

Title	パワーモジュール実装部の高品質および高信頼化に関する研究
Author(s)	藤野, 純司
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59952
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

【148】

氏名	藤野純司
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 26214 号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学位論文名	パワーモジュール実装部の高品質および高信頼化に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 藤本 公三 (副査) 教授 廣瀬 明夫 教授 上西 啓介 准教授 福本 信次

論文内容の要旨

地球温暖化対策や省エネルギーを目的に、効率的に電気エネルギーを生成・輸送・再生するインバータなどの電源制御モジュールが幅広く普及しつつある。また、高速大容量通信を実現する高周波パワーアンプなどの信号増幅モジュールも効率化が求められている。これらパワーモジュールは、高電圧・大電流・高周波制御にともなう高い発熱密度を有しており、放熱設計が重要課題となっている。また、近年、高周波特性に優れたInPやGaNの実用化が進められているが、これらの素子は残留熱応力による特性への影響が大きく、低いプロセス温度の接合技術が求められてきた。

本研究は、パワーモジュールの高品質・高信頼化を目的として、放熱性向上のためのボイドレス実装および実装時の低残留応力化を目指した低温実装技術の確立に主眼をおいて研究を行ったものである。

放熱設計において、重要なことは放熱経路の確保であり、その阻害要因の最も大きなものは、ダイボンディング部界面のボイド形成である。パワーモジュールのダイボンディング部における実装プロセスのその場観察、および、界面反応現象を考察・検討した結果、ダイボンディング部でのボイド形成の主因子として、フラックス等に含まれる溶剤成分および水分の気化によるものと、実装時の界面反応による接合部の低融点化現象であることを明確にした。溶剤成分および水分の気化にともなうボイドに関しては、実装部のボイド排出経路の確保に着目し、高融点はんだパンクの形成、大面積ダイボンディング部の分割構造を提案し、接合部に生じるボイドを $\phi 0.2$ mm以下にし、その発生箇所も外周部に限定できる実装構造を確立した。また、Au-Snはんだ接合部へのNi拡散にともなう低融点化現象を確認し、材料間の拡散現象に基づく材料設計を行い、Ti層の拡散による等温凝固を活用した接合プロセスによって、吸湿リフロー時のはく離に起因するボイドが抑制できることを示した。

接合プロセスの低温化としては、超音波ダイボンディングプロセスおよび導電性接着剤による実装の検討を行った。半導体素子とセラミックスサブマウントとの超音波接合の研究において、蒸着によって形成したAu-Snはんだ層をインサート材として供給することで、 1 mm^2 程度の面積全面接合が可能であることを明確にした。この際、接合部の温度が融点を超えると液相が生成する。超音波振動による摩擦熱が減少し、接合部の温度が降下する。温度が融点以下になると液相が消失するため再び摩擦による温度上昇が始まる。その結果、融点近傍で一定温度となる自己制御性が発動することを明らかにし、周辺部材への熱影響を抑制しながら、十分な耐熱性を有する接合部の形成が可能となった。さらに、Cu端子とパワー半導体素子のAl電極の接合への導電性接着剤の適用検討を行い、Alの自然酸化膜の電気抵抗への影響を明らかにし、Al電極に塗布したAgペースト中にプローブを差し込んでスクラッチする手法を提案し、再酸化を抑制しながらAl新生面を創成してAgフィラーとの接触部の電気抵抗を低減することが可能となった。

論文審査の結果の要旨

地球温暖化対策や省エネルギーを目的に、効率的に電気エネルギーを生成・輸送・再生するインバータなどの電源制御モジュールが幅広く普及しつつある。また、高速大容量通信を実現する高周波パワーアンプなどの信号増幅モジュールも効率化が求められている。これらパワーモジュールは、高電圧・大電流・高周波制御にともなう高い発熱密度を有しており、放熱設計が重要課題となっている。また近年、高周波特性に優れたInPやGaNの実用化が進められているが、これらの素子は残留熱応力による特性への影響が大きく、低いプロセス温度の接合技術が求められてきた。

本研究は、パワーモジュールの高品質・高信頼化を目的として、放熱性向上のためのボイドレス実装および実装時の低残留応力化を目指した低温実装技術の確立に主眼をおいて研究を行ったものである。

放熱設計において、重要なことは放熱経路の確保であり、その阻害要因の最も大きなものは、ダイボンディング部界面のボイド形成である。パワーモジュールのダイボンディング部における実装プロセスのその場観察、および、界面反応現象を考察・検討した結果、ダイボンディング部でのボイド形成の主因子として、フラックス等に含まれる溶剤成分および水分の気化によるものと、実装時の界面反応による接合部の低融点化現象であることを明確にした。溶剤成分および水分の気化にともなうボイドに関しては、実装部のボイド排出経路の確保に着目し、高融点はんだパン

ブの形成、大面積ダイボンディング部の分割構造を提案し、接合部に生じるポイドを $\phi 0.2$ mm 以下にし、その発生箇所も外周部に限定できる実装構造を確立した。また、Au-Sn はんだ接合部への Ni 拡散にともなう低融点化現象を確認し、材料間の拡散現象に基づく材料設計を行い、Ti 層の拡散による等温凝固を活用した接合プロセスによって、吸湿リフロー時のはく離に起因するポイドが抑制できることを示した。

接合プロセスの低温化としては、超音波ダイボンディングプロセスおよび導電性接着剤による実装の検討を行った。半導体素子とセラミックサブマウントとの超音波接合の研究において、蒸着によって形成した Au-Sn はんだ層をインサート材として供給することで、1 mm² 程度の面積全面接合が可能であることを明確にした。この際、接合部の温度が融点を超えると液相が生成する。超音波振動による摩擦熱が減少し、接合部の温度が低下する。温度が融点以下になると液相が消失するため再び摩擦による温度上昇が始まる。その結果、融点近傍で一定温度となる自己制御性が発動することを明らかにし、周辺部材への熱影響を抑制しながら、十分な耐熱性を有する接合部の形成が可能となった。さらに、Cu 端子とパワー半導体素子の Al 電極の接合への導電性接着剤の適用検討を行い、Al の自然酸化膜の電気抵抗への影響を明らかにし、Al 電極に塗布した Ag ペースト中にプローブを差し込んでスクラッチする手法を提案し、再酸化を抑制しながら Al 新生面を創成して Ag フィラーとの接触部の電気抵抗を低減することが可能となった。

以上のように、本論文はパワーモジュールのダイボンディング部において生じる種々の現象を主に材料およびプロセスの視点から明らかにしており、その信頼性向上に成功している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。