

補助事業番号 2021M-153

補助事業名 2021年度 次世代パワーデバイス用焼結型接合材料のマイグレーション性評価に関する研究 補助事業

補助事業者名 大阪大学接合科学研究所 西川 宏

1 研究の概要

パワーデバイスの半導体チップを接合する新たな接合材料として、Agナノ粒子などを利用した焼結型接合材料が注目を集めている。焼結型接合については、これまで材料自身の合成や接合プロセス、接合強度に関する研究が多く行われてきたが、想定される電流密度が低かったこともあり、信頼性に影響を及ぼすエレクトロマイグレーション性の評価はほとんど行われてこなかった。エレクトロマイグレーションとは、金属部に電流を流した場合、電子が金属原子と衝突し、金属原子を電子流方向に輸送する現象である。結果として、金属原子がなくなった部分は欠陥となり、断線などの破壊に至ったり、接合部の信頼性にも大きな影響を及ぼす大きな問題である。今後は、電気オートバイや電気自動車への導入が期待される次世代パワーデバイスへの要求が高まり、小型化や高温動作化、高電流化が進むことが予想され、本事業では、Agナノ粒子を利用した焼結材料のエレクトロマイグレーション(EM)性評価を行い、エレクトロマイグレーション耐性の向上策を提言する。

2 研究の目的と背景

2050年カーボンニュートラルをゴールとして、2020年1月には革新的環境イノベーション戦略が閣議決定され、その中で「高効率・低コストなパワーエレクトロニクス技術等の開発」が、政府戦略として示され、パワーエレクトロニクス技術の革新が必要不可欠となっている。パワーエレクトロニクス技術のキーデバイスであるパワーデバイスの性能向上が必須であり、デバイスを構成する半導体素子はSiCやGaNなどの半導体材料の進歩に代表されるように目覚ましいものがある一方で、接合や樹脂封止などの各要素技術の停滞がデバイスの最終的な機能や性能に影響を及ぼし始めている。一方で、小型化・軽量化による部品等の高密度搭載や、動作時の電流制御による半導体素子自身の発熱により、パワーデバイス内部は高温になりやすく、高温環境下では性質上、デバイスの性能低下が懸念され、次世代半導体チップと基板の接合部などには、高い耐熱性と優れた放熱性ととも、高い接合信頼性が求められている。そこで近年、高い耐熱性が期待できるAgナノ粒子などを利用した焼結型接合材料が注目を集めている。

3 研究内容

(1) 室温と昇温環境でのエレクトロマイグレーション(EM)試験方法の確立の開発

(<http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt3/outline.html>)

室温と昇温環境での安定したエレクトロマイグレーション試験方法を確立するために、これまでの関連論文や実際に作製した試験サンプル、試験方法の確立状況、試行試験結果

を考慮しながら、電流密度などの試験条件を検討し、表 1 の条件で試験をすることとした。また、試験サンプル形状を図 1 のように、試験サンプルを作製する際の加熱プロファイルについては250℃で20 min加熱するように図 2 のように決定した。また、室温 (20 °C) でのエレクトロマイグレーション試験の装置構成は図 3 のようにチラーで試験サンプルを設置する水冷プレートで冷却し、試験サンプル温度を正確に制御できるようにした。

表 1 エレクトロマイグレーション試験条件

Current density (A/cm^2)	6.7×10^3
Test time (h)	0 ~ 120
Test temperature ($^{\circ}C$)	20, 100

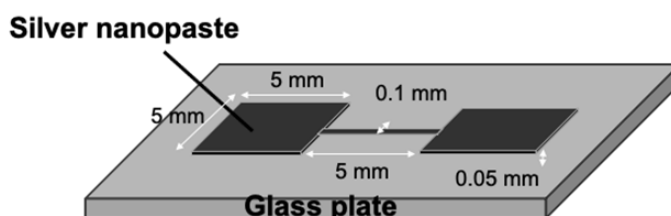


図 1 エレクトロマイグレーション試験サンプル形状

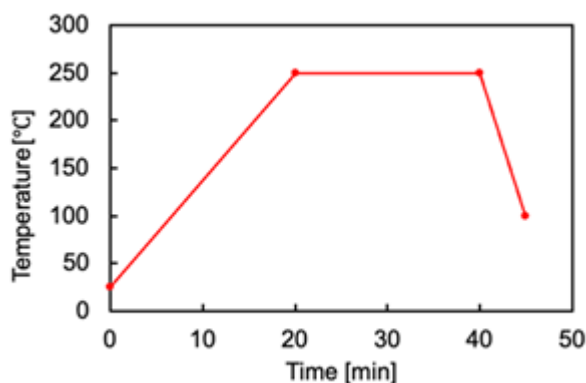


図 2 試験サンプルの加熱プロファイル

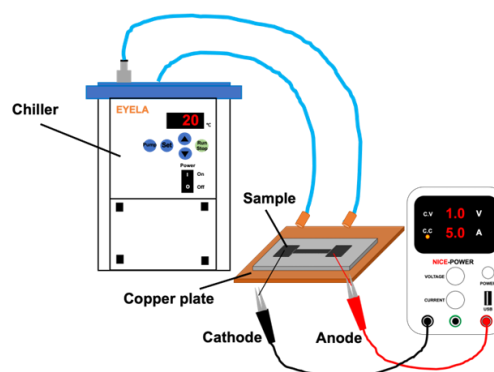


図 3 室温での試験装置構成

(2) Agナノ粒子焼結材料のエレクトロマイグレーション性の調査

(<http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt3/outline.html>)

