

P-13

電気自動車用パワーモジュールの応力発光材料を用いた熱応力の可視化

[1] 組織

代表者：山田 靖
(大同大学工学部電気電子工学科)
対応者：村上 健司
(静岡大学電子工学研究所)

[2] 研究経過

環境問題への対応に向け、電気自動車やハイブリッド車等の自動車の電動化の研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。その中で、直流を交流に変換するインバータに用いられるパワーモジュールの小型化や高温動作化は喫緊の課題であり、国内外で研究が活発になっている。

その際、半導体材料と冷却部の金属材料などの熱膨張係数の差があり、温度変化により熱応力が生じ、接合部や強度の低い部分に変化したり、破壊したりするといった課題がある。今後、ワイドバンドギャップ半導体であるSiCやGaNの高温動作化が期待されているが、動作温度が高くなれば、より大きな熱応力が生じ、その対策は困難になることが予想される。

これまで、熱応力を直接計測する方法は、X線など大型の装置を用いる方法しか知られていなかった。有限要素法などで、熱応力を計算し、クラック等の破壊と比較することが行われていたが、異なる物理量の比較であるため、十分な検討は難しい状況にあった。

そこで本プロジェクトでは、応力発光材料の薄膜を用いて、上記パワーモジュールにおけるパワー半導体素子実装部の熱応力の可視化を目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。これまでは、構造体にかかる応力の変化に対して発光する材料があることが知られていた。そこで、本プロジェクトでは、熱膨張係数の異なる金属板を接合により積層した擬似的な半導体実装部を作製し、その上に応力発光材料を成膜する研究を展開した。

その中で、代表者は試料の設計・作製、および有限要素法による解析を行ない、一方、対応者は、試料上にスプレー熱分解法による成膜を実施した。熱応力による可視化を観察する実験は、共同で実施し

た。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、有限要素法を用いて、パワー半導体実装部を模擬した構造の熱応力解析を行い、温度変化時の熱応力の変化率を推定した。対象モデルは、半導体を想定した1cm角のSi基板(3ppm/K)が、Al板(23ppm/K)に接合された3次元モデルを準備した。計算には汎用有限要素法ソフトであるANSYSを用いて構造解析を行った。材料モデルは、線形解析として、熱膨張係数、ヤング率、およびポアソン比を設定した。

そのモデルに対して、200°Cから25°Cの温度変化を与えた際の各部の応力の大きさを求めた。その結果、図1に示すように、反る様子が見られ、各部の応力を算出できた。温度変化率が1K/sの場合は5MPa/s程度の応力変化率、同様に10K/sの場合は、50MPa程度となることがわかった。

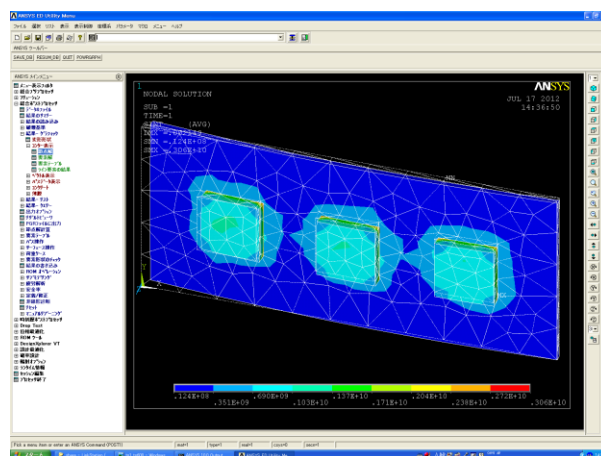


図1. 熱応力解析結果

第2に、実験を行うために、Siの代わりにMoをAl板に接合した試料を作製した。ここで、Siを用いると、大きな熱応力がかかった場合に割れる恐れがあるため、ほぼ同じ熱膨張係数である代替材料としてMoを選んだ。

熱膨張係数は、Moが3ppm/K、Alが23ppm/K

であり、両者の差は 20ppm/K 程度である。なお、
 接合方法は、Sn 系はんだ(融点 220°C前後)と Al ロ
 ウ材(融点 600°C前後)の 2 種類にて行った。

