

Title	Studies on Thermal Characterization and Analysis of Packaged SiC Power Devices for High Temperature Applications
Author(s)	金, 泰華
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/59582
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (金 泰 華)	
論文題名	Studies on Thermal Characterization and Analysis of Packaged SiC Power Devices for High Temperature Applications (高温動作アプリケーションに向けたSiCパワーデバイス及びパッケージの熱特性化・分析に関する研究)
論文内容の要旨	
<p>Recently, silicon carbide (SiC) semiconductors, one of the wide band gap semiconductors, have received a great attention as a promising device to replace Si power devices in power conversion systems due to their superior material properties. The SiC devices offer high temperature operation capability of 200°C that is higher than the limitation temperature of the general Si devices, and it is expected to increase power density and to reduce a size of power conversion systems. In high temperature operation of the SiC devices, the thermal management is important, because the thermal margin of the packaged devices is shrunk. In addition, the thermal properties of the package materials such as thermal conductivity and specific heat are affected by temperature, and this effect results in variation of the thermal performance of the packaged semiconductor. In order to operate the SiC devices, stably, at high temperature environment, the accurate thermal analysis of the packaged device is necessary. In this dissertation, the thermal measurement and analysis of the packaged SiC devices is introduced for high temperature applications. This dissertation is organized as follows:</p> <p>In chapter 1, background and related trend of research are reviewed. In addition, objectives and outline on this research are introduced.</p> <p>In chapter 2, the fundamental theories for the thermal analysis of packaged SiC devices are presented. The heat transfer mechanism, the finite difference method (FDM), the compact thermal model, and the thermal measurement and characterization methods are described.</p> <p>In chapter 3, thermal characteristics of a packaged SiC device for high temperature operation is investigated. The numerical thermal simulation of the packaged SiC SBD using finite difference method (FDM) is carried out considering the nonlinear thermal properties of the package materials. The transient thermal resistances of the packaged SiC SBD are experimentally measured, and compared with the simulated results. It is observed that the time constant of the transient thermal resistance and the steady state thermal resistance of the packaged SiC SBD are prolonged and increased for the temperature rise, respectively.</p> <p>In chapter 4, the temperature dependence of partial thermal resistances of a packaged SiC SBD is analyzed at elevated temperature environment. The partial thermal resistances of the packaged SiC SBD are extracted from the transient thermal resistances using the cumulative and differential thermal structure functions. The extracted partial thermal resistances are compared to the results from the numerical simulation model, and the comparison results show good agreement. The temperature dependence of the partial thermal resistances of the SiC device and the Si₃N₄ substrate contribute to the overall thermal resistance variation of the packaged SiC SBD.</p> <p>In chapter 5, new approach for the thermal measurement of a packaged SiC MOSFET is introduced. In</p>	

the thermal measurement, a relationship of gate-source voltage and temperature of the SiC MOSFET measured using constant current pulses is employed to measure junction temperature. The transient thermal resistance of the packaged SiC MOSFET is measured with the constant power injection in heating condition. A modified thermal resistance analysis by an induced transient (TRAIT) method is suggested for the thermal characterization of the packaged SiC MOSFET. The modified TRAIT method characterizes the measured transient thermal resistance with the discrete time constant spectrum and the thermal structure functions. The results from the modified TRAIT method showed good consistency with that of the network identification by deconvolution (NID) method. The thermal compact model of the packaged SiC MOSFET based on a Cauer equivalent thermal network is extracted and validated using the experimentally measured results in transient temperature response of the device. The partial thermal resistances of the packaged SiC MOSFET are compared and analyzed with results from the conventional NID and the numerical FDM simulation.

Chapter 6 concludes this dissertation with the achieved results, and future tasks are discussed.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (金 泰 華)			
論文審査担当者		(職)	氏 名
	主 査	教授	舟木 剛
	副 査	教授	伊瀬敏史
	副 査	教授	高井重昌
	副 査	教授	白神宏之
	副 査	准教授	杉原英治

論文審査の結果の要旨

本論文は、「高温動作アプリケーションに向けたSiCパワーデバイス及びパッケージの熱特性化・分析」に関する研究成果をまとめたもので、以下の6章で構成されている。

第1章では、本研究の背景、関連研究の現況と本研究の目的、構成について紹介した。

第2章では、半導体及びパッケージの熱伝達に関する基礎理論を説明しつつ、本研究でSiCパワーデバイス及びパッケージの熱測定・分析のため必要とされるトゥレンジアント熱抵抗とコンパクトモデルの概念、測定及び特性化の方法、数値熱解析のためのFDMについて述べた。

第3章では、SiC SBDの高温動作のためのSiC SBD及びパッケージの熱特性の温度について影響を検討した。温度依存熱属性を考慮したSiC SBD及びパッケージのFDM熱モデルが作られ、シミュレーションが実行された。常温から高温までの可変温度条件で測定されたトゥレンジアント熱抵抗との比較を通じてFDM熱モデルを検証した。研究の結果は、温度の増加はSiC SBD及びパッケージの熱抵抗と熱時定数に影響を与え、SiC SBDを利用した高温用電力変換システムの安定的運用のためには、温度の影響を考慮したシステム設計が必要とされる。

第4章では、SiC SBD及びパッケージの部分熱抵抗の温度依存性について検討した。SiC SBD及びパッケージの部分熱抵抗をトゥレンジアント熱抵抗からNID手法を用いて抽出した。抽出された部分熱抵抗はFDM熱モデルの熱抵抗と比較されており、結果は良い一致性を現れている。SiC SBDの部分熱抵抗が温度によって最も大きな影響を受け、SiC SBDとSi₃N₄基板の部分熱抵抗の温度による変化はSiC SBDのパッケージ全体の熱抵抗の変化の大部分を占めることが確認できた。

第5章では、SiC MOSFET及びパッケージの新しい熱特性の測定や特性化方法を提案している。ここで提案する熱測定方法は、定電流パルスを利用して測定されたゲート-エミッター電圧の温度依存性をTSEPで使用し、デバイスのジャンクション温度を測定する。このTSEPを利用して定電力の消費状態でデバイスの加熱と同時にトゥレンジアント熱抵抗を測定する。測定したトゥレンジアント熱抵抗の特性化のためにTRAIT方法の修正された方法を提案している。修正されたTRAIT方法は離散熱時定数を利用してトゥレンジアント熱抵抗をフィッティングし、熱構造関数を利用しての特性化・分析している。提案する方法を利用して抽出した結果は、従来のNID方法、そしてFDM熱シミュレーションの結果と比較した結果、良い一致性が確認でき、これを通じて提案する方法の有用性が検証できた。

第6章では、本研究で得られた結果をまとめつつ、今後の課題について述べた。

以上のように、本論文は高温動作アプリケーションに向けたSiCパワーデバイス及びパッケージの熱特性化・分析に関して重要な知見を得ており、次世代SiCパワーデバイスを適用した高温用電力変換システムにおいて熱測定・熱特性化論の構築に貢献・寄与するものである。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。