



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	相変化材料(PCM)を用いたモバイルデバイスの熱および強度信頼性に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	富沢, 祐介
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13206号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/69938
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yusuke_Tomizawa_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 富沢 祐介

審査担当者 主 査 教 授 佐々木 克彦

副 査 教 授 中村 孝

副 査 准教授 山田 雅彦

学位論文題名

相変化材料 (PCM) を用いたモバイルデバイスの熱および強度信頼性に関する研究
(Study on Thermal and Strength Reliability of Mobile Devices Using Phase Change Material (PCM))

スマートフォンやタブレット PC 等のモバイルデバイスは小型でありながら、高機能化、高性能化が進んでおり、発熱密度が著しく増加している。発熱密度の増加により、熱暴走やはんだの熱サイクル疲労の加速を招く危険性が高まっており、モバイルデバイスの信頼性向上のために、熱対策およびはんだ接続部の強度信頼性評価の両方の観点から対処していくことが求められている。このことから本研究では、熱対策のためにモバイルデバイスに相変化材料 (PCM) を適用する場合の使用条件の影響を実験的および解析的に明らかにすること、さらに、はんだ接続部の強度信頼性評価のために、Sn-3Ag-0.5Cu はんだを用いて温度・振動複合負荷環境を模擬した二軸ラチェット試験により、はんだの二軸ラチェット変形特性を明確にし、二軸ラチェット変形を伴う疲労寿命予測法を構築することを目指している。

第 1 章では、モバイルデバイスの信頼性を向上させるため、PCM による熱対策とはんだ接続部の強度信頼性評価の抱える問題点を示し、本論文の目的を明確にしている。

第 2 章では、PCM/PE 複合材料を用いたシート (PCM シート) を模擬スマートフォンに適用した温度測定実験、さらに、PCM/PE 複合材料の熱物性値を複合則で推定した実験の再現シミュレーションを行い、PCM シートの底面積よりも板厚を大きくしたほうが遅延効果を大きくなること、また、面積の大きい高熱伝導シートとともに使用することで最高温度の低下と遅延効果の増大の両立ができる可能性があることを明らかにしている。さらにまた、PCM/PE 複合材料の熱物性値推定に体積分率を用いた複合則および Bruggeman の式を用いることが有効であることを示し、母材の樹脂を変更した場合の予測や、PCM シートの使用条件の最適化をシミュレーションによって行えることを明確にしている。

第 3 章では、PCM/PE 複合材料の強度特性を引張試験およびマイクロスケールシミュレーションにより検討し、温度が上昇すると PCM/PE 複合材料の強度は低下するが、これは PE の温度依存性による影響が大きく、PCM が液体になることによる影響は小さいことを示し、このことから、炭素繊維等の補強材を混合することが有効であることを明らかにしている。さらに、PCM/PE 複合材料作製の段階で MPCM と PE の界面は接着界面とはく離界面が混在し、ひずみ 2% 以上の領域では次第にはく離界面が増加することを示している。

第 4 章では、HALT(Highly Accelerated Limit Test) を模擬した二軸ラチェット試験を実施し、温度・振動複合負荷環境下での Sn-3Ag-0.5Cu はんだの二軸ラチェット変形挙動および二軸ラチェット疲労について考察を行い、軸方向に重畳した繰返し負荷によってはんだが硬化することを明らか

にし、振動負荷を加えることによりさらに硬化する可能性を示している。また、二軸ラチェットひずみが軸方向に重畳した繰返し負荷によって増加する現象を見出し、この現象が HALT 環境ではんだ接続部が早く破断する現象を裏付けるものであることを示している。さらに、疲労寿命は軸方向に重畳した繰返し負荷の有無に関わらず、二軸ラチェットひずみ速度や非弾性ひずみエネルギー密度と強い相関があり、単純なべき乗則によって疲労寿命を予測できることを明らかにしている。

第 5 章では、従来の弾塑性クリープ分離型構成モデルでは、遅いひずみ速度域において Sn-3Ag-0.5Cu はんだの応力-ひずみ関係を精度良く表現することができないという問題点を示し、Ramberg-Osgood 則の参照応力をひずみ速度に依存すると仮定し構成モデルの改良を行っている。改良した弾塑性クリープ分離型構成モデルを用いて二軸ラチェットシミュレーションを行い、平均重畳応力の影響が表現できること、また、重畳繰返し負荷の影響は表現できないことを示している。さらに、重畳繰返し負荷の影響を表現するために、非比例負荷による硬化をモデル化し構成モデルに組み入れることにより、重畳繰返し負荷の影響を表現可能であることを示し、提案した構成モデルによるシミュレーションを用いた二軸ラチェット疲労寿命予測が可能であることを示している。

これを要するに、本研究は、モバイルデバイスの信頼性向上にかかる熱対策およびはんだ接続部の強度信頼性評価のために、PCM をモバイルデバイスに適用する熱対策法の提案およびその効果の明確化、HALT における温度・振動複合負荷環境を模擬した Sn-3Ag-0.5Cu はんだの二軸ラチェット特性の明確化、さらに、粘弾塑性クリープ分離型構成式を用いた疲労寿命予測法の構築を行っており、材料強度学分野に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。