

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

大阪大学 接合科学研究所
教授 西川 宏氏

1. はじめに

エレクトロニクス実装分野において製品の小型化・高機能化が年々進められている。一方で、近年、電力エネルギーの効率と再生可能エネルギーの比率を高めるためパワーエレクトロニクス機器に注目が集まっているが、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が使用されており、高鉛含有はんだを用いた接合に代わる有害物質フリーの耐熱接合技術が求められている。本講演では、高鉛含有はんだ代替技術の研究動向について紹介するとともに、マイクロサイズの金属粒子に着目し、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. 最近の研究動向と成果

2.1 各種合金によるはんだ付

高鉛含有はんだの代替接合材料として、現状のリフロー装置などをそのまま利用できるという利便性から、はんだの延長線となる鉛フリーの合金を利用した検討が継続的に進められている。例えば、Au系の合金としてAu-Ge-Ag系3元系合金の融点に着目し、Ni/AuめっきされたCuパターン上に形成した多孔質Ag層にAu-Ge合金を溶浸させるプロセスが提案¹⁾されている。450°Cで、Au-Ge-Ag合金化しSiCダミーチップとの接合性を高温で評価した結果、425°Cまで接合強度が維持できることなどが示されている。またAu-Ge合金とAg粒子を組み合わせた接合プロセスについては他のプロセス²⁾も提案されている。

AuやAgのような貴金属を用いた接合技術はコスト面で課題も残るため、Sn系の材料以外にもBi系やZn系の材料が、低コストで耐熱性が高い接合技術として、継続的に研究開発されている。例えば、Zn系の場合、Znは脆性で酸化速度が速いことから、延性付与と高温環境での耐酸化性の改善を目的とし

たCr添加のZn合金が提案され、各種検討が行われている³⁾。新たな接合プロセスとして、半導体チップ表面と基板表面にAl層を形成し、Zn系の合金をインサート材として用いることで、AlとZnの共晶反応を利用したアルミニウムダイレクト接合技術も提案^{4,5)}され、Alの表面形状を工夫することで大気中でも半導体チップと基板間でAl-Alのダイレクト接合が実現可能であることが報告されている。

Bi系の場合にも、実用化には延性改善が必須でありBi-Ag系合金へのGe微量添加の影響が検討され、微量添加することで破断伸びが増加し、延性が改善されることが報告されている⁶⁾。またBi系合金の引張特性に及ぼす温度と歪み速度の影響などについても報告されており、試験温度の上昇に伴い、伸びが増加することなどが示されている⁷⁾。一方で、微小領域への実装を可能とする材料供給形態としてBiめっき⁸⁾やBi合金めっき⁹⁾を接合材として用いる検討もなされ、Biめっきを用いた場合の電極層構造などの提案もなされている。

2.2 液相拡散接合

液相拡散 (Transient Liquid Phase (TLP)) 接合とは、一般にインサート材として用いた金属の融点以上で加熱し、溶融したインサート材中に母材金属が溶解することで等温凝固を起こし液相が消滅し、接合が達成される接合法である。特に最近のエレクトロニクス実装で研究されているTLP接合の組み合わせとしては、Cu-Sn, Ni-Sn, Ag-Sn, Au-SnなどのSnベースやAu-InとAg-InのInベースなどがあり、接合層が金属間化合物化するものが多く、形成した接合部の熱的安定性は、形成された金属間化合物の融点に従うものとされている。具体的には、Ni層とSn層を用いたTLP接合プロセス¹⁰⁾やCu粒子とSn粒子を混合したペーストを用いた接合プロセス¹¹⁾、Ag粒子とSn粒子を混合したペーストを用いた接合プロセスや接合装置^{12, 13)}などが提案、報告されている。

