

一方向熱流定常比較法による貴金属ダイアタッチ層の熱抵抗評価

電子技術部

電子技術部 電子デバイスチーム

篠原俊朗

八坂慎一

伊藤健

カートリッジ方式一方向熱流定常比較法を用いてサブミクロン金粒子スラリーによる実装状態でのダイアタッチ層の熱抵抗測定を行った。その結果ダイアタッチ層内部の熱伝導率はバルク並みの良好な値が得られた。 0.182mm という比較的厚いダイアタッチ層においても内部熱抵抗と接触熱抵抗の比が約 4:6 となり更なる熱抵抗低減のためには接触熱抵抗低減が重要であることがわかった。

キーワード：熱抵抗、熱流定常法、熱伝導率、ダイアタッチ、金属微粒子結合

1 はじめに

1. 1 熱抵抗測定の重要性

これからの低炭素社会実現に向けて、系統電力網に接続される電力変換器や自動車の電動化に重要な役割を果たす電力変換器などの低損失化が重要な課題となっており、様々な取組みがなされている。電力変換器を安定して高性能に駆動するための重要な一要素が、電力変換器を構成しているパワーモジュール内部における、パワーデバイスと基板とを接合する厚さ数十 μm のダイアタッチ層の熱抵抗値を安定的に低減させることである。このダイアタッチ層は従来、熱伝導率が約 $50\text{W/m}\cdot\text{K}$ 程度の高鉛含有はんだが使用されてきたが、近年鉛フリー化の要請および高温駆動化追求のため、金属微粒子結合を代替手段として使う研究が盛んに行われており、この熱伝導率は $200\sim 300\text{W/m}\cdot\text{K}$ にも達すると予想されている。このような高熱伝導率のダイアタッチ層においては、材料そのもののバルク熱抵抗に接触界面の熱抵抗を加えた総合的な熱抵抗値が重要となり、さらにダイアタッチ層の不良や劣化がパワーモジュールの破壊に直結するため、この総合的な熱抵抗値を測定できることが極めて重要である。

1. 2 カートリッジ方式一方向熱流定常比較法

カートリッジ方式一方向熱流定常比較法は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「導電性接着剤実装技術に関する標準化調査事業」において開発された、実装状態を模擬した試験片の熱抵抗測定技術である^{1), 2)}。

この方法は、接着剤を基材で挟み込んだ試験片を用意し、その熱抵抗値を一方向熱流定常比較法により測定することにより接着剤の熱抵抗値と接着界面熱抵抗値の合計値を測定する評価手法であり、接着剤層の厚さを変えた複数の試験片を測定することにより、接着剤の熱伝導率と接着界面熱抵抗の両方を測定可能にした熱抵抗評価手法である。本

報告では、従来ダイアタッチ層としての熱抵抗評価が報告されていない貴金属微粒子結合層について本手法を適用した結果について報告する。

2 実験

2. 1 試験片準備

今回の実験においては、高耐熱パワーモジュールの実装状態でのダイアタッチ部熱抵抗測定を念頭に、サブミクロン金粒子を用いたスラリーによる接合層を測定対象とし、表面に金めっきを施した2枚の銅ブロック（JIS C1100-P、 $398\text{W/m}\cdot\text{K}$ $20\text{mm}\times 20\text{mm}\times 5\text{mm}$ ）をこのスラリーで接合したものを試験片とした。接合層の厚さはスぺーサを使用することにより3水準設定し、接合後の試験片厚さおよび接合前の上下2枚の銅ブロック厚さの実測値から算出した接合層厚さは、 0.182mm 、 0.391mm 、 0.679mm であった。図1に試験片の一例を示す。

2. 2 一方向性熱流定常比較法による熱抵抗測定系

本測定系は図2に示すように、熱流を発生させるための加熱部と冷却部そして、試験片に対して一方向に一定の熱流を与えるための、熱伝導率が既知の上部ロッドおよび下部ロッドから構成されている。上下ロッドには温度測定のため、熱流が生じる垂直方向にそれぞれ5本の熱電対が取り付けられており、試験片の上下銅ブロックには水平方向にそれぞれ3本の熱電対が取り付けられている。

本装置の定常状態における上下ロッドの温度分布と試験片の温度および上下ロッドの熱伝導率を用いて全熱抵抗値を算出する。ここで全熱抵抗値とは試験片における接合層と上下の銅ブロックとの接触熱抵抗および接合層のバルク熱抵抗が直列接続された合成熱抵抗値である。

