

戦略的創造研究推進事業(ALCA)
技術領域(プロジェクト名)「革新的省・創エネルギー
システム・デバイス」
課題名「高周波化を実現する GaN パワーモジュール
実装技術開発」

終了報告書

研究開発期間 平成28年10月～平成31年3月

研究開発代表者:菅沼 克昭(国立大
学校法人大阪大学・産業科学研究所・
教授)

○報告書要約（和文）

研究開発代表研究者：大阪大学 教授 菅沼 克昭

研究開発課題名：高周波化を実現する GaN パワーモジュール実装技術開発

1.研究開発の目的

本研究が地球規模の低炭素化にどのように寄与するかを中心に、電力変換ロスを大幅に低減するため、GaN パワー半導体高周波化により機器小型化を実現するための耐熱実装技術を開発する。GaN パワー半導体のために銀焼結接合技術の基礎原理に基づき材料とプロセスを最適化し、早期の幅広い実用を目指す。特に、高温動作に伴う厳しい熱応力緩和技術開発と熱特性の正確な評価技術を確立し、信頼性の高い長寿命動作を実現する実装技術基盤を築く。さらに、高度なナノレベルの観察・非破壊検査技術・シミュレーションの学術基盤の支えの基に、試作するモジュールの高い信頼性を証明する。これらの開発を元に、統合パワーモジュールメーカーの協力を得て実用化の可能性見極めをする。

2.研究開発の概要

(1)内容:

パワー半導体は、電力変換ロスを大幅に低減し、高周波化により機器小型化を実現すると期待されている。このために生じるエネルギー密度上昇により 200℃を超える動作が期待されるが、この厳しい環境における動作を保証する耐熱実装技術が欠如している。本研究では、耐熱や信頼性などのパフォーマンスに優れるとともにコストメリットに優れた材料技術、プロセス技術、信頼性確保技術の確立を目指すために、①耐熱ダイアタッチ技術、②絶縁耐熱基板、③耐熱配線技術、④信頼性評価技術の開発を実施した。200℃を超える温度範囲で安全安心に GaN デバイスが動作する信頼性評価技術に取り込んだ。また、開発技術の価値を見極める統合パワーモジュールメーカーとの連携を確立し、技術優位性を証明・判断する HEMT 型 GaN のモデル実装と評価を行った。

(2)成果:

当研究室発の銀粒子焼結接合技術の低温化、金、銀、ニッケル、アルミまたは銅電極への対応を果たし、電極に選ばない高強度高信頼性および高耐熱性のダイアタッチ技術を達成した。低温銀粒子焼結メカニズムを解明し、ミクロンサイズの銀粒子から自己発生する銀ナノ粒子が主たる駆動力になり、新たな溶媒としてエーテル系溶媒の分解反応が銀、金、アルミ電極などの表面反応促進の役を担うことを解明した。また、銀粒子焼結耐熱配線の評価では、高温保持、温度サイクル試験で目標値を達成し、さらに、銀表面活性化が配線にも有効なことを示し、新たな平面型配線技術を提案した。さらに、耐熱信頼性評価技術の評価し、250℃までの高温放置、熱衝撃試験の有効性を示し、銀焼結接合技術の優位性を示した。パワーモジュールの寿命診断を行うデータ取得技術に対し、接合部分の微小なクラックが発生するときの微小振動を AE (Acoustic-Emission) の圧電センサで読み取ることができ、その振動をカウントして積算してゆくことで最終的に故障に至る時期を予測できる可能性があることを突き止めた。

(3)今後の展開:

GaN デバイスのシステム化において新規開発が必要な、3次元印刷配線、モールド技術、コンデンサやリアクトルなど受動部品の耐熱化・高周波化対応などを協力企業との連携により確立し、GaN パワー半導体の高いパフォーマンス達成を実現する。加えて、高温動作中の熱疲労に起因する GaN パワーモジュールの寿命を評価・予測できる技術を開発し、故障が発生する前に検知し対処できるようになり、モジュール製造者が新たなサービスを提供するエコシステムを開発する。GaN パワーデバイスの放熱性を大幅に向上して、動作不良や故障の発生が起らない信頼性を確保する自己修復技術を開発する。

○Report summary (English)

Principal investigator: Osaka University, Professor. Katsuaki Suganuma

R & D title: Development of a high frequency GaN power module package technology

1. Purpose of R & D

In order to significantly reduce power conversion loss and to contribute to global carbon reduction, this project focusing on developing a heat-resistant packaging technology to realize device miniaturization by using a high frequency GaN power semiconductors. Optimize materials and processes in GaN power modules were implemented based on a silver (Ag) sintering paste die attach bonding technology, aiming for widespread practical application GaN power semiconductors at an early stage. In particular, a highly reliable and long life-time GaN power devices were built based on a severe development of thermal stress relaxation and accurate thermal characteristics evaluation technologies in the GaN power modules. Furthermore, based on the advanced nano-meter observation, non-destructive inspection technology, and simulation technology, the bonding mechanism and fracture behaviors during a reliability test were clarified. Based on these developments, the possibility of commercialization with the cooperation of power module manufacturers were constructed.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

GaN Power semiconductors are expected to significantly reduce power conversion loss and achieve device miniaturization due to its highly operation frequency, which can withstand at high temperature operation over 200 °C. However, heat resistant packaging technology that guarantees operation in this severe environment is lacking. In this project, in order to establish a low cost material, process, and reliable packaging technology which possessed some excellent functions such as heat resistance and reliability in high temperature over 200 °C, the following items were developed and implemented: 1) heat resistant die attach technology, 2) insulating and heat resistant substrate, 3) heat resistant wiring technology, 4) reliability evaluation technology. In addition, with the development of a high-electron-mobility transistor (HEMT) type GaN devices, a power cycling performance including the thermal performance and mechanical reliability of the power module structure with Ag sinter joining, was systematically evaluated and compared with that of Pb solder and Pb-free solder.

(2) Achievements:

A die attach technology with high strength, high reliability and high heat resistance and can service for gold, silver, nickel, aluminum and copper electrodes was developed by a Ag sintering paste and achieved at a low temperature sintering. Clarifying the sintering mechanism at the low-temperature, the new Ag nanoparticles self-generated from micron-sized Ag particles during the sintering become the main driving force, and the decomposition reaction of ether solvents plays a role to promote the surface reaction with Ag, Au, Al and other electrodes. In addition, the target values were achieved for Ag sintering paste wiring in high temperature holding and temperature cycle tests, the obtained results also revealed that Ag surface activation was effective for reliability, and also proposed a new planar wiring technology. Furthermore, it was confirmed that the superiority of the Ag sintering paste bonding technology during a high temperature storage up to 250 °C, thermal shock test and power cycling test. With respect to the data acquisition technology for diagnosing the life of power modules, the minute vibration when a minute crack occurs at the joint can be read by the piezoelectric sensor of AE (Acoustic-Emission), and the vibration is counted and integrated. It was discovered that it may be possible to predict when the failure will eventually occur.

(3) Future developments:

In the further, in cooperation with companies, 3D printed wiring, molding technology, heat resistance and high frequency response of passive components such as capacitors and reactors, which require new development in systemization of GaN devices will be constructed and developed.

In addition, a technology to evaluate and predict the lifetime of GaN power modules will be developed, which can detect and deal with failures due to thermal fatigue during high temperature operation before they occur. Furthermore, to develop a kind of self-healing technology that significantly improves the heat dissipation of GaN power devices and ensures reliability without malfunction or failure during high temperature operations.