

機関番号：13903

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010年

課題番号：20360052

研究課題名（和文） 統計解析と損傷電子センサによる疲労試験不要のシリコン材料疲労信頼性評価体系の創出

研究課題名（英文） Establishment of an reliability evaluation scheme based on statistical analysis and electronic defect sensing for the reliability of silicon against fatigue failure

研究代表者 神谷 庄司 (KAMIYA SHOJI)

名古屋工業大学 大学院工学研究科 教授

研究者番号：00204628

研究成果の概要（和文）： シリコンの長期疲労破壊確率の統計的評価・推測法を確立した。また、これを用いて不活性環境中の疲労寿命を予測し、それまでに提唱されていた表面の酸化反応とは異なる疲労機構の存在の可能性を明らかにした。さらにシリコン表面の機械的損傷の電子的検出に成功し、損傷の電子状態が環境中の水蒸気等のガス分子によって変化することを初めて明らかにするとともに、湿潤環境下における疲労寿命低下のメカニズムが表面現象以外にもあり得ることを指摘した。

研究成果の概要（英文）： A new scheme for statistical evaluation and estimation of fatigue lifetime of silicon was established. By applying the method developed in this study, a possible fatigue mechanism other than the already well-known hypothesis with surface oxidation as a key feature was newly suggested. It was also newly discovered by using electronic sensing method for mechanical damages on silicon surface that the electronic state of mechanical damage on silicon surface was sensitive to the gas species in environment, which suggests a possible mechanism inside the bulk material to reduce lifetime due to the existence of water or hydrogen.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	10,500,000	3,150,000	13,650,000
2009年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

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：疲労・MEMS（マイクロマシン）

1. 研究開始当初の背景

MEMS材料として多用されているシリコンおよびポリシリコンは、繰返し作用するによって疲労破壊する。しかし、その原因とな

るメカニズムは未だ不明のままであり、またと寿命の定量評価手法についても全くと言っていいほど整備されておらず、近年の著しい発展の中でさらに高信頼性を要求される航空宇宙技術や医療機器といった用途に進出せん

とするMEMSにおける大きな障害となっていた。

2. 研究の目的

疲労破壊に至る損傷の累積の定式化による統計的寿命評価と、その損傷を電子工学の分野で体系化されている半導体の欠陥評価手法を用いてセンシングする、二つの手法の開発を試み、もってMEMSの長期信頼性の定量化に資する。

3. 研究の方法

損傷の累積を破壊力学的き裂進展側でモデル化し、初期強度と疲労寿命とを定量的に結びつける統計的手法を整備することをまず試みた。一方、異なる環境における疲労挙動の違いを損傷累積モデルにより特徴づけ、これを解析することにより疲労機構の推定を行うことを目指した。さらに、半導体の欠陥評価手法として最も高い感度を有するDLTS法 (Deep Level Transition Spectroscopy) をシリコン表面の機械的損傷の検出に適用し、疲労挙動との関連の調査を行った。

4. 研究成果

疲労挙動を等価疲労き裂進展則としてモデル化したことにより、疲労負荷の履歴の異なる場合における疲労寿命の定量的な比較が可能となった。これにより長期疲労負荷に対する破壊確率を異なる負荷形態における短期の破壊確率から定量的に推測する事を可能ならしめ、基本的手法を特許として出願した。

上記手法を、一般に著しく疲労寿命が長くなる不活性環境中の疲労挙動の解析に応用し、酸化雰囲気中でなくとも疲労破壊が一定確率で発生することを突き止め、それまで表面の

酸化に起因するとされていたシリコンの疲労破壊のメカニズムに一石を投じる重要な成果を得た。

さらに、DLTS法によりシリコンの表面損傷の電気的性質を解析した結果、表面に吸着されている分子により損傷の電子状態が変化することを突き止めた。特に真空中と湿潤大気中とは状態が異なることが明らかとなり、損傷累積の動力学に水、あるいは水素といった分子が大きな影響を与える可能性が新たに示唆された。

以上の知見は、長期疲労寿命の統計的定量化評価への道を世界に先駆けて開いたばかりか、酸化等の表面反応とは異なるメカニズムで湿潤環境中における疲労寿命の低下が起き得ることをも指摘するものであり、今後のシリコンの疲労メカニズムの解明に大きな転機をもたらす非常に重要な成果と考えられる。

5. 主な発表論文等

(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3件)

① Electronic properties of dislocations introduced mechanically at room temperature on a single crystal silicon surface, Masatoshi Ogawa, Shoji Kamiya, Hayato Izumi, Yutaka Tokuda, Physica B, in press. (査読有り)

② Effect of humidity and temperature on the fatigue behavior of polysilicon thin film, Shoji Kamiya, Yusuke Ikeda, Joao Gaspar, Oliver Paul, Sensors and Actuators A, Sensors and Actuators A, 170 (2011), 187–195. (査読有り)

③ Accuracy of the Fatigue Lifetime of Polysilicon Predicted from its Strength Distribution, Vu Le Huy, Joao Gaspar, Oliver Paul, Shoji Kamiya, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 1245 (2010), A17-02. (査読有り)

