

# エポキシ樹脂と金属基板接合界面の高温劣化メカニズム

産業科学研究所

特任准教授 (常勤) 陳 伝彤

<https://researchmap.jp/chenchuantong>

特任教授 菅沼 克昭

<https://researchmap.jp/ksuganuma>


## 研究の概要

SiCなどの次世代パワー半導体材料は、テスラが採用したことで注目され、電気自動車 (EV) での利用が急増している。それに伴い、高温用のエポキシ樹脂を用いる封止技術の利用は拡大している。しかしながら、エポキシ樹脂と基板の接合は異種材接合であるため、高温中にエポキシ自体の劣化と界面に発生された熱応力の原因で、界面剥離がよく発生され、界面長期信頼性が大きな課題となっている。本研究では、高温放置中にエポキシ樹脂と銅基板の界面破壊メカニズムを研究し、エポキシ樹脂と銅基板界面の相互作用の視点から、信頼性の劣化メカニズムと劣化原因を調査した。界面剥離は銅とエポキシの界面ではなくエポキシの内部で発生していることが解明され、銅原子がエポキシ中に約 100 nm まで拡散したことが分かった。特に、銅原子の拡散と長時間の高温によりエポキシの熱分解が促進され、エポキシ側に厚さ 100 nm 程度の弱い層の形成が高温界面剥離の原因となることが解明された。

## 研究の背景と結果

樹脂接着は、電子機器から構造材まで幅広く活用されているが、接着メカニズムは界面結合そのものを含め未解明のまま残されている。特に、EV などに向けて SiC パワーモジュール高温用のエポキシ樹脂を用いる封止技術の利用は拡大しているが、実用に於いて高温、高湿度、腐食等の環境で厳しい繰り返し応力が課せられ、界面劣化特性など技術的に未踏の領域となる。実際、これらのストレス要因が多く市場故障を引き起こすだけでなく、信頼できる新たな先端デバイス開発を阻害している。本研究では、高温中にエポキシ樹脂と銅基板間の故障メカニズムを明らかにすることを目的とした。銅基板上にエポキシ樹脂を使用した高度なフェイスダウン圧縮成形法によって封止され、電気産業で使用される実際のパッケージ技術を使用した。また、次世代 SiC パワーモジュールの要求を満たす高温保存試験 (HST) 条件 (200°C、1000時間継続) で信頼性を評価した。高温放置中にエポキシ樹脂と銅基板の界面破壊メカニズムを研究し、エポキシ樹脂と銅基板界面の相互作用の視点から、信頼性の劣化メカニズムと劣化原因を調査した。界面剥離は銅とエポキシの界面ではなくエポキシの内部で発生していることが解明され、銅原子がエポキシ中に約 100 nm まで拡散したことが分かった。特に、銅原子の拡散と長時間の高温によりエポキシの熱分解が促進され、エポキシ側に厚さ 100 nm 程度の弱い層の形成が高温界面剥離の原因となることが解明された。

## 研究の意義と将来展望

今まで高温中にエポキシ樹脂の耐熱性と界面熱応力が界面信頼性に大きな影響を与えることが認識されているが、具体的に接合材料間における相互作用や界面劣化特性とメカニズムが解明されていなかった。本研究の結果は基板表面処理技術、新規樹脂の開発、エポキシ樹脂の封止技術の研究開発に大きく参考になり、特に高温界面劣化特性は今後 SiC パワーモジュール封止設計と信頼性評価に応用が期待できる。

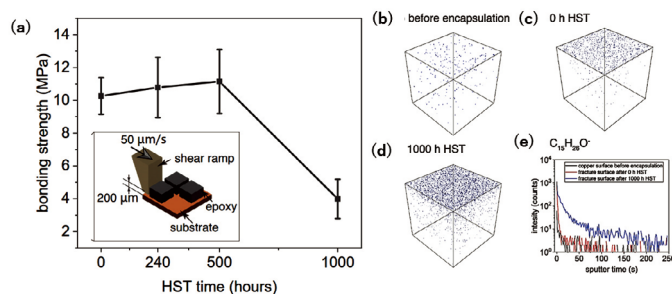


Fig. 1 (a) The bonding strength results for different lead frames under various reliability tests. (b) 3D render images of epoxy fragment  $C_{15}H_{26}O-$  for the copper surface before encapsulation and the fracture surface of the copper substrate after (c) 0 and (d) 1000 h HST; (e) depth profile of  $C_{15}H_{26}O-$  for the copper surface before encapsulation and the fracture surface of the copper substrate after 0 and 1000 h HST.

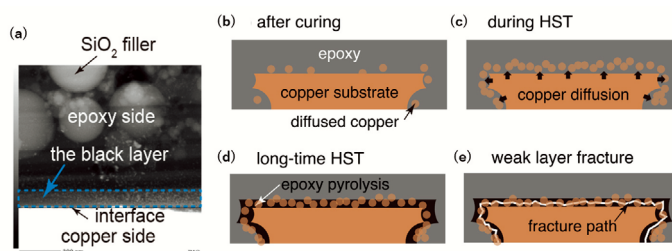


Fig. 2 (a) TEM HADDF image of the copper/epoxy interface after 1000 h HST. (b) minor copper diffusion happens after curing; (c) large extent copper diffusion happens during HST; (d) diffused copper promotes the epoxy pyrolysis resulting in a weak layer; (e) weak layer fracture under internal or external stress.

特許

論文

参考URL

キーワード

Zhao, Shuaijie; Chen, Chuantong; Suganuma, Katsuki. Failure mechanisms of the bonded interface between mold epoxy and metal substrate exposed to high temperature. *Composites Part B: Engineering*. 2023, 254, 110562. doi: 10.1016/j.compositesb.2023.110562

パワーデバイス、EV/HEV、ドローン、宇宙航空、5G/6G通信