

マイクロエレクトロニクス実装分野で求められる 新たなマイクロ接合技術



特 集
接合科学研究所
産学連携シンポジウム

大阪大学 接合科学研究所
教授 西 川 宏 氏

1. はじめに

気候変動問題への対応は、世界共通の課題であり、必ず成し遂げなければならない課題と言える。我が国では、2050年までの温暖化ガス排出実質ゼロを政府目標とした改正地球温暖化対策推進法が本年5月に成立し、2030年度までに2013年度比で46%削減する目標も中間目標として掲げられている。2050年のカーボンニュートラル、脱炭素社会を実現するためには、徹底した省エネルギーの推進、再生可能エネルギーの最大限の活用などの取り組みが不可欠である。そのため、電力供給の上流から電力需要の下流までを支えるパワーエレクトロニクス技術の益々の発展が求められている。そこで、パワーエレクトロニクス技術のキーとなるパワー半導体デバイスが注目を集めており [1,2]、飛躍的な性能向上も求められ、SiCなどの次世代半導体材料とそのデバイスの研究開発が進行している。また、モジュール化する際の接合や樹脂封止などの各要素技術の重要性も高まっている。一般にパワーモジュールの場合、耐熱性が求められる接合部にはPb含有率85%以上の高鉛含有はんだやSn-Sb系の鉛フリーはんだがインサート材として使用されているが、更なる高温環境でのパワーモジュールの利用やパワーモジュール内での発熱も想定されており、有害物質フリー

の新たな高耐熱接合技術が求められている [3]。本稿では、金属ナノ粒子を用いた高耐熱接合技術の研究動向について紹介するとともに、表面に3次元ナノ構造を有するナノポラスシートに着目し、我々が新規に提案している接合プロセスについて紹介する。

2. 高耐熱接合技術の現状

接合用のインサート材に金属ナノ粒子やサブミクロンサイズの金属粒子を混合したペーストを利用する接合プロセスに関して、近年、多くの研究開発の成果が報告されている [4,5]。特に金属ナノ粒子を利用した接合は、有機保護層を有する金属ナノ粒子と有機溶媒を混合したナノ粒子ペーストが用いられ、ナノ粒子特有の低温焼結性を利用したプロセスとなっている。金属ナノ粒子は、低温焼結性を有するが、一方で表面が活性なため凝集しやすく、単一分散させるためには有機物などで表面を被覆しておく必要がある。図1にその接合プロセスの概略を示すが、加熱中にペースト中の有機分が分解、除去された後、ナノ粒子同士の焼結が進行することで、加熱後は継手の接合層がバルク状態となる。Agナノ粒子やCuナノ粒子を適用した場合には、低融点のはんだ材料に比べて加熱後の接合層は、高い耐熱性を有し、優れた接合強度を有するものと期待できる。

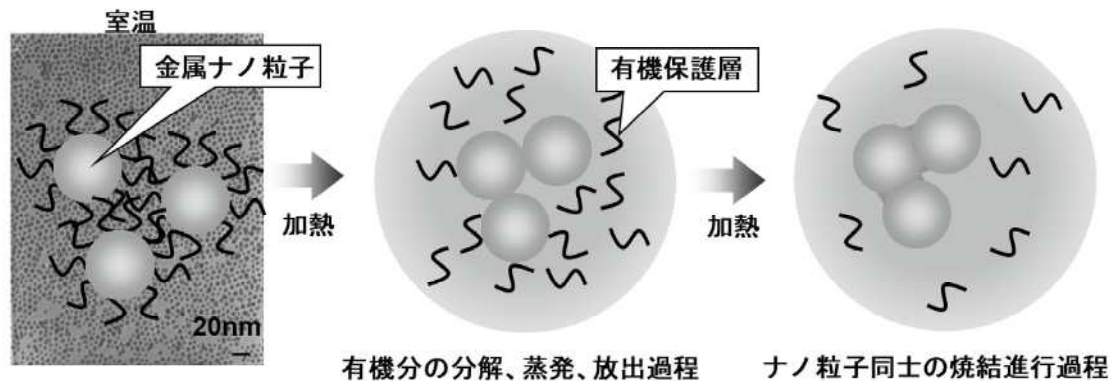


図1 金属ナノ粒子を用いた焼結接合プロセスの概略

具体的に Ag ナノ粒子の低温焼結性について、市販の Ag ナノ粒子ペーストを用いて、評価した一例を図2に示す。加熱のみによる粒子同士の焼結特性を評価するため、基板の上に塗布した Ag ナノ粒子ペーストのみ加熱をおこなった。無加圧、一定温度 (300, 400 °C) で、5 min 間保持した。空冷した後、走査型電子顕微鏡 (SEM) でペースト表面の観察を行い、Ag ナノ粒子同士の焼結状態を評価した。保持温度が 300 °C でも、細かい空隙を多く含んでいるものの、Ag ナノ粒子同士の焼結は進行し、サブミクロンサイズの結晶粒にまで成長していることが分かる。さらに、400 °C と保持温度が高くなると、さらに焼結が急速に進行し、結晶粒サイズ、空隙サ

