日本溶接協会 2024 年度
「次世代を担う研究者助成事業」成果報告

亜鉛被覆アルミニウム接合材の特性評価に関する研究

小林　竜也
群馬大学 大学院理工学府

1　はじめに

パワーモジュールは電力変換・制御に不可欠なデバイスであり，自動車，鉄道，家電，産業機器などに広く使用されている。モジュールにはSiやSiCなどのパワー半導体が実装されており，動作時に発生する熱は接合材，絶縁基板，放熱基板，熱伝導シートを介して冷却器へ放散される。近年の機器の高出力化および小型化により発熱密度が増加し，接合材には高い熱・電気伝導性と信頼性が求められている。従来使用されてきたPb含有はんだは，RoHS指令により使用制限が進み，Pbフリー接合材の開発が急務である。本研究では，安価で熱・電気伝導性に優れるAlに着目し，Zn被覆Al粒子を用いた接合材の作製を試みた。Zn-Al合金は高い耐熱性を有するが，Al濃度の増加に伴って融点が上昇することが問題である。特に半導体素子への熱影響を低減するためには，融点381℃の共晶組成（Zn-6 mass% Al）が望ましいが，Al濃度が低いため熱・電気伝導性向上には限界がある。また，Al表面に形成される強固な酸化膜は接合を阻害する要因となる[1)]。

そこで本研究では，大気中においても接合可能なZn被覆Al粒子を用い，加熱加圧による酸化膜破壊とZn-Al溶融液を介した反応を利用する新たな接合法を提案した。本報では，作製した粒子の組織および溶融特性，接合体の機械的特性について報告する。

2　研究方法

本研究では，D_{50}＝30μmのAl粉末（東洋アルミニウム製TFH-A30P）を用いた。Al粒子表面にZn置換被膜を形成するため，**表1**に示す溶液により，液温1℃以下，浸漬時間1 minの第一ジンケート処理を行い，続いて20℃の50%硝酸溶液に1 min浸漬して溶解処理を実施した。さらに，液温1℃以下で20～30minの第二ジンケート処理を行い，純水で洗浄した。作製した試料はエポキシ樹脂に埋め込み，研磨後にEPMAにより初期組織を観察した。また，示差走査熱量測定（DSC）により，昇温速度10℃/minの条件で試料の溶融特性を評価した。

表1　ジンケート処理液の組成

組　成	濃度［g/L］
ZnO	15
NaOH	200

接合体作製は，10×10×1 mm^3のNi板上に3 mgの試料を配置し，3×3×1 mm^3のNi板を重ねて，大気雰囲気，接合温度400℃，接合圧力10MPa，接合時間5～15minの条件で実施した。作製後，EPMAにより接合界面の組織観察を行った。さらに，試験速度3.0mm/min，高さ100μmの条件でせん断試験を実施した。