続けて、ZnS:Mn から成る応力発光材料の薄膜化
 を試みた。上記の粉末を有機溶媒に混合し、スプレ
 ー熱分解法にて成膜した。成膜時の加熱温度は
 200°Cで、成膜後には、別途 500°Cの熱処理を行っ
 た。このようにして作製した薄膜は、ピンセット等
 で引っ掻いても剥がれる様子はなく、十分な強度で
 密着していることが確認された。図 2 に試料の外観
 を示す。

そのようにして作製した試料を、AlN から成る板
 状のセラミックヒータの上に、伝熱グリスを介して
 取り付け、そのセラミックヒータに電圧を印加し、
 温度変化を調べた。試料の断面を図 3 に示す。温度
 の測定は、セラミックヒータの内部に埋め込まれて
 いる熱電対と、試料表面に接触させた熱電対の 2 つ
 の方法を用いて、両者を比較した。

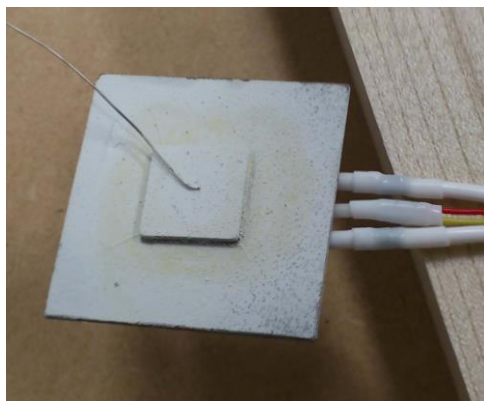


図 2. 試料の外観

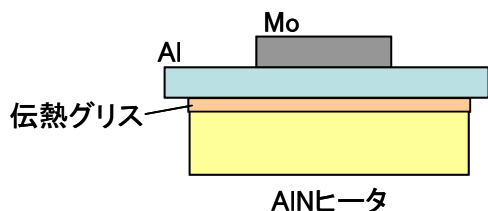


図 3. 試料の構造(断面図)

その結果、図 4 に示すように室温から 200°Cまで
 十数秒で昇温することがわかった。また、セラミック
 ヒータ内部の埋め込まれた熱電対と、試料表面中
 央部の熱電対で測定した値には大きな差はなく、ヒ
 ータの熱が効率良く伝わっていることが確認できた。

しかし、温度を変化させても暗室での肉眼による
 観察では、発光現象は見られなかった。材料単体で
 は発光するため、下記の課題が考えられる。

- 成膜時に応力発光材料の物性が変化し、発光強度
 が低下した。
 - 発光強度の温度依存性が大きく、高温域で低下し
 ている。
 - このような系では応力変化率が小さい。
- 今後、順次検討を進めていく予定である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が活性化
 した。当初は、代表者と対応者の 2 者で進め、応力
 発光材料は蛍光材料や蓄光材料などの市販品を用い
 る予定であったが、兵庫県立工業技術センターの石
 原部長様にもご参画頂き、同センターで開発された
 ZnS 系発光材料を用いることができた。今後は、さ
 らに連携を緊密にして進めていく予定である。また、
 本プロジェクトで可能性が得られた後は、企業等にも
 紹介し、展開したいと考えている。

[4] 成果資料

現時点では論文等の公開成果には至っていない。

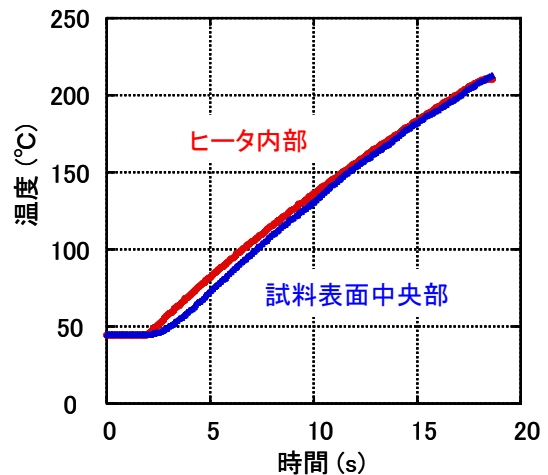


図 4. 試料の昇温の様子

「様式3」

出張報告（特別教育研究経費を使用）

氏名：山田 靖

所属：大同大学工学部電気電子工学科

期間：7月4日、9月24日、12月25日、2月18日

用務先：静岡大学電子工学研究所

用務内容：研究打合せ、共同実験

主たる対応者：村上 健司