2. 3 熱抵抗測定結果

図3に接合層の厚さと全熱抵抗値の関係を示す。3つの試験片が同様の接触熱抵抗を持ち接合層内部の熱伝導率が

均一な理想状態ならば、この測定点は直線上にプロットされ、その直線の Y 切片が接触熱抵抗、傾きの逆数が接合層内部の熱伝導率になるはずであるが、実際には図 3 に示すように直線から外れて、熱伝導率は $153\text{W/m}\cdot\text{K}$ となった。厚さ 0.679mm の試験片において何らかの理由により接触熱抵抗が大きくなったと仮定して計算から除外し他の 2 点から計算した熱伝導率は $325\text{W/m}\cdot\text{K}$ となった。厚さ 0.182mm の試験片における内部熱抵抗は $0.56 \times 10^{-6} \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ 、接触熱抵抗は $0.82 \times 10^{-6} \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ となり、両者の比率は約 4:6 であった。

2. 4 考察

本手法により測定されたサブミクロン金粒子スラリーによる接合層の熱導電率はバルク金の熱伝導率とほぼ同等の値であり、本材料・工法による接合層は従来の高鉛含有はんだに比べ非常に小さな熱抵抗を実現できることが分かった。また内部熱抵抗より接触熱抵抗が大きな値となっており、接触面の影響が大きいことも分かった。なお、上記結果からも分かるように現状では熱抵抗値の測定不確かさが大きく改善が必要である。温度や試験片寸法の現実的な測定精度や材料物性値の現実的な不確かさを前提とすると試験片両端の温度差をさらに大きくすることが必要であり、加熱部の温度を上げる、ロッド長を短くする、冷却部の温度を下げるなどの対策が有効と思われる。

3 まとめ

カートリッジ方式一方向熱流定常比較法によりサブミクロン金粒子スラリーによる実装状態での接合層の熱抵抗測定を行った。この材料・工法を用いると従来の高鉛含有はんだに比べ非常に小さな熱抵抗の接合層を実現できる。接合層の熱抵抗には接触熱抵抗が大きく寄与し更なる熱抵抗低減のためには界面の接触熱抵抗低減が重要であることがわかった。

謝辞

本研究におけるカートリッジ方式一方向熱流定常比較法での熱抵抗測定および関連データの提供において、エスベック株式会社の田中氏に多大なるご協力を頂いたことに深く感謝の意を表します。

文献

- 1) 平成 20 年度 NEDO 委託事業成果報告、開発成果標準化フォローアップ等標準化調査研究事業「導電性接着剤実装技術に関する標準化調査事業」活動成果報告書、pp.18-19、平成 21 年 3 月
- 2) 平田拓哉、田中浩和、柳浦聡、渡邊聡、大串哲朗；日本機械学会熱工学コンファレンス 2009 講演論文集、

No.09-33、[2009.11.7-8、宇部]



図 1 熱抵抗評価用試験片

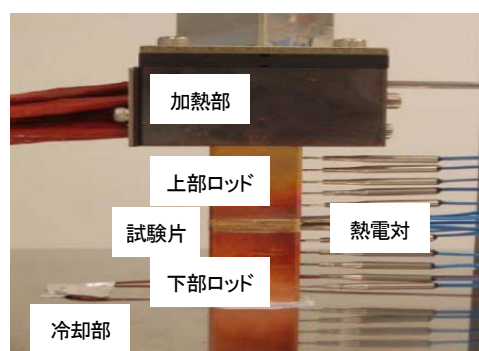


図 2 実装状態熱抵抗測定装置

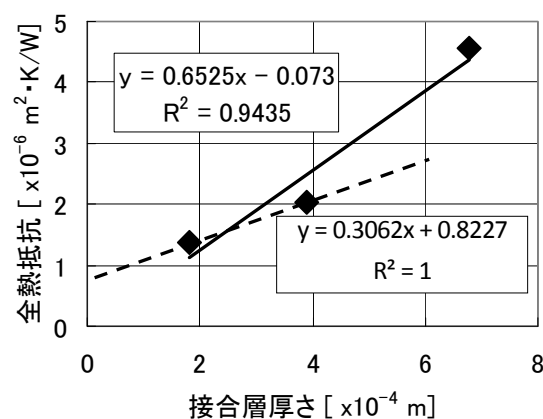


図 3 全熱抵抗の接合層厚さ依存性