

Title	高耐熱パワーモジュールのためのCo-W-Pめっき技術の研究
Author(s)	岩重, 朝仁
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/76532">https://doi.org/10.18910/76532</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 ( 岩 重 朝 仁 )

論文題名

高耐熱パワーモジュールのためのCo-W-Pめっき技術の研究

## 論文内容の要旨

パワーモジュールはハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池自動車などの環境対応車に搭載され、電力変換の役割を担っている。パワーモジュールにはスイッチング素子としてパワー半導体デバイスが実装されており、現在の主流はシリコン(Si)パワー半導体である。Siパワーモジュールの動作上限温度は、Siデバイスや実装材料の耐熱温度から約150 °Cに設定され、この温度を超えないように素子サイズやモジュール構造が設計されている。そのような中、近年、シリコンカーバイド(SiC)パワー半導体デバイスの車載適用が期待されている。ワイドバンドギャップ半導体であるSiCは、Siよりも諸物性に優れ、パワーモジュールの低損失化、高周波動作、高温動作が可能となる。中でも高温動作が可能となれば、素子サイズの小型化による低コスト化や、モジュール冷却系の簡素化といったメリットが生まれる。しかしながら、SiCの高温動作を可能にする高耐熱パワーモジュールの実現には様々な実装技術課題を伴う。まず第1に、接合材や封止樹脂といった実装材料自身の高耐熱化が必要になる。最近の研究では、高耐熱接合材としては焼結Ag接合材、高耐熱封止材としてはイミド系のプライマー、モールド樹脂が特に期待されている。第2に、これらの高耐熱実装材料で接合、封止されたモジュールの接合部、樹脂封止部の全ての場所において、構造信頼性を確保しなければならない。高耐熱接合材として期待値の高い焼結Ag接合材は、Ni/AuフラッシュめっきやAgめっきに接合可能だが、信頼性の観点から、通常Agめっきが推奨される。しかしながら、Agめっきは貴金属のため封止樹脂との密着確保が難しい。一方、Ni/Auフラッシュめっきは下地のNiにより樹脂密着は確保し易いが、Ag焼結接合部の信頼性確保に課題がある。すなわち、高耐熱実装材料として期待される焼結Ag接合材やイミド系樹脂で実装されたモジュールは、既存の貴金属めっきでは、Ag焼結接合部の接合信頼性と封止樹脂との密着性を同時に確保できないという問題がある。

本論文では、焼結Ag接合材との接合信頼性と封止樹脂との密着性の両立を期待できるCo-W-Pめっき技術を研究対象とした。第1に系統的なめっき調査から見出した、Co-W-PめっきによるAg接合と樹脂密着の発現メカニズムの解明、第2にモジュール製造工程適用時の懸念として、Co-W-Pめっき部が前工程でアニールされることが樹脂密着性へ与える影響の解明、第3に大気下でアニールされても樹脂密着性を損なわない酸化耐性のあるCo-W-Pめっき組成の提案を行う。

第1に、焼結Ag接合材との接合信頼性と封止樹脂との密着性を両立できるメタライズを見出すため、無電解めっき可能な金属種に対し、系統的なAg焼結接合性、樹脂密着性の調査を行った。その結果、Co-W-PめっきがAg接合材との接合信頼性に優れ、且つ封止樹脂との密着性にも優れることを発見した。高いAg焼結接合強度は、金属Coと焼結Ag接合材との金属結合によって発現し、イミド系樹脂との高い密着強度は、Co水酸化物とポリイミド前駆体であるポリアミック酸との化学反応の結果、めっき基板と樹脂間に形成される共有結合によって発現していることが推定された。

第2に、焼結Ag接合材によるダイアタッチ工程を想定し、大気下高温でCo-W-Pめっき基板をアニールした後の樹脂密着強度を調査した。その結果、200 °C、1時間のアニールであれば十分な樹脂密着強度を維持できるが、250 °C、1時間といったさらに厳しいアニール条件の場合は、酸化によってめっき表面上のCo水酸化物が減少し、樹脂密着強度が低下するリスクが明らかになった。

