

サーモマイグレーション試験

大矢 怜史

【背景】

近年、200°C以上での高温動作が可能である SiC パワーモジュールの実用化が進んでおり、パワーモジュール内の温度勾配がより大きくなってきた。このため、温度勾配によって元素が一方方向に拡散するサーモマイグレーション (TM: Thermo Migration) がはんだ接合部で発生する懸念が高まってきた。例えば、はんだ接合部に使用される各元素に対して、表 1 のように TM が発生する温度勾配と移動方向が知られている。そこで、当社では温度勾配を可視化かつ制御可能なサーモマイグレーション (TM) 試験機を開発した。本稿では TM 試験機を用いた TM 現象の発生条件を調査した結果を報告する。

表 1 各金属の TM 発生時の温度勾配と移動方向

金属の種類	TM発生時の温度勾配	移動方向	備考
Sn	1000°C/cm ⁽¹⁾	高温側	Sn-3.5Ag
Cu	1000°C/cm ⁽²⁾	低温側	Sn-Ag
Ni	8050°C/cm ⁽³⁾	低温側	Sn-37%Pb
Ag	2829°C/cm ⁽¹⁾	低温側	Sn-3.5Ag

EMを抑制するために必要な温度勾配として算出

実験により確認された値

※はんだ種、周囲温度、メタライズの種類によっても変動

【実験方法】

TM 試験機の外観を図 1 に示す。発熱源として SiC 製ヒーターチップを使用した。ヒーターチップ裏面及び無酸素銅板へ無電解 Ni-P/置換 Au めっき処理し、ヒーターチップを無酸素銅板上へはんだ付けしてサンプルを作製した。はんだ組成は Sn-0.7Cu はんだ、はんだ厚は 100 μm とした。サンプルの端面を鏡面仕

