

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年 6月12日現在

機関番号：12601  
 研究種目：若手研究（A）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20686024  
 研究課題名（和文）深掘りMEMSトレンチ受光素子集積化初期視覚処理プロセスと  
 動体検出応用  
 研究課題名（英文） A Deep-Trench Optical-Detector Integrated Early Vision Processor  
 and an Application to Motion Detection  
 研究代表者  
 三田 吉郎 (MITA YOSHIO)  
 東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
 研究者番号：40323472

## 研究成果の概要（和文）：

今まで機械構造や受動電子素子としてしか利用されてこなかった三次元 MEMS 構造の壁面に、ダイオードやトランジスタといった能動素子を作りこむことで、他にはない高度な機能をもった新しい集積化 MEMS デバイスを、三次元世界の物体検出という最終アプリケーションを念頭に置いて創成することを提案した。特に、ナノ(100nm クラス)構造を利用した機能的「光イメージャー」の方向に研究を進め、トレンチの幅を可視光波長以下としたデバイスを用いると、物理的構造によって光の偏光に敏感な素子として動作することがわった。学会発表時のデータで 1:4、その後の実験によって、偏光方向の消光比にして 1:20 といった感度のデバイスを作製することに成功した。

## 研究成果の概要（英文）：

An integration scheme is proposed to provide active electron devices (such as diodes and transistors) integrated MEMS-fabricated vertical 3-D surfaces, which have long been used just as a mechanical structure. The team believes that integration of active devices is the key technology to provide much higher functionality to MEMS. A special attention has been paid to the special-DRIE-fabricated nanometric (100nm-class) surface-corrugated PN-junctions to obtain light polarization dependence. An extinction ratio 1:4 has been reported in the conference then ameliorated up to 1:20.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2009年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
2010年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
年度			
年度			
総計	19,500,000	5,850,000	25,350,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学,電子デバイス・電子機器 (5103)

キーワード：電子デバイス・集積回路,MEMS,マイクロ・ナノデバイス, 光物性,三次元形状検出, スマートセンサ情報システム

1. 研究開始当初の背景  
 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)

は、半導体集積回路で培われた加工技術を応用して作製され、シリコンからなる構造体が

主として機械素子として用いられてきた。MEMS に特徴的なここ 10 年来の傾向として、深掘り RIE(DRIE) によって加工された三次元シリコン構造体が有用度を増してきているが、この深掘り構造中に電子部品を集積化する試みとしては、申請者の知る限りではキャパシタ(マイクロアクチュエータやセンサとして利用)、抵抗(ピエゾ抵抗素子やマイクロヒーターとして利用)など、いわゆる受動素子の集積化しか存在しない。

また、一般的にこれまで報告されている三次元シリコン構造は、DRIE に一般的に用いられてきた「ボッシュプロセス」技術の標準レシピの制限により、トレンチ(溝)構造の開口は凡そ  $2\ \mu\text{m}$  以上が常識的な値であった。研究代表者は早期(2004 年)から、精細度を一桁向上させた、開口幅百ナノメートルから数ミクロン且つ、深さは現在の MEMS で一般的な数ミクロンから数十ミクロンという、ナノ開口・深掘り三次元構造が将来重要になると提唱してきており、フランスとの共同研究により、幅 394

ナノメートル、深さ  $40.1\ \mu\text{m}$  という当時世界最高クラスのアスペクト比(1:107)の実例を世界に先駆けて発表してきた。

## 2. 研究の目的

このように、今まで機械構造や受動電子素子としてしか利用されてこなかった三次元 MEMS 構造の壁面に、ダイオードやトランジスタといった能動素子を作りこむことで、他にはない高度な機能をもった新しい集積化 MEMS デバイスを、三次元世界の物体検出という最終アプリケーションを念頭に置いて創成することを提案した。特に、深掘り MEMS 構造の三次元壁面に能動電子素子を集積化することで、MEMS と電子デバイス両方の利点を併せ持つ高機能デバイス群の創成を可能とする汎用プロセス技術を確立し、応用として、三次元物体とその動きの検出を行なう高速イメージングシステムを作製することを目標とした。

