

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高電力抵抗器のサーマルマネジメントのための熱抵抗予測・測定技術
Title(English)	
著者(和文)	青木洋稔
Author(English)	Hirotooshi Aoki
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第260号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:伏信 一慶,末包 哲也,高橋 秀治,兒玉 学,長澤 剛
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第260号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	青木 洋稔	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	伏信 一慶	教授	長澤 剛	准教授
	審査員	末包 哲也	教授		
		高橋 秀治	准教授		
兒玉 学		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「高電力抵抗器のサーマルマネジメントのための熱抵抗予測・測定技術」と題し、全 6 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、高密度実装化がますます進展する自動車用を中心とした電子機器の現状に鑑み、特に高電力を印加する抵抗器の TIM(thermal interface material)レスでの低コスト実装における信頼性確保のためには、その通電加熱に伴う温度予測が極めて重要であり、そのためには放熱経路における主たる熱抵抗要因を理解し、制御することが重要と述べている。その上で、具体的に広く用いられる抵抗器の事例としてセメント抵抗器と表面実装型チップ抵抗器を例に挙げ、また既往の熱抵抗研究を幅広く概観した上で、これらの抵抗器における熱抵抗では特に、前者ではプリント基板等との間の接触熱抵抗、後者では抵抗器内部の厚膜材料における熱抵抗については産業応用の現場で活用可能な解析技術が存在しないことを示し、これらの熱抵抗の解析手法の開発が本論文の目的であると述べている。

第 2 章「修正ユニットセルモデルに基づく接触熱抵抗の予測理論」では、接触面での表面粗さに伴う真実接触部と固体面間の空気層からなる領域を考慮した橋・佐野川の提案による接触熱抵抗の予測式を精査した上で、真実接触部の直径を定数値とするモデリングに課題があることを見出し、これを修正した予測式を新たに提案し、数値解析による熱伝導計算との比較から橋・佐野川の予測式に比して相対誤差が大幅に改善されることを示した上で、真実接触部を中心とするユニットセル部分を模したテストサンプルによる伝熱実験で予測式の妥当性を示している。さらに、接触熱抵抗を無次元化することで、ユニットセル内での熱流の縮小・拡大を考慮した熱抵抗と真実接触部における熱抵抗との和の無次元値に対する関数として表現できることを明らかにし、接触熱抵抗予測に許容される相対誤差に応じた真実接触部とユニットセルとの直径比の適用範囲を導き出している。

第 3 章「粗さを有し均一接触する実接触面への予測式の適用」では、多数の真実接触部を有する現実の接触面に議論を拡張し、第 2 章のユニットセルを対象とした予測式をもとに接触熱抵抗の予測式を導出した上で、広く工業の現場で用いられる共焦点レーザ顕微鏡を用いた真実接触部特定のためのアルゴリズムを提案している。その上で、接触熱抵抗測定のためのテストヘッド式測定装置を新たに提案し、試験部を介した伝熱経路の詳細な検討により熱損失を考慮した接触熱抵抗導出の根拠を示した上で、抵抗器の構成材料であるアルミナと比較対象のためのソーダガラスを試料とした測定を行い、予測式の与える接触熱抵抗値が良好に一致することを示している。その上で、予測式を詳細に検討することで、実装時の接触熱抵抗低減のための材料開発等における指針を論じている。

第 4 章「粗さとうねりを有し不均一接触する実接触面への予測式の適用」では、さらに現実の抵抗器実装で想定される接触面に、粗さだけでなく、うねりも有する場合の接触熱抵抗を予測する手法として、3 次元形状測定機で得られた表面形状にガウシアンフィルタを施すことで低周波数成分のうねりを分離し、構造解析により真実接触部を含む領域と含まない空気層のみの領域に分割し、接触面内での接触熱抵抗分布を定量化する予測法を提案している。具体的に、うねりを有するアルミナ基板を対象に求めた表面形状測定結果を用いて構造解析の援用により接触熱抵抗の分布を求め、これを境界条件として与えた熱伝導解析により温度分布の計算を行い、別途実施した赤外線サーモグラフィによる温度測定結果との比較から、抵抗器の設計に十分活用できる精度での温度予測が可能であることを示している。

第 5 章「厚膜材料の熱抵抗の測定技術」では、表面実装型チップ抵抗器の熱抵抗を支配しながらも、これまで実用的な解析手法が存在しなかった厚膜材料の熱抵抗評価のため、電子機器実装の現場で広く用いられる解析手法であることや、製品開発段階で想定される試料の不均質性にも対応しうる手法として最近提案された構造関数解析を用いたサーモフレクタンス法に着目し、特に、厚さ μm ～数 μm の厚膜材料に要求される温度測定時間(μs ～ ms 程度)に対応するため、新たに通電加熱型のサーモフレクタンス法を開発している。サーモフレクタンス信号から得られる温度の時間変化を熱伝導解析と比較することで、期待される時間範囲での測定に資することを確認し、ガラス試料を対象とした計測において十分な精度で熱伝導率を求められることなどを示している。

第 6 章「結論」では、本研究の成果を概観し、得られた知見とその工業上の意義、ならびに今後取り組むべき研究の方向性を総括している。

以上を要するに本論文は、高電力を印加する抵抗器実装の信頼性向上に資する熱抵抗解析手法を新たに提案し、その有効性を実証しており、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。