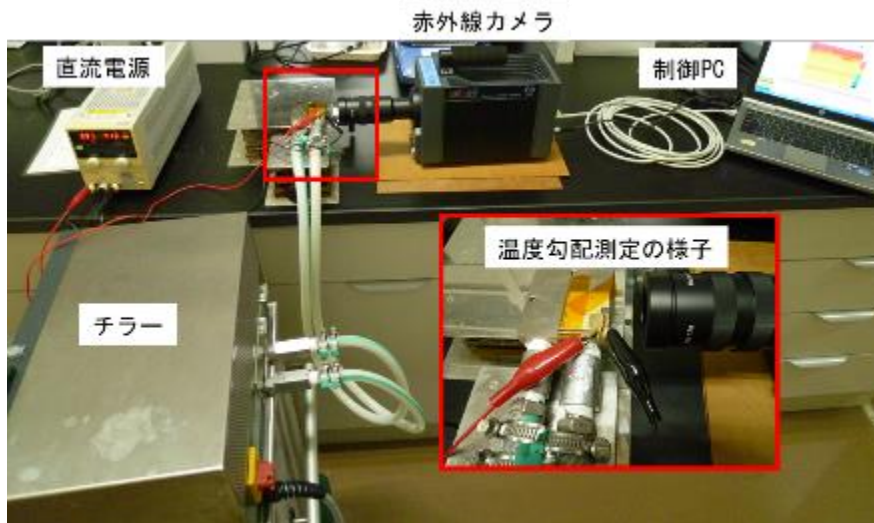


図 1 TM 試験機外観

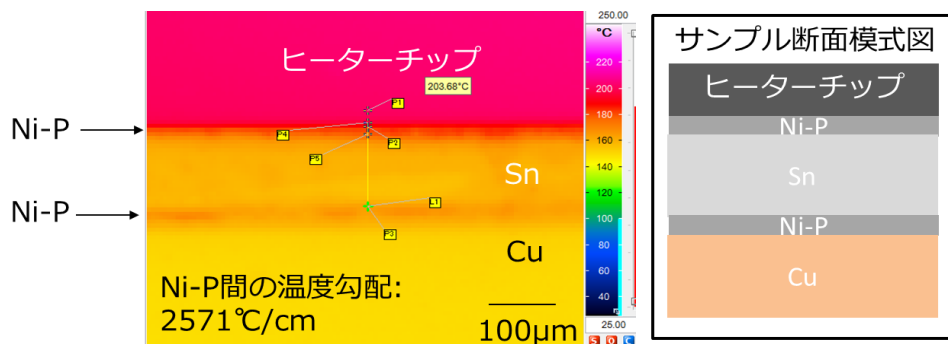


図 2 温度勾配測定の様子

上げ後、ヒートシンク上に配置した。その後、ヒーターチップへ通電することで、ヒーターチップを Hot 側、ヒートシンク側を Cold 側として、はんだ接合部へ温度勾配を生じさせた。また、生じた温度勾配を可視化するために、サンプルの鏡面仕上げ面を赤外線カメラにより観察することでヒーターチップ温度及びはんだ層の温度勾配を可視化した。なお、断面の放射率を確保するために PI テープを貼り付けて赤外線カメラによる観察を実施した。図 2 に温度勾配測定時の様子を示す。図 2 の場合、ヒーターチップ温度 200°C、Cu 板温度 145°C 程度ではんだ接合部の Ni-P 間の温度勾配が 2571°C/cm になった。今回は本条件にて TM 試験を実施した。TM 試験後、サンプルの端面を再度鏡面仕上げし、断面 SEM 観察を実施した。

【結果と考察】

図3にTM試験前後での断面SEM観察結果を示す。

図3より試験時間26h時点ではHot側であるヒーターチップ側では10-30 μ m厚程度の合金層が形成しており、粗大なポイドも存在していることがわかる。さらに、Cold側であるCu板側では(Ni,Cu)₃Sn₄が堆積している様子が確認できる。

次に、Hot側とCold側を拡大観察時のSEM像を図4に示す。図4から、ヒーターチップ裏面のAg層はTM試験後に全てAg₃Snへと変化していた。この結果は

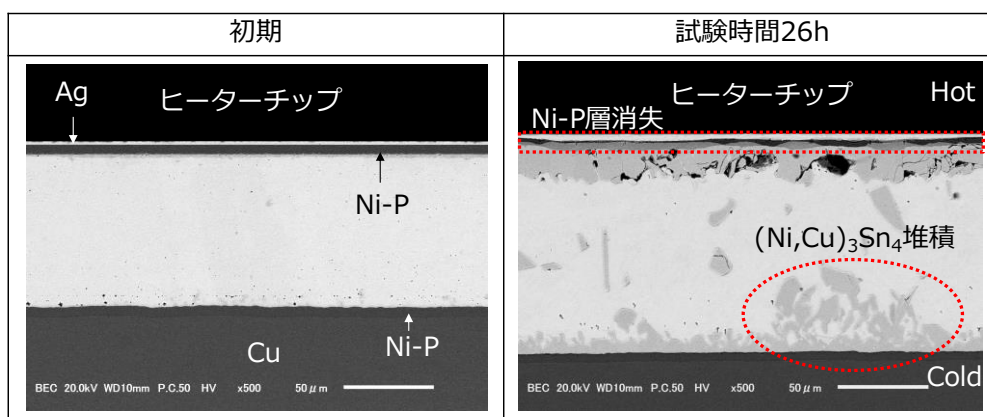


図3 断面SEM観察結果

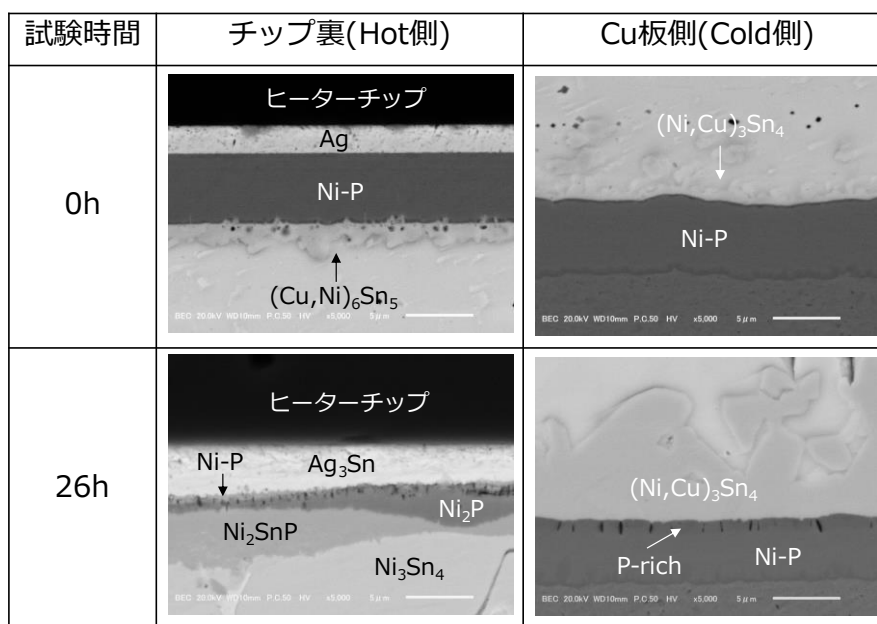


図4 断面SEM観察結果(拡大観察)

