

Title	Development of heat-resistant interconnections for wide bandgap semiconductor power modules
Author(s)	盧, 承俊
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72380
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 (盧 承 俊)	
論文題名	Development of heat-resistant interconnections for wide bandgap semiconductor power modules (次世代パワーエレクトロニクスに向けた耐熱接続・配線技術の開発)
論文内容の要旨	
<p>The development of wide-bandgap (WBG) semiconductors, such as SiC and GaN, provides a significant opportunity to explore next-generation power electronic systems that possess increased power density, operating frequency, and break-down voltage. One of the main challenges in WBG semiconductor technology is the high associated operating temperature, which can be in excess of 250 °C. Because the contemporary, established interconnection materials that are used for Si semiconductors cannot be operated continuously at temperatures above 150 °C, the development of novel interconnection materials, including suitable metallization, is an urgent requirement for WBG semiconductors applied in severe thermal environments. This thesis describes heat-resistant interconnection materials for use in wire interconnection and in die-attach.</p> <p>At first, a heat-resistant wire interconnection was introduced, realized by printing Ag sinter paste. Both the high-temperature reliability and high-current reliability of the Ag paste as the wire interconnection were evaluated using an aging test at 250 °C for 1000 h and an electromigration test at 2.2×10^4 A/cm² for 2000 h. In the aging test, a resistivity of approximately 4.1×10^{-6} Ω cm was achieved, which further decreased to 3.4×10^{-6} Ω cm after aging for 1000 h. This reduction could be attributed to further sintering of the sintered Ag network. The initial shear strength was 17 MPa. While high enough, this value was maintained even after an aging test of 1000 h. In the EM test, the resistance of the Ag paste wire interconnection did not change significantly up to the 1000 h mark and then increased only slightly at 2000 h. This slight change in resistance demonstrates higher stability than that of conventional wire interconnection materials, such as Al and Cu, under high temperature and high current density conditions.</p> <p>Heat-resistant die-attach involving the use of cold-rolled Ag sheets was then developed. The reduction ratios of 0%, 66%, 80%, and 90% were evaluated. The cold rolling of the Ag sheet induced grain refinement down to a sub-micron level along with high, associated residual stress, which was the driving force for hillock growth on the Ag sheet. This resulted in intimate bonding. With an increasing reduction ratio, the shear strength increased to approximately 20 MPa. This could be attributed to decreased grain size due to the cold rolling, which provided an increase in Ag atom migration pathways for hillock formation. TEM observations confirmed that the Ag nanoparticles were generated between two hillocks with a specified growth direction, leading to an interface bonding between the two Ag films.</p> <p>Finally, for applications involving large-area die-attach, the possibility of using Ag stress migration bonding technology was confirmed. Hillock growth change was observed on the Ag layer under various bonding conditions. The variation in the hillock growth area and the associated relationship with bonding strength were noted. A large bonded area (20 x 20 mm) was achieved using an Ag stress migration bonding process, resulting in an average flexural strength of 40.5 MPa at 300 °C. In-situ stress analysis during heating confirmed that compressive thermal stress was generated because of the coefficient of thermal expansion (CTE) mismatch at the Ag layer/substrate interface. The stress was released in over the bonding areas in which the temperature was approximately 100 °C. The relaxation of residual stress was caused by the formation of abnormal silver hillocks. The bonding strength in various areas indicated that the hillock growth could have occurred homogeneously over the entire bonding area.</p> <p>In this study, the results confirmed that the developed heat-resistant interconnection materials could become potential alternative interconnection technologies for next-generation power electronic devices.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (盧 承 俊)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教授 菅沼 克昭
	副 査 教授 平田 勝弘
	副 査 教授 中谷 彰宏
	副 査 教授 南埜 宜俊
	副 査 教授 浅田 稔
	副 査 准教授 長尾 至成
	副 査 准教授 菅原 徹
	副 査 准教授 杉原 知道
	副 査 准教授 土井 祐介
	副 査 准教授 中西 英之
	副 査 准教授 萩原 幸司
	副 査 准教授 宮坂 史和
	副 査 准教授 吉矢 真人
	論文審査の結果の要旨
<p>SiC や GaN などのワイドバンドギャップパワー半導体は、Si を越える省エネルギー、高周波駆動、高耐圧・高耐熱などの特性を有し、新世代の電力変換機器への実用化が期待され、徐々に市場にも投入されるようになった。それらの実用化を加速するためのボトルネックが耐熱実装にあり、従来のダイアタッチ実装やワイヤボンダ技術の革新が望まれている。申請者は、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、耐熱配線、耐熱ダイアタッチ技術を銀粒子や銀シートを用い焼結配線・接合技術として開発している。</p>	
<ol style="list-style-type: none"> 熱接触（熱伝導）と放熱特性に優れる銀焼結技術を配線に適用し、耐熱性、大電流耐性の評価を行った。高温（250℃ - 1000 時間）、大電流（2.2×10^4 A/cm² - 2000 時間）下で信頼性を評価した結果、大電流にも耐え、高温下でほとんど劣化しない。この特性は、一般的に使用されている Al リボンボンダより優意な信頼性である。 250℃までの動作を保証するダイアタッチのため、銀シート接合技術と応力緩和技術を開発した。冷間圧延により作製された銀シートは、加熱中表面に銀ヒロックを生成し、その過程で相対する銀シートと基板上の銀コーティング膜が接合される。この時、銀ヒロック形成には、自己生成された銀ナノ粒子が堆積し成長するメカニズムが働く。 銀コーティング膜を使用した銀膜直接接合技術を大面積接合に適用し、その応用の可能性を証明した。銀膜直接接合技術によって接合された場合、接合端部に一部未接合領域が形成されるが、大面積の接合でも高い接合強度を示す。 	
<p>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、そのメカニズムを解明している。また、高温耐熱性や大電流に曝される場合でも、優れた耐性を示すことを明らかにした。よって本研究は、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。</p>	
<p>よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。</p>	