

Title	Solid-state bonding by stress migration in Ag thin films
Author(s)	Oh, Chulmin
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/52192">https://doi.org/10.18910/52192</a>
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 ( OH CHULMIN )

## 論文題名

Solid-state bonding by stress migration in Ag thin films  
(銀薄膜ストレスマイグレーションを用いた固相接合)

## 論文内容の要旨

近年、携帯電話やノートパソコン、タブレット型端末など電子機器において、高機能化や小型化あるいは用途の多様化が加速している。このような傾向は、電子デバイスのパッケージングやその実装技術に大きな影響を及ぼしている。電子機器が小型化するにつれて、デバイスの端子に必要とされる面積が減少する半面、高性能化するにつれてその端子数は増え続けている。また、近年の電子機器は自動車ナビゲーションシステムや各種通信機器のように適用範囲が大幅に拡大し、それに応じて要求される動作温度も上昇しており、実装材料そのものにも影響を与えている。

現在、電子機器の実装技術ははんだを用いた接合技術が最も多く利用されている。端子の微細化が進むにつれて、これまで通りにはんだを融点以上で熔融させる接合方法は、熔融工程の安定性や信頼性への問題が指摘されている。新しい接合技術ではTLP(Transient Liquid Phase)、銀ペーストを利用した焼結接合、Cu-Cu圧着接合技術などがあるが、これらの技術は高温や高圧、高真空などの繊細な工程条件が求められ、産業的に応用できる技術が確立されていない。現在の接合技術の限界点を超えて、より高温でも動作する高機能次世代デバイスに対応できる実装技術の確立が急がれている。

本研究では、銀薄膜を用いて大気中・無加圧、250-300℃での低温接合を実現する。スパッタリング成膜された銀薄膜は、熱・機械的応力を受けるとストレスマイグレーション現象を起こす。この応力拡散を利用し、超耐熱・低温接合を実現する。そのためには、スパッタ工程による組織形成、接合条件による組織成長、基板材料による応力制御などが検討すべき重要な因子となる。

まず、スパッタ時のSi基板温度による接合特性を調べた。基板温度によって銀薄膜にかかる残留応力の変化をX線回折法で測定し、銀薄膜特性変化を調べた。大きな残留応力を示す試料を接合温度まで加熱すると高強度の接合が得られることを確認し、スパッタ薄膜の残留応力制御が、接合強度の重要な因子であることを明らかにした。

次に、接合プロセスの温度と時間が接合にあたる影響を調べた。等しいスパッタ条件で形成した銀薄膜を用い、230℃以上の加熱で接合が可能であり、250℃の加熱で最大の接合強度を得た。しかしながら、300℃以上に加熱すると銀薄膜内部で結晶粒成長が起こるため接合界面の形成が難しくなる。一方、一定温度条件下で接合時間を増加すると接合強度が高くなるものの、ある臨界時間を過ぎると接合強度が低下する。従って、接合温度と時間を最適化することで、最大接合強度を得られるプロセス条件を確立した。

さらに、Si以外の様々な基板材料についても銀薄膜ストレスマイグレーション接合の可能性を調べた。各基板材料がもつ熱膨張係数によって銀薄膜にかかる熱機械応力と接合温度の相関関係を調べた。銀との熱膨張係数の差が大きい場合に、低温でも接合可能であることがわかり、基板材料の調整によって接合特性が制御できることを解明した。

これらの研究結果を利用し、微細な端子をもつフリップチップの接合に銀薄膜ストレスマイグレーション技術を採用した。銀膜の機械特性は、端子配線材料であるCuの厚みによって変化し、それに応じて接合特性も変わる。ゆえにフリップチップ端子の材料・厚みなどのデザインを最適化することにより、銀薄膜接合によって微細なフリップチップ端子を接合できる可能性をしめした。

上記の研究により、銀膜ストレスマイグレーション接合による実装技術の基礎を確立した。本研究の結果は、期待される次世代パワーデバイス実装技術の向上に役立ち、さらに微細化する電子デバイスにも応用可能である。さらなる極限環境へ向けた電子デバイス実装技術へ追うよう展開が期待される。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( OH CHULMIN )	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教 授 菅沼 克昭
	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 萩原 幸司
	副 査 特任准教授 長尾 至成
	副 査 准教授 能木 雅也

## 論文審査の結果の要旨

近年、携帯電話やノートパソコン、タブレット型端末など電子機器は、高機能化や小型化あるいは用途の多様化が加速され、電子デバイスのパッケージングや実装技術に大きな変化が求められるようになってきている。電子機器が小型化するにつれて、デバイスの接続端子に必要とされる面積が減少する一方で、高性能化と共にその端子数は増え続けている。また、近年の電子機器は、携帯機器ばかりでなく、車載機器、電鉄、自然エネルギー発電・変換、あるいは、クラウドに対応する通信インフラのように適用範囲が大幅に拡大し、それに応じて要求される動作温度も上昇し、実装材料そのものにも変革が求められるようになってきている。現在、電子機器の実装には、はんだを用いた接合技術が最も多く利用されているが、すず合金の融点以上に加熱して接合する方法は、工程の安定性や機器の信頼性への影響が問題になる。これらの課題に対する新しい接合技術の提案としては、過渡的な液相を形成する液相焼結接合、金属粒子を利用した焼結接合、加圧下の固相接合など様々あるが、いずれも高温や高圧、あるいは、高真空などの汎用性を阻害するプロセス条件が求められることから、産業的に広く応用できる技術の確立が強く望まれている。本論文では、蒸着により基板に形成する銀薄膜を用い、大気中、無加圧、250℃の低い温度における接合方法を提案し、銀薄膜形成や接合の条件、基板材料の影響などをパラメータとして接合メカニズムの詳細を調べている。その結果、以下の成果を得ている。

- (1) 蒸着によりシリコン基板上に成膜された銀薄膜は、加熱により熱機械的応力を受けストレスマイグレーションを生じる。この時、銀膜表面へ拡散形成される銀ヒロック形成が、低温における界面接合を実現する。
- (2) 蒸着時のシリコン基板温度によって銀薄膜にかかる残留応力が変化し、接合特性に大きな影響を与える。低温で蒸着形成した銀膜を用いる接合で高強度が達成され、蒸着膜の残留応力制御が高強度接合の重要な因子になる。
- (3) 接合の温度と時間が接合にあたる影響を調べ、230℃以上の加熱で接合が可能になり、250℃の加熱で最大の接合強度が得られる。300℃以上に加熱すると、銀薄膜内部で著しい結晶粒成長が生じ、粗大なボイドが多数形成され強度劣化を招く。接合温度と時間を最適化することで、最大接合強度が得られる。
- (4) 銀と基板材料の熱膨張係数の差が大きい場合に銀のストレスマイグレーションが著しく生じ、より低温でも接合が可能になる。
- (5) 銀薄膜を用いたストレスマイグレーション接合を銅電極を有するシリコンダイのフリップチップ微細端子接合に応用することで、250℃において良好な接合が得られる。この時、端子配線材料である銅電極の厚みによって接合特性が変化する。

以上のように、本論文では新規な銀薄膜ストレスマイグレーション接合による低温実装技術の基礎を確立し、そのメカニズムを明らかにしている。本研究の結果は、期待される次世代ワイドバンドギャップ・パワー半

導体の実装技術の向上に寄与するとともに、微細化が進む電子デバイスの高集積化にも応用可能である。さらなる極限環境へ向けた電子デバイス実装技術への応用展開が期待される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。