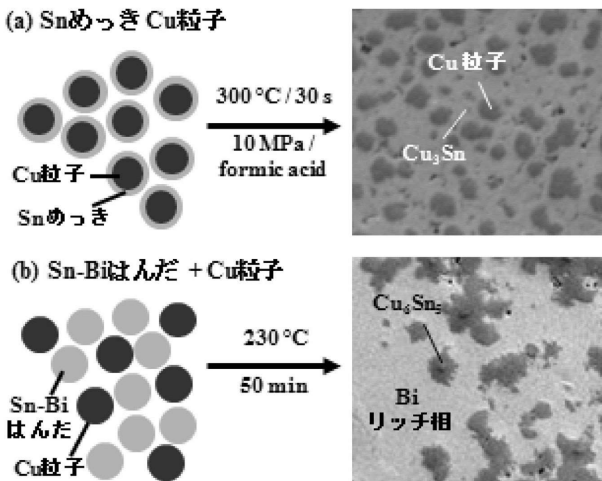


図1 マイクロサイズCu粒子を用いた液相拡散接合

我々の研究室ではTLP接合の応用技術として図1に示すようにSnめっきしたマイクロサイズCu粒子¹⁴⁾やSn-Bi合金粒子にマイクロサイズのCu粒子を加えた金属粒子ベースのTLP接合プロセス¹⁵⁾を提案している。SnめっきしたマイクロサイズCu粒子の場合、還元雰囲気としてギ酸を用い300°C、30sの条件で加熱した結果、Cu（融点：1084°C）とCu₃Sn（融点：676°C）が安定に分布し、接合体を300°C、200hの条件で高温放置しても組織や接合強度に大きな変化が見られず、高温環境でも安定な接合層が得られていることを明らかにした¹⁴⁾。また低融点合金でSn-Bi合金粒子にマイクロサイズのCu粒子を加えた場合、230°Cの低温で接合ができる長所を持つ。Sn-Biが溶融するとSnとCu粒子が反応し、Bi（融点：271°C）+Cu₆Sn₅（融点：415°C）の組織が形成可能であることを明らかにした¹⁵⁾。

TLP接合は生産性、コスト、高温安定性に優れているためパワーモジュール用実装材料に適していると思われるが、金属間化合物の脆性的な特性や長期信頼性などについて評価を進めていく必要がある。

2.3 金属粒子による接合

接合材にナノ粒子やサブミクロンサイズの金属粒子のペーストを利用した接合プロセスに関しては、近年、Agナノ粒子にとどまらずCuナノ粒子を利用した接合など、多くの研究開発の成果が報告されている¹⁶⁻¹⁹⁾。ナノ粒子を利用した接合は、ナノ粒子特有の融点降下現象を利用したプロセスであり、加熱中にナノ粒子同士の焼結が進行することで、焼

結後は接合層がバルク状態となるため、耐熱性を有し、優れた接合強度を有するものとして期待されている。ナノサイズの粒子以外にもサブミクロンサイズの粒子とのハイブリッド添加などでも比較的低温で焼結が進行することが示されており、長期信頼性の評価結果や材料と力学的性質の評価結果も含め、様々な報告が行われている。

しかしながら、Agナノ粒子を利用する場合には、コストが高くなることに加えて、ペースト状にした際に分散剤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残留しボイドとなり易いなどの解決し難い問題が残されており、我々の研究室では産学連携の共同研究で、図2に示すような、いがぐり状のマイクロサイズAg粒子を利用した接合プロセスを提案している²⁰⁾。