〔学会発表〕（計 16 件）

- ① Cross comparison of fatigue lifetime testing on silicon thin film specimens, S. Kamiya, T. Tsuchiya, T. Ikehara, K. Sato, T. Ando, T. Namazu, K. Takashima, The 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems MEMS 2011, January 23 - 27, 2011, Cancun, Mexico, 404-407.
- ② Finite fatigue lifetime of silicon under inert environment, S. Kamiya, Y. Ikeda, M. Ishikawa, H. Izumi, J. Gaspar, O. Paul, The 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems MEMS 2011, January 23 - 27, 2011, Cancun, Mexico, 423-425.
- ③ Comparison of fatigue behavior between single and polycrystalline silicon investigated using a novel testing method, Masayoshi Ishikawa, Hayato Izumi, Shoji Kamiya, MRS 2010 Fall Meeting, November 29 - December 3, Boston USA, S9.25.
- ④ Electrical properties of mechanically induced defects in single crystal silicon, Masatoshi Ogawa, Shoji Kamiya, Hayato Izumi, Yutaka Tokuda, The 27th Sensor Symposium on Sensors, Micromachines and Applied Systems, October 14-15, 2010, Shimane, Japan, Book of Abstracts, 55.
- ⑤ 不活性環境下におけるシリコンの疲労寿命定量評価と環境による寿命変化に基づく疲労機構推測の試み, 神谷庄司, 池田祐介, 石川正芳, 泉隼人, ジョアオガスパー, オリバーポール, 日本機械学会第2回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, 2010年10月13～15日, 松江くにびきメッセ, 145-146.
- ⑥ シリコンの疲労メカニズムの描像を目的としたSEM内疲労試験の試み, 平井隆太郎, 梅原徳次, 月山陽介, 泉隼人, 神谷庄司, 2010年9月5～8日, 名古屋工業大学, Vol.8, 251-252.
- ⑦ Statistical evaluation of fracture and fatigue behavior of polysilicon thin films with arbitrary shapes, Vu Le Huy, Joao Gaspar, Oliver Paul, Shoji Kamiya, 日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, 2010年9月5～8日, 名古屋工業大学, Vol.8, 249-250.
- ⑧ 新規疲労試験手法を用いた単結晶および多結晶シリコンの疲労特性の評価, 石川正芳, 池田祐介, 泉隼人, 神谷庄司, 日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, 2010年9月5～8日, 名古屋工業大学, Vol.8, 247-248.
- ⑨ ボッシュプロセスで作製されたMEMS構造体の強度設計法に関する基礎的研究, 永吉径, 神谷庄司, ジョアオガスパー, オリバーポール, 日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, 2010年9月5～8日, 名古屋工業大学, Vol.8, 245-246.
- ⑩ 多結晶シリコン薄膜の疲労挙動に及ぼす環境因子の影響, 池田祐介, ガスパージョアオ, ポールオリバー, 神谷庄司, 日本機械学会東海支部第59期総会講演会講演論文集, 2010年3月9～10日, 名城大学, 425-426.
- ⑪ A novel fatigue test with ramping stress amplitude to evaluate fatigue behavior of polyirilon thin films, Vu Le Huy, Joao Gaspar, Oliver Paul, Shoji Kamiya, The 23rd IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems MEMS 2010, 24-28 January 2010, Hong Kong, China, Technical Digest (2010), 220-223.
- ⑫ Evaluation of fatigue behavior of polysilicon thin films, Taku Kawai, Joao Gaspar, Vu Le Huy, Oliver Paul, Shoji Kamiya, 日本機械学会2009年度年次大会講演論文集, 9月13～16日, 岩手大学, Vol. 6 (2009), 59-60.
- ⑬ ボッシュプロセスで作製されたMEMS構造体の損傷に基づく静的強度予測, 永吉径, 神

谷庄司, ジョアオガスパー, オリバーポール,
日本機械学会2009年度年次大会講演論文集, 9
月13~16日, 岩手大学, Vol. 8 (2009), 59-60.

⑭不活性環境下でのシリコンの疲労挙動, 池
田祐介, Vu Le Huy, 神谷庄司, ガスパージョ
アオ, ポールオリバー, 日本機械学会2009年
度年次大会講演論文集, 9月13~16日, 岩手大
学, Vol. 8 (2009), 37-38.

⑮Prediction of strength and fatigue lifetime of
MEMS structures with arbitrary shapes, T.
Kawai, J. Gaspar, O. Paul, and S. Kamiya, IEEE
Transducers 2009 conference, June 21 – 25, 2009,
Denver, Colorado USA.

⑯シリコン材料の疲労特性に影響を及ぼす諸
因子に関する研究, 河合拓, 池田祐介, 神谷
庄司, ポールオリバー, ガスパージョアオ,
日本機械学会2008年度年次大会講演論文集
Vol.8 (2008), 161-162.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 材料の疲労特性決定方法および疲労
寿命予測方法

発明者: 神谷庄司、池田裕介、ヴレフイ

権利者: 国立大学法人名古屋工業大学

種類: 特許

番号: 特願2010-12493

出願年月日: 2010/01/22

国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神谷 庄司 (KAMIYA SHOJI)

名古屋工業大学大学院工学研究科 教授

研究者番号: 00204628

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

林 高弘 (HAYASHI TAKAHIRO)

豊田中央研究所 研究員

研究者番号: 30324479

徳田 豊 (TOKUDA YUTAKA)

愛知工業大学 工学部 教授

研究者番号: 30078927