## 3. 研究の方法

具体的には、申請者が得意とするシリコン深掘りエッチング技術を応用して、開口寸法百ナノメートル～数  $\mu\text{m}$ 、深さ数  $\mu\text{m}$ ～数十  $\mu\text{m}$  のナノ開口・深掘り三次元構造を作製し、その内壁面上に、固体ソースによる不純物気相拡散法によって、ウェハの深さ方向にダイオードやトランジスタ等の“能動素子”をモノリシック集積化、受光素子として利用する。現在主流の平面(プレーナ)受光素子と比較して、同一面積あたりの高感度化、高 S/N 比が得られ、また、MEMS プロセスを引き続いて行なうことで、スキャナー等の MEMS 素子を集積化した高機能電子デバイスが作製できる。このようにして得られた三次元 ME

MS 電子デバイスを用いた応用例として、車載危険防止システムへの応用を取り上げ、自動車などの移動体に搭載して、歩行者などの危険物体を検知するスマートセンサ情報システムを実現するための基礎研究を、アルゴリズム(トップダウン)と専用デバイス(ボトムアップ)との両面から行うことで目的を達成することとした。

## 4. 研究成果

深掘りナノサイズ構造すなわち、電子デバイスサイズ(1ミクロン以下)のパターン幅でかつマイクロマシンサイズ(40ミクロン以上)の深さを持つ垂直深掘り構造を作製し、機械的な深掘り構造に起因した物理効果によって量的・質的な向上がもたらされる新世代の電気機械デバイスに関する基礎研究ができた。深掘り加工技術としては最小サイズ 170 ナノメートル、深さ 15 ミクロンのトレンチ構造を作製することができるようになった。MEMS 用ディープサブミクロンサイズ(開口幅 100nm 付近)の深掘り構造は、これまでせいぜいアスペクト比 1:10 程度であったが、本研究ではそれより一桁優れた結果を出すことができた。このエッチング技術を基礎に、シリコンの垂直面の表面から不純物拡散を行って PN 接合とした「垂直フォトダイオード」を作製、既存の平面型ダイオードに比較して 25%～80%の効率向上ならびにクロストーク軽減ができました。偏光現象を利用すると、物体の検出、特に同一平面の検出が容易となることが研究を進める中で明らかになったので、「ナノ構造を利用した機能的光イメージャー」の方向に研究を進め、トレンチの幅を可視光波長以下としたデバイスを用いると、物理的構造によって光の偏光に敏感な素子として動作することがわかった。学会発表のデータで 1:4、その後の実験によって、偏光方向の消光比にして 1:20 といった感度のデバイスを作製することに成功し、特性評価を行った。このような深掘り構造はエッチング作製はできるようになったが、非破壊でその形状を評価することはこれまで不可能であったので、MEMS 技術によってこのような微細孔の内壁がプロファイル測定できないかどうかを試みた。電子デバイスは当初の 2 年間は内製にこだわってきたが、東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通じ、任意厚みの SOI (Silicon-on-Insulator) 基板上にパターン解像度  $0.6\ \mu\text{m}$  の集積回路を作製するプロセスファウンドリが利用可能になってきたので、これを光検出部分に応用できることに注目して基礎的な特性評価回路を作製した。動物体検出に関しては、仏国国立情報学研究所(INRIA)とのコラボレーションによって、ステレオビジョンの応用で外部環境の推定を行うプログラムの開発に取