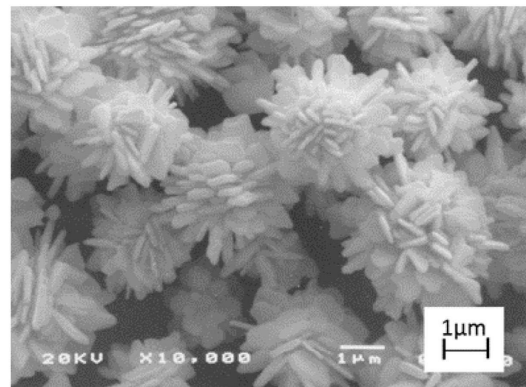


図2 微細な突起を有するマイクロサイズAg粒子の外観

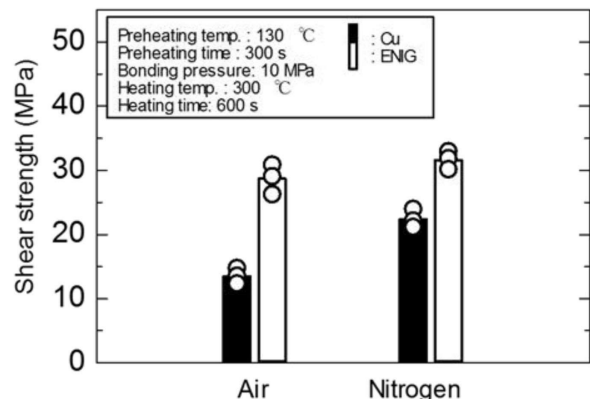


図3 マイクロサイズAg粒子を用いた接合体の接合強度評価結果

具体的には、微細な突起を有するマイクロサイズのAg粒子を含有したペースト（化研テック（株）製）を利用し接合をおこない、マイクロサイズAg粒子

のみを用いた接合の可能性について検討を行った。具体的には Cu/Cu 接合と Au めっき (ENIG) / Au めっき (ENIG) 接合を大気雰囲気と窒素雰囲気中で行い、せん断試験により作製された接合体の接合強度を評価した結果を図3に示す。Cu 試験片同士の接合の場合、大気雰囲気では酸化の影響により十分な強度は得られなかったが、窒素雰囲気を利用することで高鉛含有はんだ並の 20MPa が得られることが分かった。また Au めっき試験片同士の接合の場合には、雰囲気に関わらず 30MPa 程度の十分な接合強度が得られることが分かった。

以上のように微細な突起を有する特殊なマイクロサイズの Ag 粒子を用いることで Ag ナノ粒子の場合と同様に焼結型の接合を行うことが可能であり、接合強度も実用的な値が得られているものと判断できた。今後は、長期信頼性評価などについて進めていく予定である。

3. おわりに

金属間化合物を利用した接合層の高融点化や金属粒子を用いた接合プロセスは、パワーモジュールなどの耐熱性が必要とされる接合部に使用される高鉛含有はんだの代替技術としての適用できる可能性が見出されており、今後一層、実用化に向けた研究開発が加速されるものと思われる。一方で評価方法は、統一した規格などが存在しないため様々な評価方法が用いられており、今後は国際規格や国内規格などとして統一した評価方法が必要となるだろう。

参考文献

- 1) 高橋ら：第 20 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論文集，20 (2014), 101-106.
- 2) 高橋ら：第 21 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論文集，21 (2015), 127-130.
- 3) 朴ら：第 23 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集，(2013), 151-154.
- 4) 小椋ら：共晶反応と表面微細形状を利用したアルミニウムダイレクト接合の基礎的検討，第 20 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論文集，20 (2014), 113-118.
- 5) 宮本ら：第 20 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論文集，20 (2014), 119-124.
- 6) 下田ら：第 23 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集，(2013), 147-150.
- 7) 張ら：第 21 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論文集，21 (2015), 177-180.
- 8) 中村ら：第 23 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集，(2013), 41-44.
- 9) 吉澤ら：第 24 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集，(2014), 279-282.
- 10) 浅井ら：第 21 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論文集，21 (2015), 131-134.
- 11) 郎ら：第 21 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論文集，Vol. 21 (2015), 123-126.
- 12) 成澤ら：第 24 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集，(2014), 267-270.
- 13) 倉持ら：第 23 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集，(2013), 285-288.
- 14) Liu et al.: *Scr. Mater.*, 110 (2016), 101-104.
- 15) O. Mokhtari et al.: *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, 27 (2016), 4232-4244.
- 16) E. Ide et al.: *Acta Materialia*, 53 (2005), 2385-2393
- 17) H. Nishikawa et al.: *The Open Surface Science Journal*, 3 (2011), 60-65.
- 18) J. Yan et al.: *Scripta Materialia*, 66 (2012), 582-585.
- 19) K. Suganuma et al.: *Microelectron Reliab*, 52 (2012) 375-380.
- 20) H. Nishikawa et al.: *Materials Letters*, 161 (2015), 231-233.