

ナノサイズ Ag 粒子を用いた次世代 SiC パワーモジュールの生産技術開発

研究代表者 吉田 誠
(創造理工学部 総合機械学科 教授)

1. 研究課題

本研究では、SiC パワーモジュールにおけるエポキシ樹脂でモールドイングされたモジュールと冷却器間の接合を目指している。その際、低温接合 (200℃以下)、低加圧接合 (0.1MPa 以下)、メッキレス、フラックスレスを全て満たす接合条件が求められている。本研究では、前述の接合条件を満たすような接合技術としてナノサイズ Ag 粒子金属による接合技術に着目している。前年度、Ag ナノ粒子に Sn-Bi 粉末を添加し、ギ酸雰囲気下で Cu-Cu 接合を行い、前述の接合条件を満たすような接合プロセス条件を見出した。当初、小面積で接合実験を行い、その結果としては関連産業が定めたせん断強度を達成し、さらに、米国軍事規格 (MIL-STD-883K) もクリアした。本年度は、実際のモジュールを冷却器に接合することを目的とした大面積接合に着目しており、その接合手法の検討を行った。

2. 主な研究成果

本研究で目指す接合は、モジュールの絶縁基板下の Cu 板と Cu ヒートスプレッダー付き Al 冷却器の Cu-Cu 接合である。この接合においては、せん断強度評価用の試験片接合面積より約 100 倍の大面積接合となる。これにより、酸化膜の還元用のギ酸ガスが接合面積の中央部に到達しきれない恐れがあり、目標の接合強度が得られないことが懸念される。それを解決すべく、大面積接合のための 2 種類の接合手法を検討し、その結果を以下に述べる。

2.1 大面積接合に向けた乾燥工程の導入

当初の接合実験の際、下 Cu 板に塗布された混合ペースト（面積が約 25mm²）に上 Cu 板を搭載してサンドイッチ状態にし、さらにその上におもりを載せ、チャンバー内で加熱し接合実験を行った。同じ接合手法を大面積接合（接合面積が約 400mm²）に適用すると、図 1 に示す走査型超音波顕微鏡 (SAM) 写真から示唆されるように接合物の中央部が生焼きのような状態となり、接合しなかったことになる。これは、ギ酸ガスが中央部に到達しないため Sn-Bi 粉末の酸化膜が還元されず、Ag 粒子と Cu 板に濡れなくなり、接合を抑制することが推測される。解決法として、図 2(a) に示すようなギ酸ガスを通すためのパスを設けた。しかしながら、ペーストの上にガラス板を載せ、さらにその上におもりを搭載して再実験を行った結果、図 2(b) からわかるように、加熱後のパスが搭載されたおもりにより潰され、ギ酸ガスが中央部に到達しない恐れがある。なお、おもりの加重は接合ペーストが 0.02MPa の圧力を受けるよう調整したが、ペーストの粘性により最初からおもりを載せて接合材の形が潰されることが推測される。そのために、おもりを載せる前に、ペーストの固化が重要と思われ、新たな接合手法を提案した (図 3)。

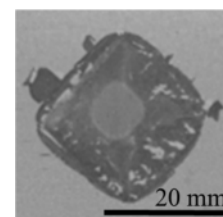


図 1 SAM 像

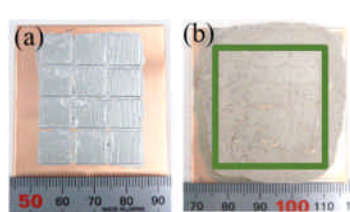


図 2(a) 塗布後のパス (b) 加熱後のパス状態

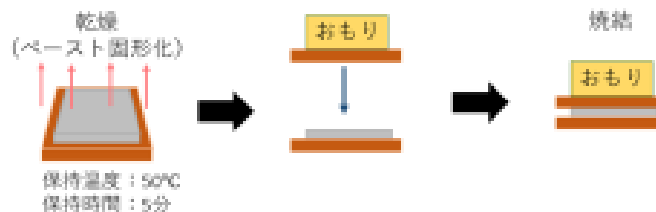


図 3 大面積に向けた提案した新接合法

図 3 に示している新たな接合法により接合した Cu-Cu 板は図 4 に表示する．なお，図 4 はハンマで叩いた後の破断面を示す．パスの残存は確認されたが，未接合部分も確認され大面積接合を達成したということは言い難い．乾燥工程（ペースト固形化工程）では，ペースト内にある有機溶媒が蒸発しペーストが固形化されパスの残存につながるが，ペーストが固形化したため，上の Cu 板との密着性が低下する恐れがある．そのために，次節で述べる両面塗布かつ Sn-Bi はんだの導入による大面積接合法について検討した．

