

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 8 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360149

研究課題名(和文)異種機能素子統合設計技術と人体行動予知システム用チップの研究

研究課題名(英文)The study on human monitoring chip and multi-physics simulation technology

研究代表者

町田 克之(MACHIDA, KATSUYUKI)

東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・連携教授

研究者番号：90597676

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円、(間接経費) 3,990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は新しい人体検知用CMOS-MEMSを提案・実施した。成果は、i)回路シミュレータ上でMEMSとLSIを同時にシミュレーションし、かつレイアウト可能な方法を世界で初めて構築、ii)新たなMEMSを提案し、設計・試作実証、iii)アレイ型MEMS加速度センサの検討を行い、1Gから20Gまでの検出実現、iv) Sub-1Gの加速度センサを検討し1mm角でセンサ感度 $0.78 \mu\text{g}/\text{Hz}^{1/2}$ を実現、v)汎用センサ回路を提案検討し、試作実証、vi)振動発電デバイスを提案し、 $2 \times 4 \text{mm}$ 角、周波数88Hz、電力 $0.43 \mu\text{W}$ の設計値取得、である。以上から、CMOS-MEMSの基本技術構築をできたと考える。

研究成果の概要(英文)：The research was performed to investigate multi-physics simulation, MEMS design, and CMOS sensor circuit technology for a new human monitoring CMOS-MEMS device. The results are as follows; i) the multi-physics simulation platform for the technology was developed to understand simultaneously both the mechanical and electrical behaviors of MEMS stacked on LSI for the first time. ii) the proposed MEMS structure by the post-CMOS process on CMOS circuit and the proposed arrayed CMOS-MEMS accelerometer with a wide detection range were developed. iii) we confirmed the realization of the sub-1G MEMS accelerometer. iv) the versatile capacitive CMOS-MEMS sensor circuit to a MEMS sensor was proposed. Using our simulation platform and fabrication trials, we confirmed the validity of the technical concept. v) the proposed equivalent circuit model for vibration device was confirmed by simulation. As a result, it is confirmed that the basic technology for the integrated CMOS-MEMS device was established.

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子デバイス・電子機器

キーワード：統合設計 CMOS MEMS 加速度センサ センサ回路 CMOS-MEMS

## 1. 研究開始当初の背景

近年、半導体の研究開発において、微細化トレンドを推進する More Moore と Beyond CMOS という開発軸がある一方、異種機能を融合した More than Moore の開発軸がある。代表研究者は、More than Moore の開発軸が提唱される以前の 1997 年頃から異種機能集積化を想定した MEMS と LSI の融合した集積化 CMOS-MEMS の研究開発を行ってきた [A1]。集積化 CMOS-MEMS 技術は、次世代のエレクトロニクス産業のみならず、細胞操作などのバイオ応用や、先進医療応用、原子・分子を用いた情報記録技術など広範な学術研究を支える基盤技術となる。また、海外の研究動向をみると、集積化 CMOS-MEMS の研究を進める端緒にある。特に、ベルギーの IMEC では CMORE-program と称し、集積化 CMOS-MEMS の拠点となる勢いである。さらに、台湾でも TSMC が各大学向けに LSI の上に MEMS を作製するサービスを開始し、台湾の大学が活性化し始めている。しかしながら、世界中のいずれの取り組みも LSI 技術、MEMS 技術を分担で行い、単に、チップの「貼り付け」もしくは「積層」により組み合わせただけでなく、学問的なディシプリン構築に貢献するところが多いとは言えない。