第3に、大気下でアニールされても酸化されにくいCo-W-Pめっきを開発するため、W含有量の異なるCo-W-Pめっきを用いて酸化耐性と樹脂密着性の関係性を調査した。その結果、Co-W-PのW含有量を高濃度化(21 wt%)すると、Co-Wの固溶体が形成され、これまで検討していたアモルファス構造のCo-Wよりも酸化を抑制できることが分かった。この酸化耐性のあるCo-W-Pめっきは、一般的な焼結Ag接合材のダイアタッチ条件である、大気下250 °C、1時間のアニール処理後においても、イミド系樹脂との化学反応に必要なCo水酸化物をめっき表面上に十分残存させることができ、高い樹脂密着強度を発現できることを確認した。また、この高濃度のWが固溶したCo-W-Pめっきにおいても、焼結Ag接合材との接合信頼性は十分確保されることを確認した。

以上から、一般的な焼結Ag接合材のダイアタッチプロセスである大気下250 °C、1時間のアニール工程を許容でき、焼結Ag接合材との接合信頼性と高耐熱封止樹脂との密着性を両立できる高耐熱パワーモジュール向けのメタライズとして、高濃度のWが固溶したCo-W-Pめっき技術を提案する。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 岩 重 朝 仁 )			
	(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	舟木 剛
	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 などのワイドバンドギャップパワー半導体の実用化が期待される中で、200 °Cを越える耐熱性がパッケージに要求され、様々な材料開発が必要とされている。本論文は、焼結 Ag 接合材との接合信頼性と封止樹脂との高温密着性を両立することを目的に、高耐熱パワーモジュール向けのメタライズ技術として新たな Co-W-P めっき技術を提案し、Ag 焼結接合メカニズムと樹脂密着メカニズムに関して研究を遂行した。本研究の成果は、以下のようにまとめられる。

1. 無電解めっき可能な金属種を選択し、Ag 焼結接合性と樹脂密着性を評価したところ、Co-W-P めっきが焼結 Ag 接合材との接合信頼性に優れ、且つ封止樹脂との高温密着性にも優れることを見出した。接合界面の TEM 観察により、金属 Co と焼結 Ag 接合材が金属間化合物等を介せずに金属結合している。XPS 分析により、樹脂密着メカニズムが Co 水酸化物とポリイミド前駆体であるポリアミック酸との化学反応で生じることが判明した。
2. Co-W-P めっきと樹脂との密着性に与える Ag 焼結接合工程における大気下高温アニールの影響を調査した。200 °C、1 時間のアニール条件では十分な樹脂密着強度を維持するが、250 °C、1 時間の厳しいアニール条件では、酸化によってめっき表面上の Co 水酸化物が減少し、樹脂密着強度が低下する。
3. 大気下 250 °C、1 時間アニールの Ag 焼結接合工程にも耐え得る、酸化耐性のある Co-W-P めっき組成を W 含有量の最適化で見出した。Co-W-P めっきの W 含有量を高濃度化(最高 21 wt%)すると Co-W の固溶体が形成され、アモルファス構造の Co-W-P よりもアニール中の酸化を抑制できる。この酸化耐性のある Co-W-P めっき組成により、大気下 250 °C、1 時間のアニール後においても、樹脂との化学反応に必要な Co 水酸化物をめっき表面上に十分残存させることができる。
4. 開発した高濃度 W 耐酸化 Co-W-P めっきの焼結 Ag 接合材との接合性や高温信頼性を評価し、低濃度 W の Co-W-P めっきと同様に焼結 Ag 接合材に対して優れた接合信頼性が発現されることを明らかにした。

以上のように本論文は、今後期待される高耐熱 SiC パワーモジュールの構造信頼性を確保するため、焼結 Ag 接合材との接合性とイミド系封止樹脂との密着性を両立するメタライズとして新たに Co-W-P めっきを提案し、さらにモジュール製造工程への適用性を考慮し、酸化耐性のある Co-W-P めっき組成へと発展させている。本論文は高耐熱実装におけるメタライズ分野の発展に大きく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。