OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	High temperature reliability of die-attach structure and thermal property characterization for SiC/GaN power device
Author(s)	金, 東辰
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76534
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　金東辰　）	
論文題名	High temperature reliability of die-attach structure and thermal property characterization for SiC/GaN power device (Die-attach構造の高温信頼性とSiC/GaNパワーデバイスの熱特性評価)

論文内容の要旨

Wide band-gap (WBG) semiconductors such as a silicon carbide (SiC) and a gallium nitride (GaN), provide an important opportunity to implement next-generation power conversion systems that possess a significantly improved energy efficiency. Nevertheless, this superior characteristic indicate that the operating temperature of WBG devices in excess of 250℃ suggests that materials and designs established for existing silicon (Si)-based power devices are difficult to apply for WBG power devices. Thus, main issues of the WBG power electronics are development of die-attach material/structure to withstand harsh temperature conditions and establishment of a thermal characterization standardization method for thermal management. This dissertation describes materials design and its thermal characterization standardization for stable implementation of WBG power conversion systems.

At first, to implement a die-attach material and a heat dissipation/insulation substrate that can withstand high temperatures above 250℃, a GaN/DBA die attached structure were introduced, sound bonded by micron/submicron Ag sinter pastes. As a results of the thermal aging test, the specimens are subjected to high temperature aging tests at 250℃, and harsh thermal shock tests, temperature range of -50℃ to 250℃. Initial shear strength of a pressure-less hybrid Ag sinter joint exceeded 30 MPa, and increased stably up to aging of 1000 hours without any defects such as interface oxidation, diffusion, or mechanical deformation. The increase in shear strength of the Ag sinter joints was the result of necking growth of the sintered Ag during thermal aging. As a results of the thermal shock test, the initial shear strength of the GaN/DBA joint structure, above 33 MPa, was retained up to 250 cycles and then gradually decreased up to 1000 cycles. Microstructure showed a crack growing inside the Ag/Al bonding interface during thermal cycles due to the large plastic deformation of the Al layer of DBA substrate. The shear strength of the Ag sinter joint is significantly higher than that of the existing Pb-5Sn joints, but the plastic deformation of the Al/Ag sinter joint interfaces must be prevented to improve the thermal shock reliability.

High-strength and superior thermal shock-resistant GaN/DBA die attach structures with Ag sinter joining by thick Ni metallization (7 μm) were developed. Consequently, the shear strength of the Ag sinter joining structure was sustained above the initial strength after 500 cycles, which showed durable sinter necks and non-deformed interfaces due to the thick Ni metallization. Thus, Ag sinter joining with metallization design can be expected as an environment-friendly replacement die material for the long-term reliability of WBG semiconductor module packaging.

Finally, for a thermal characteristic standardization of SiC power devices, a SiC thermal engineering group (TEG) chip was developed, direct thermal characterization method of junction temperature in an actual chip packaged using active 4H-SiC TEG chip applied power cycling systems. This demonstration offers the possibility of precise measurement of junction temperature and thermal resistance at high power density, which is no longer limited by the actual SiC direct bonded power module structure. We envision that this technology to find wide application in all fields that can benefit from controlled and site-specific power conversion industries, For example, the 5 generation (5G) telecommunication and eco-friendly vehicles, such as WBG semiconductors that require practical applications. The unprecedented active SiC applied direct thermal characterization developed in our model semiconductor system will lead to new avenues for power electronics design with the capability to perform at increased junction temperature.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　金 東 辰　）		
	（職）	氏　名	
論文審査担当者	主 査　教授	菅沼　克昭	（産業科学研究所）
	副 査　教授	西川　宏	（接合科学研究所）
	副 査　教授	平田　勝弘	
	副 査　教授	中谷　彰宏	
	副 査　准教授	長尾　至成	（産業科学研究所）
	副 査　准教授	菅原　徹	（産業科学研究所）

論文審査の結果の要旨

SiC, GaN 等のワイドバンドギャップ（WBG）パワー半導体を用いたパワーデバイスの実用化は、 インバータとコンバータを使用する電力電子部品の放熱システムの高機能化・小型化により実現する。しかし、既存の Si に合わせた接合材料、絶縁基板は、WBG 素子が実現する著しく増加した電力密度と高温に耐えられず、特に、ジャンクション温度で250℃以上の高温に到達するため、ダイアタッチ接合材料、絶縁基板を統合した耐熱性の構造設計と高温信頼性の向上が不可欠である。そこで、本論文では 250℃以上で動作が期待される次世代パワーエレクトロニクスに向けた耐熱実装技術の確立を目指し、Ag 焼結によって接合された GaN ダイと Al 張り AlN 基板（DBA 基板）を主とする最適化に関する研究を行った。主な結果は以下のようになる。

1) 無加圧 Ag 焼結接合により形成した GaN ダイアタッチ DBA 構造は、250℃で 1000 時間高温放置しても強度変化はなく優れた高温安定性を示したが、-50℃から 250℃の冷熱衝撃試験では、Al 板の熱応力による著しい変形による界面劣化でせん断強度が減少した。

2) 温度衝撃下における DBA の Al 板の変形を防止するために、Al 板表面に 7μm 厚さの Ni 膜形成を提案し、界面劣化を抑制する耐熱ダイアタッチ技術を提案した。同じ厚さの Ni-P 無電解めっきの場合には、Ni-P 膜の脆さのために Al 板変形により割れが生じるが、Ni 無電解めっきの場合には、Al 板の変形を有効に抑えることを示した。

3) SiC ダイ表面にヒータ回路を形成することで、アクティブ SiC を模擬した実装構造の評価が可能なことを示した。この模擬 SiC ダイを用いることで、簡便に実装構造の熱特性が評価でき、Al_2O_3、Si_3N_4、AlN をセラミックス絶縁層とする DBC 実装構造を評価したところ、Cu/AlN 基板の優れた熱特性を実証した。また、この実装構造でスイッチング評価よるパワーサイクル試験が行えることを示した。

以上のように本論文では、従来の接合材料では適用不可能な 250℃の作動環境における動作を保証する耐熱実装技術を研究開発し、メカニズム解明、また、新たなヒータチップを用いた実装構造の耐熱評価技術を提案しており、本研究は、科学的な価値を有すると共に、産業的な観点においても非常に有意義な研究成果である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。