3　主な研究成果

3.1　接合材の断面観察

図1に作製したZn被覆Al粒子の断面における反射電子像および元素マッピング分析結果を示す。観察の結

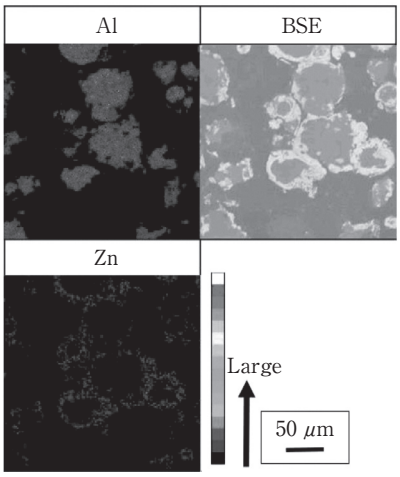

図1　Zn被覆Al粒子断面の反射電子像および元素マッピング分析結果

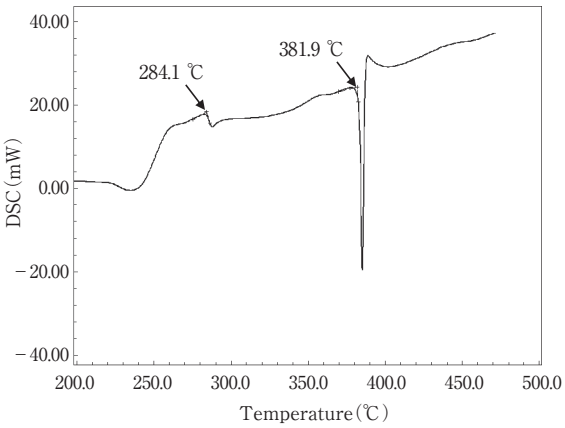

図２　Zn被覆Al粒子のDSC曲線

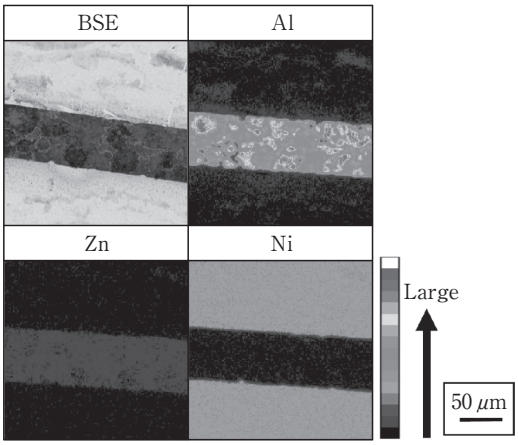

図３　接合体断面の反射電子像および元素マッピング分析

果，Al粒子表面にZn被膜が形成されていることを確認した。さらに，Zn被膜の厚さは第二ジンケート処理時間の増加に伴い厚くなる傾向があった。

3.2　接合材の熱的特性評価

図２に，試料のDSC測定結果を示す。この結果より，284.1℃および381.9℃に吸熱ピークが検出された。Zn-Al系二元状態図[2]に示される共析温度277℃に対応して，284.1℃のピークは固相変態に起因すると考える。また，Zn-Al共晶温度381℃に対応して，381.9℃のピークは共晶反応によるものと推定される。以上より，ジンケート処理により作製されたZn被覆Al粒子は，加熱によりZn-Al間の共晶融解反応を生じることが確認された。

3.3　接合部の断面観察

図３に接合体断面の反射電子像および元素マッピング分析結果を示す。これより，Zn被覆Al粒子同士が密着している様子が確認された。定量分析の結果，粒子中心から表面にかけてZnの割合が増加し，表面ではZn-6

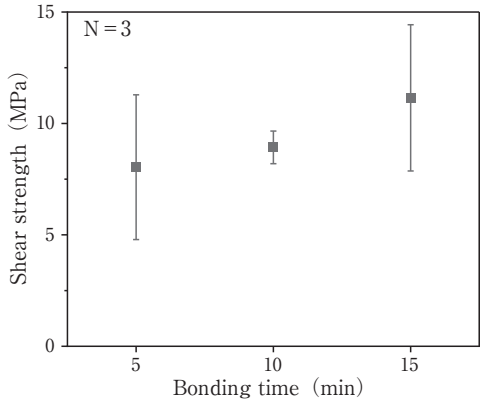

図４　接合体のせん断強度評価結果

mass% Al共晶組成に近い値を示した。このことから，接合時にZnとAlが相互拡散し，共晶温度に達した際に粒子表面で共晶融解反応が生じ，加圧によって粒子同士およびNi板との接合が進行したと考えられる。さらに，接合界面には局所的かつ薄い反応層が形成されており，定量分析の結果，この反応層はAl-Ni系およびZn-Ni系で構成されていることが確認された。また，この反応層は接合時間の増加に伴い厚くなる傾向を示した。

3.4　接合体のせん断試験

図４に接合体のせん断試験結果を示す。接合時間の増加に伴い，せん断強度が上昇する傾向が確認された。また，せん断試験後の破面観察より，いずれの条件においても，破壊はZn被覆Al粒子とNi板の界面で発生していることが確認された。これらの結果から，接合界面に形成される反応層が接合強度に寄与していると考えられる。今後，接合強度のさらなる向上を図るため，安定な反応層の形成条件を明らかにすることが課題である。

4　おわりに

本研究により，Zn被覆Al粒子材の作製方法やその特性，および大気雰囲気下での接合における接合強度が明らかとなった。今後は，接合界面における反応層の成長挙動の解明に加え，他の金属材料への接合に向けた応用展開を進めていく予定である。

本研究の遂行にあたりご指導およびご支援いただいた群馬大学の荘司郁夫先生ならびに学生の後藤梨花さんに深く感謝申し上げるとともに，研究の機会を与えていただいた本助成事業に対し，厚く御礼申し上げます。

参考文献

1）J.Pstruś et al., J Mater Eng Perform, Vol.21（2012）, 606-613
2）光延ら，鉄と鋼，Vol.106, No.5（2020）, 254-261