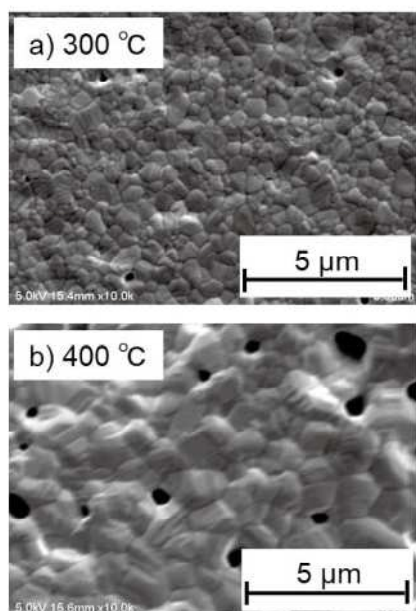


図2 Ag ナノ粒子ペーストの表面状態

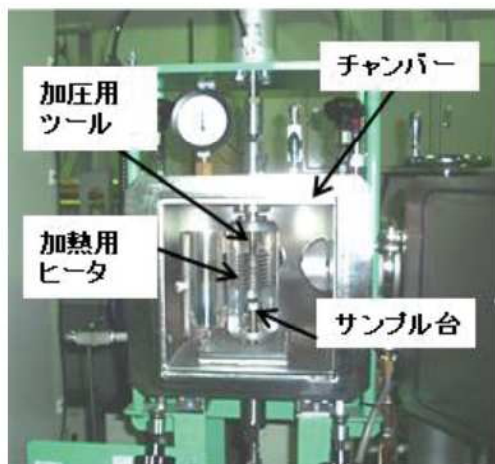


図3 研究室独自の接合装置の内部構造

イズともに大きく成長しており、結晶粒サイズは直径 1 μm 前後にまで成長した様子が確認できる。このように Ag ナノ粒子ペーストの場合、Ag の融点の 1/2 以下の温度でも十分に焼結が進行し、無加圧の状態では、空隙を含むものの比較的密な構造ができることが分かる。金属ナノ粒子を用いた焼結型接合の場合、接合雰囲気制御しながら、加熱・加圧を行う必要があることから、図3に示すような雰囲気制御が可能なチャンバー内で加熱・加圧できるような独自の接合装置を用いて接合を行う。加熱中に加圧力を印加すると、緻密化が進行し、密な接合層が形成される。密な接合層が形成できれば、Ag ナノ粒子や Cu ナノ粒子を適用した場合、Ag の融点が 963 °C、熱伝導率が 420 W/mK、Cu の融点が 1083 °C、熱伝導率が 396 W/mK であることから 300 °C 程度の融点を持つ高鉛含有はんだに比べ、高い耐熱性と高い放熱性を有することが期待できる。このようなことから、Ag ナノ粒子ペーストは、SiC などの次世代半導体デバイス向けに、高耐熱性や高放熱性が求められる接合部用のインサート材として期待できる。

一方で、金属ナノ粒子を用いた焼結型接合は、はんだ付のようにはんだ合金が溶融し、基板表面上に濡れ広がるようなプロセスではなく、固相状態での焼結現象であるため、接合部の最終形態や特性は、接合プロセスの影響を大きく受ける。また、ナノ粒子ペーストを利用する場合には、コストが高くなることに加えて、ペースト化する際に保護層や溶媒などの有機物の割合が高くなり、特に大面積の接合では加熱後も有機物が接合層中に残留し、空隙となり易いなどの解決し難い問題が残されており、我々は、この問題を解決するため安定なミリメートルサイズのシート状でありながら、表面にナノ構造を有する新たな接合材料を用いた接合プロセスを提案している。