り組み、左右の画像の対応点を高速に抽出できるアルゴリズムを開発した。

#### 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4件)

- [1] Kenichiro Hirose, Yoshio Mita, Yoshiaki Imai, Frédéric Marty, Tarik Bourouina, Kunihiro Asada, Shuichi Sakai, Tadashi Kawazoe and Motoichi Ohtsu, “Polarization transmissive photovoltaic film device consisting of Si photodiode wire-grid”, Journal of Optics A: Pure Appl. Opt. 10 044014 (2008. 04).
- [2] Ryoichi Ohigashi, Katsunori Tsuchiya, Yoshio Mita, and Hiroyuki Fujita, “Electric Ejection of Viscous Inks From MEMS Capillary Array Head for Direct Drawing of Fine Patterns”, Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 17, No.2, pp.272-277 (2008. 04)
- [3] Yifan Li, Yoshio Mita, Leslie I. Haworth, William Parkes, Masanori Kubota, Anthony J. Walton, “Test Structure for Characterizing Low Voltage Coplanar EWOD System”, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions, Vol. 22, No. 1, pp. 88-95 (2009. 02)
- [4] Yoshio Mita, Y. Li, M. Kubota, S. Morishita, W. Parkes, L. I. Haworth, B. W. Flynn, J. G. Terry, T.-B. Tang, A. D. Ruthven, S. Smith and A. J. Walton, “Demonstration of a wireless driven MEMS pond skater that uses EWOD technology”, Journal of Solid-State Electronics, Vol. 53 pp. 798-802 (2009. 05. 29)

[学会発表] (計16件)

- [1] Yoshiaki Imai, Yoshio Mita, Kenichiro Hirose, Masanori Kubota and Tadashi Shibata, “Surface Corrugated P-N Junction on Deep Submicron Trenches for Polarization Detection With Improved Efficiency”, Asia-Pacific Conference of Transducers (APCOT), Taiwan (2008. 06).
- [2] Yoshio Mita, Yifan Li, Masanori Kubota, William Parkes, Leslie I. Haworth, Brian W. Flynn, Jonathan G. Terry, T. B. Tang, Alec Ruthven, Stewart Smith, and Anthony J. Walton, “Wireless Driven EWOD Technology for MEMS Pond Skater

Application”, 38<sup>th</sup> European Solid-State Device Research Conference (ESSDERC 2008), Edinburgh, UK, Sep. 16-19, pp.306-309 (2008. 09)

- [3] Yoshio Mita, L. Bouraoui et M. Parent, “Vision stéréo pour la détection d’obstacles vulnérables: méthode de <<recherche du voisin>> pour l’amélioration de la précision de mise en correspondance(仏語)”, Journée Francophone de la Recherche(フランス語による化学シンポジウム), Novembre 28, 2008, 東京(日本)
- [4] 金俊亨、久保田雅則、肥後昭男、三田吉郎、 “柔らかいシリコンマイクロ構造とその神経信号解析への応用”、応用物理学会第二回集積化MEMS技術研究会、2008年11月21、東京大学(2008. 11)\*研究奨励賞受賞
- [5] Satoshi Morishita, JunHyong Kim, Frederic Marty, Yifan Li, Anthony J. Walton, and Yoshio Mita, “A Three-Dimensional Silicon Shadowmask for Patterning On Trenches with Vertical Walls”, The 15<sup>th</sup> International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers ’09), June 21-25, Denver, USA, pp. 1608-1611 (2009. 06).
- [6] Jun-Hyoung Kim, Masanori Kubota, Akio Higo, Hideki Abe, Yoshitaka Oka, and Yoshio Mita, “A Curvature Controlled Flexible Silicon Micro Electrode Array to Wrap Neurons for Signal Analysis”, The 15<sup>th</sup> International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers ’09), June 21-25, Denver, USA, pp. 1810-1813 (2009. 06).
- [7] K. Takahashi, I. W. Jung, A. Higo, Yoshio Mita, H. Fujita, H. Toshiyoshi, and O. Solgaard, “A CMOS Compatible Low Temperature Process for Photonic Crystal MEMS Scanner”, IEEE/LEOS International Conference On Optical MEMS and Their Applications (OMEMS 2009), pp. 77-78 (2009. 08)
- [8] 三田吉郎、「高機能MEMS三次元構造形成のためのプロセス技術(招待講演)」、応用物理学会秋季全国大会(2009. 9)
- [9] Yoshio Mita, Jean-Bernard Pourciel, Masanori Kubota, Akio Higo, Shaojun Ma, Satoshi Morishita, Masakazu Sugiyama, and Takahisa Masuzawa, “An Active Swing Probing Method for High Aspect Ratio Deep Hole

Profiler”, 20<sup>th</sup> Workshop on Micromachining, Micromechanics and Microsystems, (MME 2009), September 20-22, Toulouse, France D12 (2009.09).