TM試験中にHot側であるチップ裏面へSnが拡散し、Ag層とAg₃Snを形成したことを示している。1000°C/cm以上の温度勾配が生じているのはんだ接合部ではSnがHot側へ拡散することが知られていること⁽¹⁾、及び今回のTM試験時の温度勾配が2000-3000°C/cmであることを考慮すると、Snのチップ裏面側への拡散はTMに起因すると考えられる。

TM試験後ではHot側であるヒーターチップ裏面のNi-P層はNi₂P層とNi₂SnP層へ変化し、Ni-P層が消失していた。また、Ni₂SnP層上にはNi₃Sn₄が10-30μmの厚みで形成していた。表1よりNiのTMに必要な温度勾配は8050°C/cmと見積られている⁽³⁾。本試験の温度勾配が2000-3000°C/cm程度であることを考慮すると、NiのTMが発生しているとは考えにくい。従って、チップ裏面でのNi-P層の消失は、チップ裏面側へサーモマイグレーションしてきたSnとNi-P層間で合金層Ni₃Sn₄の形成がTM試験中に促進され続け、チップ裏面側Ni-P層の消失に至ったと推察される

また、図4よりTM試験前にはチップ裏面に(Cu, Ni)₆Sn₅としてCuが存在したが、TM試験後にはチップ裏面にCuを含む合金層は存在していなかった。対して、TM試験後のCu板上ではCuを含む合金層(Ni, Cu)₃Sn₄が堆積していることから、Hot側であるチップ裏面からCold側であるCu板側へCuが拡散していることがわかった。本試験での温度勾配が2000-3000°C/cmであり、CuのTM発生時の温度勾配1000°C/cmを超えていることを考慮すると⁽²⁾、Cu板側へのCuの拡散はCuのTMに起因すると推察される。これらの結果及び考察を踏まえて作成したTM試験前後での推定断面模式図を図5に示す。

以上のように、TM試験によりTMが発生したかを判断するためには、次の3

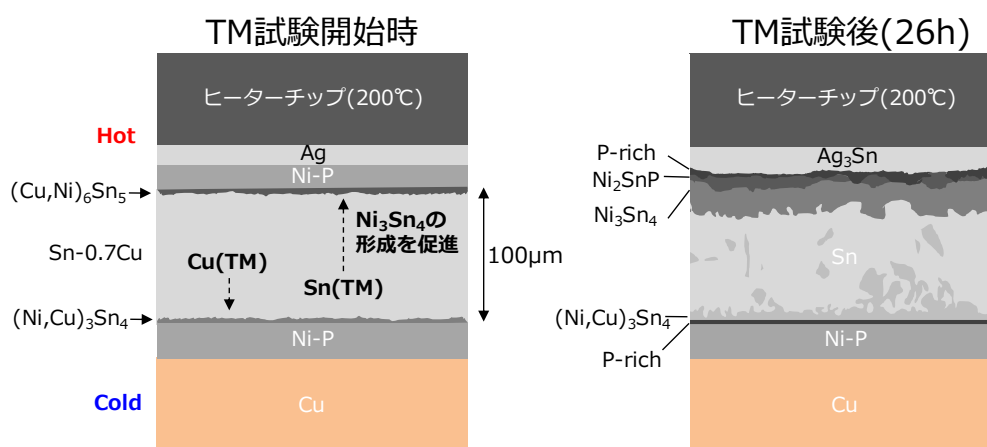


図5 TM試験前後での推定断面模式図

温度勾配は2000-3000°C/cm

点を考慮する必要がある。

- ① TM 試験時の温度勾配
- ② 構成元素ごとの TM 発生時の温度勾配(文献値含む)
- ③ はんだ接合部の界面構造の変化

上記①-③を考慮して、いずれの元素による TM が発生しているかを判断することが重要である。上記のことから、本試験装置は TM 試験時の温度勾配をリアルタイムで測定可能であり、TM 現象の調査に有効な試験装置であると考えられる。

【まとめと今後】

温度勾配を可視化かつ制御可能なサーモマイグレーション試験機を開発した。本試験装置を用いた TM 試験により、はんだ接合部に Hot 側を 200°C とする 2571°C/cm の温度勾配を発生させると、試験時間 26h 時点で Hot 側の Ni-P 層が消失する現象を確認した。この原因は Sn の Hot 側への TM に起因すると推察した。今後は本試験装置を用いた受託 TM 試験を提案しつつ、引き続き TM 現象の調査を進めていく。

参考文献

- (1) C. Chen *et al.*, Materials Science and Engineering R **73** 85 (2012).
- (2) H.Y. Chen *et al.*, Applied Physics Letters **93** 122103 (2008).
- (3) D.-C. Yeh, H.-B. Huntington, Physical Review Letters **53** 1469 (1984).