3. 3次元ナノ構造を有する金属シートによる接合

表面に3次元ナノ構造を有するシート状の接合用インサート材の研究を進めている。100μm 厚程度の二元系合金から卑な金属のみの選択溶解を利用した Dealloying と呼ばれるプロセスにより、図4に示すような数十ナノサイズの Au ナノ粒子がランダムに三次元的に配列した3次元ナノポーラス構造の作製が可能である。Au 以外にも Ag や Cu のナ

ノポーラス構造の作製も可能である。このような構造の面白い特徴は、同じく図4に示したように200℃程度で加熱するだけで大きく表面構造が変化し、組織が粗大化することである。すなわち、3次元ポーラス構造表面で活発な物質移動があったことを示唆している。このようなシートを接合用インサート材として利用することを考え、Au-Ag合金より作製したAuナノポーラスシートとCu試片（被接合体）の接合実験を行った。その際の接合部界面近傍を図

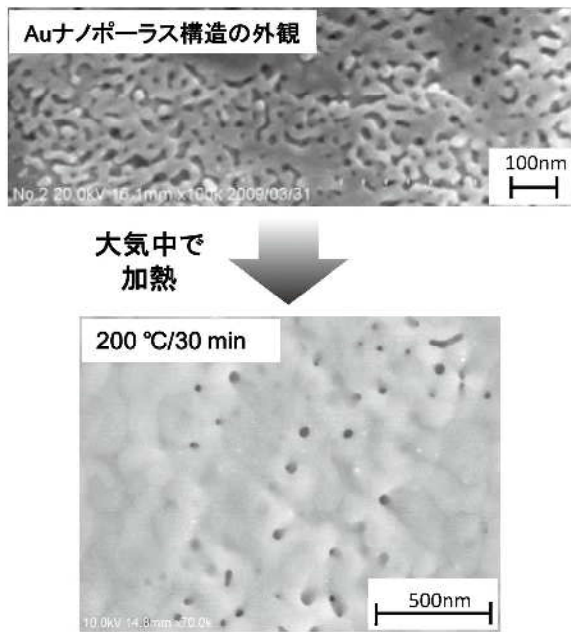


図4 Auナノポーラス構造と加熱後の表面構造変化

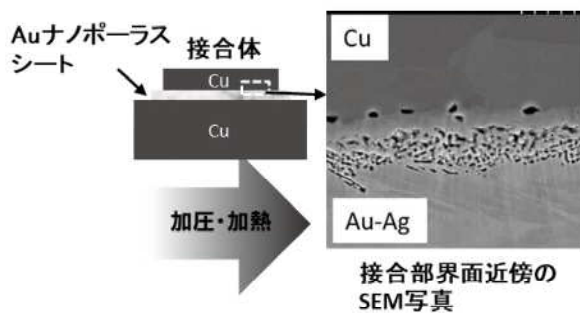


図5 Auナノポーラス構造表面とCuとの界面構造

5に示すが、Auナノポーラスシート/Cu試片界面に反応層が形成され、良好な接合部が形成されていることが分かる。接合部に低融点の材料を含まないことから、高耐熱性も期待でき、高融点はんだに替わる新たな接合用インサート材として、ナノポーラス材料を効果的に使用できる可能性があると考えている。

4. おわりに

本稿では、新たなマイクロ接合技術として金属ナノ粒子を用いた高耐熱接合技術の動向とその接合プロセスを紹介しながら、我々が提案する3次元ナノポーラス構造を利用した接合技術について概説した。我々の大阪大学接合科学研究所接合プロセス研究部門加工プロセス学分野では、環境負荷低減に寄与できる高能率・高効率な先進加工プロセスの構築や接合科学の高度化の基盤となる教育研究活動を推進しており、その中でも、『マイクロ接合部の構造・機能制御に着目した、機能性接合材料の創出や先進プロセスの構築、接合部の高信頼性化・最適化の達成』を研究テーマの根幹に据え、広く研究活動を展開している。研究成果を研究室内で終わらせることが無いように、産学連携による実用化研究や海外大学・研究機関との国際協働研究も積極的に実施することで大阪大学のモットーである「地域に生き、世界に伸びる」を実践することを目指しており、我々の研究活動や産学連携などにご興味のある方は是非、お問い合わせ頂きたい。

参考文献

- 1) 藤平ら, 富士電機技報, 91-4 (2018) 194-200.
- 2) 西原ら, 三菱電機技報, 94-3 (2020) 148-152.
- 3) 西川, 溶接学会誌, 81-1 (2012) 45-57.
- 4) E. Ide et al., Acta Materialia, 53-8 (2005) 2385-2393.
- 5) 廣瀬, 溶接学会誌, 76-3 (2007) 162-166.