誌, 1 (2012), pp.126-132.
- 4) 大陽日酸株式会社, ニュースリリース. 酸素燃焼による画期的な金属ナノ粒子合成技術を開発. (2014), http://www.tn-sanso.co.jp/jp/_documents/news_12419932.pdf.
- 5) 張躍, 川崎睦郎, 安藤公成, 加藤善二, 内田希, 植松敬三. PVA-水-アルミナ系スラリー乾燥時の PVA の表面偏析. Journal of the Ceramic Society of Japan, vol.100, 1164(1992), pp.1070-1073.