

Title	マルチスケール解析手法（M3法）の提案とそれを用いた電子部品の応力評価に関する研究
Author(s)	久保, 太
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/45812">https://hdl.handle.net/11094/45812</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	久保 太 <sup>ふとし</sup>
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 19497 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 17 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科生産科学専攻
学 位 論 文 名	マルチスケール解析手法 (M <sup>3</sup> 法) の提案とそれを用いた電子部品の応力 評価に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 座古 勝 (副査) 教 授 豊田 政男 教 授 南 二三吉 教 授 藤本 公三

### 論 文 内 容 の 要 旨

ユビキタス型社会を目指した次世代電子デバイス製品の信頼性評価は、製品に微小な構造要素が多く含まれるために容易ではなく、そのことが開発期間長期化の一因ともなっている。そのため、数値解析援用による評価が行われているが、有限要素法などでは製品と構造要素の相互作用を高精度に表現することが不可能であり、より有効な手法の確立が望まれている。そのような現状から、本論文の目的を、次世代電子デバイスの評価および設計の高精度化・効率化を図る新たなマルチスケール解析手法の提案とした。本論文は、全 7 章で構成した。

第 1 章は緒論として、本研究の背景および研究目的について記述した。

第 2 章では、製品と構造要素の相互作用を解析する手法として、各工業分野で適用されているマルチスケール解析手法の現状を記述し、新たな解析手法開発の必要性を明らかにした。

第 3 章では、構造要素の微小化による部品間の大いなるスケール差にも対応可能な新たなマルチスケール解析手法として、マクロ・メゾ・ミクロの 3 スケールの領域を取り扱う M<sup>3</sup> 法を提案し、有限要素法に基づく定式化を行った。次いで、スケール差を有する解析対象への M<sup>3</sup> 法の適用方法とモデル化手法を述べ、提案手法によりその力学的挙動解析が可能となることを明らかにした。また、力学問題および熱伝導問題に対して、3 スケール領域のモデルの重ね合わせにより、1 つの剛性方程式、熱伝導方程式で記述されることを示し、一度の数値解析で全モデル内の解析解が同時に得られることを示した。

第 4 章では、第 3 章で記述した定式化を基に、M<sup>3</sup> 法を用いたマルチスケール解析システムを構築した。力学的問題、非定常熱伝導問題について、従来の有限要素法や理論解と比較することでシステムの精度検証を実施し、その妥当性を示した。

第 5 章では、多層積層型チップのワイヤボンディングによる電極パッド直下の内部配線構造における応力解析を M<sup>3</sup> 法により実施した。また、微小圧子を用いたワイヤボンディング模擬実験を行い、SEM による圧子部の詳細観察により解析結果の評価を行い、両者の定性的な一致を確認した。

第 6 章では、薄型電子デバイスの設計支援における M<sup>3</sup> 法の適用方法を示した。特に、M<sup>3</sup> 法によるマルチスケール応力解析と疲労試験を組み合わせることにより、微小損傷部の応力と繰り返し数からそれを構成する構造要素の疲労強度が求められ、部材の信頼性評価が可能となることを明らかにした。

第7章では、得られた結果と知見を記述し、本論文の結論とした。

## 論文審査の結果の要旨

次世代電子デバイスの信頼性評価には、製品に含まれる微小構造の力学的影響を把握する必要がある、試験以外の手法として有限要素法による数値解析が広く用いられている。しかし、製品と構造要素のスケール比が多いため有限要素法では相互影響を高精度に表現できない問題点がある。かかる問題点を解決するために、本論文では、構造要素の微小化による部品間の大きなスケール差にも対応可能な有限要素法に基づく新たなマルチスケール解析手法として、マクロ・メゾ・ミクロの3スケールの領域を取り扱う  $M^3$  法を提案している。また、提案に基づきその定式化を行い、スケール差を有する解析対象への  $M^3$  法の適用方法とモデル化手法を記述し、検証解析により次世代電子デバイスの力学的挙動解析が可能となることを明らかにしている。

特に、電子デバイスは使用中に発熱することから、その力学的評価には熱応力の取り扱いを含める必要がある。そこで、提案手法に対して温度変化量をも考慮して定式化することによって、デバイスの使用環境中の熱応力評価も可能としている。さらに、非定常熱伝導問題に対して  $M^3$  法による定式化を行い、デバイスの力学的物性の評価手法へと展開している。また、力学的挙動解析と同様に、例解析を実施することによって提案手法の熱影響解析に対する有用性および妥当性を明らかにしている。

構築したマルチスケール解析手法を用いて多層積層型チップのワイヤボンディングを模擬した解析を実施し、内部配線構造の応力を求めるとともに、解析結果を微小圧縮試験と比較し、その有用性を示している。さらに、提案手法と実験を用いて薄型電子デバイスの信頼性評価を実施し、微小損傷部の応力と繰り返し数から、製品形状を考慮した構造要素の疲労強度を求めている。

以上のように、本論文は、大きなスケール差を扱うことの可能なマルチスケール解析手法を開発した独創性と、製品と構造要素の相互影響を考慮した力学的挙動評価と、製造工程を考慮した熱影響評価を可能としているところに有用性がある。提案手法により、製造から使用までを含めて解析できるため、製品の評価および設計において高精度化・効率化を図ることが可能であるなど、生産科学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。