

Title	Sliver sinter joining for high temperature die-attachment : mechanism and improvement of thermal stability
Author(s)	張, 昊
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/55927">https://hdl.handle.net/11094/55927</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a>〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 張 昊 )	
論文題名	Sliver sinter joining for high temperature die-attachment: mechanism and improvement of thermal stability (高温ダイアタッチメントの為の銀の焼結接合：メカニズムと熱安定性の向上)
論文内容の要旨	
<p>The intrinsic wide-bandgap (WBG) nature of WBG semiconductors can provide power devices with high operating temperature, lower conduction losses and high efficiencies, thus improving the performance of the next-generation power devices. In addition to the chip materials, die-attach solution which can endure prompted operating temperatures also plays a significant role in ensuring the reliability of power modules. As a prospective die-attach solution for next generation power semiconductor, silver (Ag) sinter joining including Ag-Ag direct bonding and Ag microflakes sinter joining has attracted intensive attention.</p> <p>I firstly reported a novel phenomenon of Ag nano-volcanic eruption due to the interplays between Ag and oxygen (O). It started with grain boundary liquation caused by the decreased metaling point of Ag-O solid solution under high stress environment. Ag-O fluids were ejected to the surface and decompose into O<sub>2</sub> gas and suspended Ag atoms or clusters. Subsequent re-deposition of Ag formed a conformal amorphous Ag coating and the recrystallization of which could realize Ag-Ag direct bonding and patterned hillock growth. Based on the proposed "Ag nano volcano" phenomenon, a novel mechanism of Ag microflakes sinter joining which was not yet reported was described. It involved the cladding of amorphous layer, the generation of Ag crystal nucleus and recrystallization of Ag nano particles.</p> <p>To further improve high-temperature stability of Ag sinter joining structure, three types of silicon carbide particles (SiC<sub>p</sub>) of different size and morphology were added to Ag microflakes paste and Ag-coated Cu-Cu joints with qualified bonding strength (above 25 MPa) were prepared by sintering the SiC<sub>p</sub>-added paste. The mean Ag grain size of the SiC-added joints remained unchanged after high-temperature storage for 500 h at 250 °C, while that of pure Ag sintered structure increased from 1.1 μm to 2.5 μm. Temperature-dependent exponent <i>n</i> and activation energy <i>Q</i> was used to discuss the grain growth in pure Ag joints. The grain growth that induced interfacial cracks during the thermal cycles was significantly suppressed in the SiC<sub>p</sub>-added Ag microflakes sintering joints.</p> <p>Silicon dies and a direct bonded copper (DBC) substrate were used to simulate the practical die-attachment. SiC<sub>p</sub>-added Ag sinter paste showed better stability in high temperature storage tests than the paste without SiC<sub>p</sub> at the temperatures such as 150, 250 and 350 °C. In thermal cycles test, the SiC<sub>p</sub>-added and non-added joints experienced degradation in bonding, whereas the SiC<sub>p</sub>-added joints exhibited only a little decrease both in strength and in</p>	

cross-sectional morphology.

In addition to the Ag paste, the surface metallization schemes of the DBC substrate were also evaluated. The Ti diffusion barrier layer played an active role in preventing the oxidation of Cu by preventing inter-diffusion between Cu and Ag in exposure at high temperatures exceeding 250 °C. The Ni barrier layer showed poor inhibition of Cu diffusion in high temperature die-attach applications, even though Ni thickness (5 μm) was ten times larger than that of Ti (500 nm).

In conclusion, the results in this thesis provided new prospects of Ag sinter joining and actual ways of improving the thermal stability of Ag microflakes sinter joints.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 張 昊 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	菅沼 克昭
	副 査	教 授	山中 伸介
	副 査	教 授	南 埜 宜俊
	副 査	教 授	浅田 稔
	副 査	教 授	中谷 彰宏
	副 査	教 授	平田 勝弘
	副 査	准教授	能木 雅也
	副 査	准教授	長尾 至成

## 論文審査の結果の要旨

ワイドバンドギャップパワー半導体は、本来の材料特性から高温動作、低抵抗による電力変換の高効率化を可能とし、次世代のパワーデバイスとして期待されている。その技術開発の中で、特にダイアタッチ技術は、高温動作におけるデバイス信頼性を大きく左右する。ワイドバンドギャップパワー半導体へ適用可能なダイアタッチ材料として銀 (Ag) が最有力候補であるが、中でも銀粒子焼結接合及び銀薄膜ストレスマイグレーション接合技術などが大気中低温プロセスで高信頼性接合を実現するものとして期待されている。これら2つの銀を用いた接合では、その本質的な低温接合や焼結を実現するメカニズムが不明であり、さらに、銀粒子焼結接合においては200℃以上の高温域における接合組織の粗大化が課題となっていた。本論文では、銀が実現する低温接合のメカニズム解明と、銀粒子焼結組織の高温安定性改善に取り組み、以下の成果を得た。

- (1) 銀薄膜ストレスマイグレーション接合において、大気中、250℃で焼成した銀膜の表面には多数の銀ナノ粒子を含んだアモルファス層が形成される。熱力学計算から、酸素が存在することで銀薄膜粒界にAg-O固溶体が形成され、そこに高圧力が加わることで融点が下がりAg-O液体化することが示される。熱応力下でこのAg-O液体が粒界から自由空間へ吹き出し銀原子クラスターと酸素に分離し、銀粒子間の低温焼結や、銀膜上に多数のヒロックを形成しながら低温接合を実現する。
- (2) 銀粒子を用いた焼結接合において、焼結層の高温安定性を付与するためにSiC粒子を添加することで銀粒子焼結接合組織が安定化する。添加するSiC粒子としては、ナノ粒子やミクロンサイズ粒子よりもサブミクロンサイズの粒子が最も効果的である。得られた接合では、250℃において500時間保持しても25MPa以上の安定した接合強度を示す。
- (3) シリコンダイと銅貼りセラミックス基板 (DBC基板) を用いた銀粒子焼結接合ダイアタッチ構造評価では、最高温度350℃までの高温保持試験、及び、-40℃から250℃間の温度サイクル試験において、SiC粒子を添加した場合に優れた安定性が示される。
- (4) DBC基板の銅膜の上にメタライズ面として銀膜を形成するが、その時の銅膜の高温酸化を防ぐために銅の表面に薄いチタンコーティングを施すことで優れたバリア性が得られる。一方、銅膜上に形成したニッケル層では銅の拡散が生じ、酸化劣化が生じる。

以上のように、本論文は銀粒子焼結接合と銀薄膜ストレスマイグレーション接合における低温接合メカニズムを解明し、また、銀粒子焼結接合における接合層の高温安定性付与技術を新たに提案開発した。これらの結果は、ワイドバンドギャップパワー半導体の高温動作を保証するものであり、今後の実用技術開発の基礎を与える。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。