- [10] Yoshio Mita, Jean-Bernard Pourciel, Masanori Kubota, Shaojun Ma, Akio Higo, Agnes Tixier-Mita, Satoshi Morishita, Masakazu Sugiyama, et Takahisa Masuzawa, “La Méthode “Swing-Probing” Pour la Profilométrie de Microtrous Très Profonds”, Journée Francophone de la Recherche (フランス語による科学シンポジウム), 14 Novembre 2009, Maison Franco-Japonaise, Tokyo, Japon (2009.11).
- [11] Masanori Kubota, Yoshio Mita, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, “A bulk micromachined vertical nano-gap Pirani wide-range pressure test structure for MEMS-integration”, 23<sup>rd</sup> IEEE International Conference on Microelectronic Test Structures (ICMTS), 22-25 March, Hiroshima, Japan, pp. 14-17 (2010.03)
- [12] Yoshio Mita, Jean-Bernard Pourciel, Masanori Kubota, Agnes Tixier-Mita, Satoshi Morishita, and Takahisa Masuzawa, “A Balanced-SeeSaw MEMS Swing Probe for Vertical Profilometry of Deep Micro Structures”, 23<sup>rd</sup> IEEE International Conference on Microelectronic Test Structures (ICMTS), 22-25 March, Hiroshima, Japan, pp. 58-63 (2010.03)
- [13] Yoshio Mita, “More-than-VLSI” Devices by MEMS Deep Etching Technology” (招待講演), IEICE ICD symposium in Vietnam (ICDV), Ho Chi Minh City, Vietnam, 16-18 Aug. 2010 (2010.08).
- [14] Satoshi Morishita, Masanori Kubota, Isao Mori, Kunihiro Asada, Frederic Marty, and Yoshio Mita, “A Bridge-Connected Isolated Silicon Islands Post-Processing Method for Fine-Grain-Integrated  $\pm 10V$ -Operating CMOS-MEMS by Standard 5V CMOS Process Technology”, 21<sup>st</sup> Workshop on Micromechanics and Microsystems Workshop, (MME 2010), September 27-29, Enschede, Netherlands, A08 pp.48-51 (2010.09)
- [15] Yoshio Mita, Satoshi Morishita, Isao Mori, and Masanori Kubota,

“Value-Added VLSI devices by MEMS technology (Invited)”, AWAD 2011, June 28-July 1, Daejeon, Korea, (2011.07)

- [16] Yoshio Mita, “Autonomous Distributed MEMS Robots as Technology Drivers” (招待講演), Japan-France Frontiers of Engineering (JFFoE), Grenoble, France, 11-13 Oct. 2010 (2010.10).

[図書] (計3件)

- [1] 吉川昌範(編著) 三田吉郎他(分担執筆), “最新機械・機器要素技術” 2章10節 「センサー」, NGT コーポレーション (2008)
- [2] 吉川昌範(編著) 三田吉郎他(分担執筆), “最新機械・機器要素技術” 3章15節 「センサ・アクチュエータの加工(光学リソ含む)」, NGT コーポレーション (2008)
- [3] 三田吉郎他(分担執筆), “ドライ・ウェットエッチング技術全集”, 4章9節 「MEMSにおける高アスペクト、ノッチフリーのドライエッチング加工」技術情報協会(2009.03)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○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]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三田 吉郎 (MITA YOSHIO)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号: 40323472

(2)研究分担者  
無し ( )

研究者番号：

(3)連携研究者  
無し ( )

研究者番号：