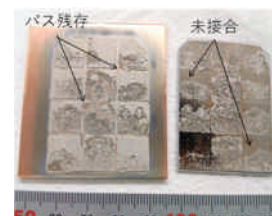


図 4 図 3 接合法により接合した Cu-Cu の破断面

2.2 大面積接合に向けたペースト両面塗布かつ Sn-Bi はんだの導入

2.1 節で述べた乾燥工程を取り入れた接合手法においては，乾燥工程後に乗せた上 Cu 板が接合材との密着性が少なく，未接合部分につながるということがわかった．そのため，上下 Cu 板に接合ペーストを塗り，ペーストを固形化してから両 Cu 板を密着させ接合実験を行う新たな接合法を提案する．ただし，固形化ペースト同士を接合すると固相接合と同様であり，高温かつ高圧力が必要となり，当初の接合条件を満たせなくなる．そのために，中間層として低温 Sn-Bi 系はんだを導入することで，Sn-Bi 液相による過渡液相接合を通して，上下 Cu 板の大面積接合を図る．図 5 はペースト両面塗布かつはんだを導入した新たな接合法を示す．

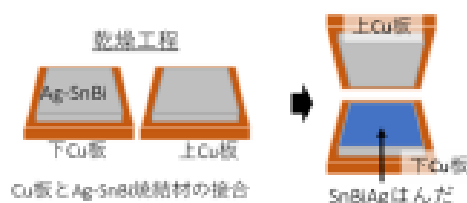


図 5 はんだ中間層を導入した大面積接合法



図 6 図 5 接合法で接合した Cu-Cu の破断面

図 6 は図 5 に示す接合法で接合した後の破断面を示す．図 4 と違って Cu 板との接合が確保できると言っても過言ではない（未接合部分がない）．また，破断面から評価すると，接合面積が 95%以上確保できると言えるであろう．しかしながら，せん断試験を行った結果，せん断強度が約 2.4MPa となり，目標値に達成しないといった新たな研究課題が生まれる．

3. 共同研究者

宮下 朋之（創造理工学部・総合機械工学科・教授）

ムハマド ハイリ ファイズ（創造理工学部・総合機械工学科・助手）

4. 研究業績

4.1 学術論文

Muhammad Khairi Faiz, Takehiro Yamamoto, Makoto Yoshida, Low temperature and low pressure bonding of plateless Cu-Cu substrates by Ag-based transient liquid phase sintering, Journal of Materials Science: Materials in Electronics 28 (2017) 9351-9362.

M. Khairi Faiz, Kazuma Bansho, Tadatomo Suga, Tomoyuki Miyashita, Makoto Yoshida, Low temperature Cu-Cu bonding by transient liquid phase sintering of mixed Cu nanoparticles and Sn-Bi eutectic powders, Journal of Materials Science: Materials in Electronics 28, (2017) 16433–16443.

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

Cu ナノスケール粒子および Sn-Bi 共晶粉末を用いた過渡液相焼結法による低温 Cu-Cu 接合, 電子情報通信学会, シリコン材料・デバイス研究会 (SDM), 「配線・実装技術と関連材料技術」, 東京大学, 2018 年 2 月.

4.4 受賞・表彰

ECR Session Award 2017, Low temperature, low pressure, fluxless and plateless Cu-Cu bonding by Cu nano particle transient liquid phase sintering, IEEE CPMT Symposium Japan 2017.

4.5 学会および社会的活動

M. Khairi Faiz, Takehiro Yamamoto, Makoto Yoshida, Sn-Bi added Ag-based transient liquid phase sintering for low temperature bonding, 2017 5th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration (LTB-3D), May 16-18, Tokyo, Japan.

M. Khairi Faiz, Takehiro Yamamoto, Makoto Yoshida, Low temperature and low pressure fluxless Cu-Cu bonding by Ag-based transient liquid phase sintering for high temperature application, IEEE CPMT Symposium Japan 2017, November 20-22.

Takehiro Yamamoto, M. Khairi Faiz, Tadatomo Suga, Tomoyuki Miyashita, Makoto Yoshida, IEEE CPMT Symposium Japan 2017, November 20-22.

5. 研究活動の課題と展望

関連産業のニーズにより初期接合面積は 95%以上である必要があるが, 2.2 で実施した大面積接合はこの目標値を達成したと言えるが, 目標のせん断強度が達成しない課題がある. 今後, 2.2 で提案した手法における強度支配因子を組織観察, 分析などを通して明らかにし, プロセス条件の変量を行いせん断強度の強化を目指していく. また, 動作時のモジュールは繰返し冷熱を受けるため, せん断強度並びに接合面積の目標値を達成した Cu-Cu 大面積接合試験片を用いた冷熱試験を実施し, 接合材における熱疲労環境下での破壊メカニズムおよび強度支配因子を明らかにしていく予定である.