

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2006～2009

課題番号：18206015

研究課題名(和文) 先端デバイスの強度信頼性評価に関する解析的・実験的研究

研究課題名(英文) Analytical and Experimental Study on the Mechanical Strength Evaluation of Advanced Devices

研究代表者

宮崎 則幸 (MIYAZAKI NORIYUKI)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10166150

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 機械材料・材料力学

キーワード：先端デバイス、ひずみ計測、分子動力学、破壊力学、有限要素法

1. 研究計画の概要

先端デバイスは基板に実装された状態では cm オーダー、またデバイスそれ自体は mm オーダーの寸法であるが、 μm オーダーあるいはサブミクロンオーダーの内部構造を有している。また、単結晶材料においてはマクロな割れだけでなく転位といった原子スケールの欠陥が材料の性質に影響を与える。このようなことを考慮して、本研究の研究目的は下記の三つとする。

(1) 強度信頼性評価には有限要素法のような連続体力学手法だけでなく分子動力学法のような分子・原子スケールの強度評価も必要となる。本研究ではマクロスケールからミクロスケール以下の微小領域の強度信頼性評価に適用できる解析システムを構築すること。

(2) 解析結果の信頼性を担保するために、先端デバイスのようなサブミクロンオーダーの内部構造におけるひずみ分布測定が可能な装置の開発を行うこと。

(3) 開発した解析システム、ひずみ測定装置を実際の電子デバイスの信頼性評価に適用してそれらの有効性を実証すること。

2. 研究の進捗状況

「1. 研究計画の概要」で記述した三つの研究目的に対する進捗状況を下記に示す。

(1) 第一の研究目的の異種材界面強度の破壊力学評価プログラムの整備に関しては、2次元、および3次元の解析プログラムを開発した。この解析プログラムを用いて、き裂だけでなく一般のノッチ形状の応力拡大係数を解析できる。また、負荷様式としては機械的負荷だけでなく熱応力負荷の

場合も取り扱える。また、ミクロな情報を含む構成式を用いた転位密度評価用の解析プログラムについては、結晶育成過程、および結晶アニール過程の転位密度評価についての研究は完了し、その後、電子デバイスを作成するための露光装置用の光学系に使用されるフッ化物単結晶のアニール後の残留応力により生じる複屈折現象を解析するための解析プログラムの開発を行っている。大規模分子動力学解析プログラムの整備に関連しては、分子動力学解析プログラムだけでなく、分子静力学解析プログラム、第一原理計算用の解析プログラムを使用できるような環境を整備し、き裂進展解析、水素といった微小含有元素が破壊に及ぼす影響(水素脆化)といった研究分野に適用している。

(2) 第二の研究目的に関しては光学ズームレンズ系、およびレーザー共焦点顕微鏡系に関して、それぞれのシステムに特有な画像にゆがみを補正する方法を取り入れて、デジタル画像相関法による微小領域のひずみ分布計測システムを完成させた。これらのシステムを用いて電子デバイス実装基板中のひずみ分布およびバンプ直径が $100\mu\text{m}$ 程度のバンプのひずみ分布の計測に成功した。

(3) 第三の研究目的の主要な部分に関しては最終年度に実施する予定である。

3. 現在までの達成度

②研究はおおむね順調に進展している。
(理由)

「1. 研究計画の概要」に記述した三つの研究目的のうち(1)は完了、(2)は80%完了し、より微細領域の計測技術の開発が残されて

いる。(3)は(1)(2)で開発されたソフトおよびハードを用いた総合的な研究であり最終年度の実施項目である。

4. 今後の研究の推進方策

「1. 研究計画の概要」に記述した二つ目の研究目的に関連して、さらに微小な領域のひずみ測定を目指して AFM 装置を用いた計測システムの開発を目指す。また、これまで開発してきたひずみ計測システムを用いて 50 μm 以下の電子デバイス実装パンプのひずみ分布を計測し、解析コードによる計算結果と比較検討する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 26 件)

- ① R. MATSUMOTO, T. INOUE, S. TAKETOMI, N. MIYAZAKI, Influence of Shear Strain on the Hydrogen Trapped in bcc-Fe: A First-Principles-Based Study, Scripta Materialia, Vol.60, No.7 (2009), pp.555-558. 査読有り
- ② M. KOGANEMARU, T. IKEDA, N. MIYAZAKI, Residual Stress Evaluation in Resin-Molded IC Chips Using Finite Element Analysis and Piezoresistive Gauges, Microelectronic Reliability, Vol.48, No.6 (2008), pp.923-932. 査読有り
- ③ N. SHISHIDO, T. IKEDA, N. MIYAZAKI, Strain Measurement in a Microstructure Using Digital Image Correlation for a Laser-Scanning Microscopic Image, CMES (Computer Modeling in Engineering & Sciences), Vol.35, No.1 (2008), pp.1-19. 査読有り
- ④ H. OGINO, N. MIYAZAKI, T. MABUCHI, T. NAWATA, Birefringence Simulation of Annealed Ingot of Calcium Fluoride Single Crystal, Journal of Crystal Growth, Vol.30, No.1 (2008), pp.221-228. 査読有り
- ⑤ N. MIYAZAKI, Dislocation Density Evaluation using Dislocation Kinetics Method, Journal of Crystal Growth, Vol.303, No.1 (2007), pp.302-309. 査読有り

[学会発表] (計 116 件)

- ① N. MIYAZAKI, H. OGINO, Y. KITAMURA, T. MABUCHI, T. NAWATA, Birefringence Simulations of Annealed Ingot of Calcium Fluoride Single Crystal (Consideration of Creep Behavior of Ingot during Annealing Process), SPIE Advanced Lithography 2009, 26 February 2009 (San Jose, USA).
- ② R. MATSUMOTO, S. TAKETOMI, Y. INOUE, N. MIYAZAKI, Estimation of Hydrogen Distribution Around Dislocations

Based on First Principle Calculations, 2008 International Hydrogen Conference – Effects of Hydrogen on Materials –, 10 September 2008 (Wyoming USA).

- ③ T. IKEDA, Y. NOMURA, N. MIYAZAKI, Stress Intensity Factors Analyses of a Three-Dimensional Interface Corner between Dissimilar Anisotropic Materials under Thermal Stress, 8th World Congress on Computational Mechanics (WCCM8) in Conjunction with 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2008), 2 July 2008 (Venice, Italy).
- ④ N. MIYAZAKI, R. MATSUMOTO, S. TAKETOMI, Application of Computational Mechanics to Hydrogen Embrittlement (Plenary Lecture), International Conference on Computational and Experimental Engineering and Science (ICCES'08), 20 March 2008 (Honolulu, USA).
- ⑤ N. MIYAZAKI, Dislocation Density Evaluation Using Dislocation Kinetics Model, 5th International Workshop on Modeling in Crystal Growth (Invited Lecture), 13 September 2006.

[図書] (計 1 件)

- ① 矢川元基, 宮崎則幸 (編集), 計算力学ハンドブック, 朝倉書店, 2007年4月.

[その他]

ホームページ

<http://solid.me.kyoto-u.ac.jp/>