Agナノ粒子焼結材料を用いたエレクトロマイグレーション試験を実施するために、市販のAgナノ粒子ペーストを用いた試験サンプル作製をなした。最終的には、図4に示すように試験部の厚みなどが一定になった試験サンプルを作製することが可能となった。電子顕微鏡で撮影した試験片表面の組織構造も合わせて示す。Agナノ粒子が密に焼結していることが分かる。安定した作製が可能になった試験サンプルに対して、電流密度を $6.7 \times 10^3 A/cm^2$ と一定に設定し、20 °Cと100 °Cの状態でのエレクトロマイグレーション試験を実施した。72 h経過後には、アノード部に明らかなヒロック

(突起)が観察できるようになり、エレクトロマイグレーション現象が起こっていることがはっきりと確認できた。このヒロックは96 h経過後、120 h経過後にはより大きく成長しており、継続してエレクトロマイグレーションが発生しているものと考えられる。一般に、エレクトロマイグレーションとは、金属中を流れる電子が金属原子に衝突し、金属原子を輸送する現象であり、電子が動いている(電子流)方向、すなわちカソード側からアノード側に金属原子が輸送されることになる。その際、金属原子が輸送されたカソード側にはボイドが発生し、アノード側は金属原子が輸送されてきた結果、金属原子が堆積し、ヒロックやウイスカと呼ばれる突起物が発生することになる。今回の場合でも、120 h経過後にはカソード側には大きなボイド(欠陥)が発生していることが確認できた。しかしながら、0.1 mm幅の試験部が破断するまでには至らなかった。

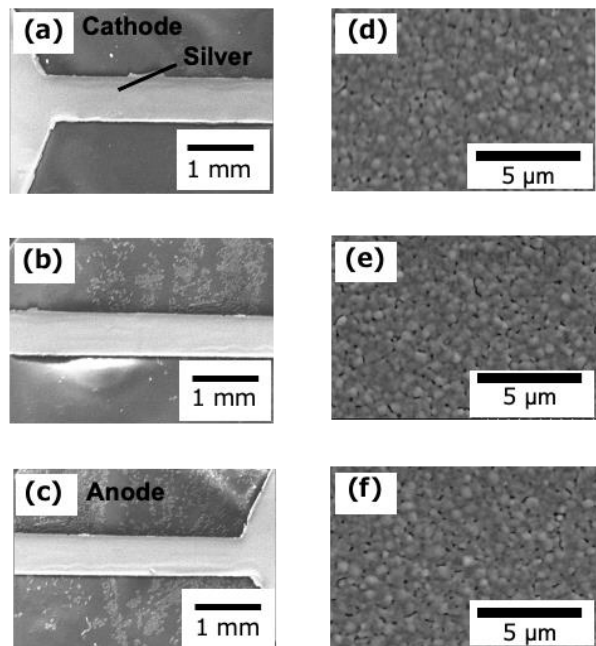


図4 加熱後の Ag ナノ粒子焼結材料試験片

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究を通じて、次世代パワーデバイス向けに期待されているAgナノ粒子接合材料のエレクトロマイグレーション耐性やエレクトロマイグレーションによる焼結型材料劣化挙動を解明でき、Agナノ粒子接合材料の高信頼性化に寄与し、SiCやGaNなどを用いた次世代パワーデバイス実現に弾みをつけることができる。またAgナノ粒子だけでなく、様々な金属粒子を利用した焼結型接合材料のエレクトロマイグレーション性評価及び高信頼性化にも本研究成果を応用することができ、金属ナノ粒子接合材料の実用化促進という形で実社会に活かされる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

エレクトロニクス実装分野におけるマイクロ接合、特に鉛フリーはんだ材料などを中心に、優れた機能と高い信頼性を有する微細接合部を確立するためのはんだ材料の開発や各種エネルギー源を利用した新たな先進微細プロセスの構築、さらには界面構造・機能制御による接合部の高信頼性化に関する研究開発を行ってきた。そこで、特に注目されているパワーエレクトロニクス技術のキーデバイスであるパワーデバイスの性能向上に寄与することを目的として、半導体チップを接合する新たな接合材料としてのAgナノ粒子接合材料に着目し、今回、研究を実施することとした。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

該当なし

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 大阪大学接合科学研究所(オオサカダイガクセツゴウカガクケンキュウシヨ)

住 所： 〒567-0041

大阪府茨木市美穂ヶ丘11-1

担 当 者： 教授・西川 宏(ニシカワ ヒロシ)

担 当 部 署： 接合プロセス研究部門微細接合学分野

(セツゴウプロセスケンキュウブモンビサイセツゴウガクブンヤ)

E - m a i l: dpt3pro3@jwri.osaka-u.ac.jp

U R L: <http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt3/index.html>