我々は、このような現状を鑑み、集積化 CMOS-MEMS 技術の進展のためには LSI と MEMS やセンサを同時に解析可能な統合設計論の構築が必要と考えた。代表研究者である町田は、これまで LSI と MEMS 技術の研究開発に従事し、連携研究者である益、石原は LSI 回路設計技術の研究、年吉は MEMS 技術の研究に従事し、これらの技術を利用して、実際に、LSI 回路シミュレータ (SPICE) 上で LSI と MEMS の同時シミュレーションの可能性を追求してきた。その結果、MEMS の物理モデルを導入可能な変換方法を提案し、SPICE 上で設計可能であることを確認した [A2]。この研究成果により多くの物理モデルが導入可能であることは言うまでもなく、CMOS-MEMS に関する新たな学問的体系と新しいデバイスの実現可能性を確認した。すなわち、統合設計技術の見通しを得たことにより、異種機能のシミュレーションが可能である。たとえば、本技術を用いて、life-log を可能にする人体行動予測システム用チップを新たな提案とし、その研究を実施する。チップ機能として人体行動をアナログ的に感知する従来に無い容量型センサや、チップの電源を不要とする蓄電機能の可能性を、統合設計と試作により見通しを立てる。本統合設計技術構築とセンサの研究にあたっては、幸い研究代表者らのグループは集積回路をはじめとする LSI 技術と MEMS の設計・製作を行える研究環境を有しており、集積化 CMOS-MEMS のための設計ライブラリを速やかに構築できる連携体制と CMOS-MEMS デバイスを研究できる環境を有している。

[A1] K. Machida, et al., *IEEE Trans. Electron Devices* **48**, 2273 (2001)

[A2] T. Konishi, et al., *SSDM2010*, 1158, Tokyo, Japan, September 24, 2010.

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、LSI と MEMS を融合する集積化 CMOS-MEMS 技術のための新たな統合設計・解析技

術を「multi-physics 理工学」として体系的に構築し、その汎用化技術を推進することにある。構築した本技術を用いて、従来にない人体行動予測システム用の超小型集積化 CMOS-MEMS センサチップを提案し、その実現に向けた研究を実施する。統合設計・解析技術とは、電気、機械、光等の複数の物理現象をモデル化し、これらを LSI 設計と同時に解析可能にする手法であり、国内外を見てもその実施例はない。本技術の構築により、あらゆる MEMS と LSI との融合が容易となり、人間行動支援エレクトロニクスとしては今までにないデバイスの創出が可能になる。特に、人間行動予測システムには、MEMS をはじめ物理化学情報を検知する種々の複数のセンサと LSI とを融合したデバイスが必要である。そこで、本研究では「multi-physics 理工学」の構築だけでなく新機能デバイス物理の領域を開拓することを学術的特色とする。

## 3. 研究の方法

本研究の研究期間を 3 年間とし、最初の 1 年目に (1) 統合設計技術の課題を体系的に抽出すると共に、(2) マルチフィジックス理工学の基盤構築を図った。具体的な統合設計技術の対象として、(3) 人体行動予測システム用チップの基本となる MEMS の機械モデルと MEMS 用回路の検討を行い加速度センサデバイスの設計を検討した。さらに、(4) 種々の物理モデルを加味した CMOS-LSI 回路設計環境での統合シミュレータの開発を平行して実施した。また、(5) 実際に統合設計技術の課題の検証と完成度を判断するために 0.35  $\mu$ m BiCMOS-LSI 及び MEMS 試作を実施した。2 年目には、(6) 試作したチップの評価、解析を実施し人体行動予測チップの研究とライブラリの完成度を検証した。また、(7) センサ回路等の検討を行い、回路構成法を実験的に検証した。3 年目には、これまでに得られた結果の下で、(8) 人体行動予測システムのための集積化 CMOS-MEMS チップ化の試作を実施し、その実現を図ること及びライブラリ完成を目標とした。

## 4. 研究成果

本研究は、LSI と MEMS を融合する集積化 CMOS-MEMS 技術のための新たな統合設計・解析技術を構築することを目的とし、従来にない人体行動予測システム用の超小型集積化 CMOS-MEMS センサチップを提案し、その実現に向けた研究を実施した。平成 23 年度から平成 25 年度までに得られた成果は、以下である。

### D) 統合設計技術

LSI 回路シミュレータ上で MEMS と LSI を同時にシミュレーションしかつレイアウトまで可能な方法を基本技術として世界で初めて構築した。LSI のシミュレータとして HDL である Verilog-a で解析可能なモデル化を検討した。対象として MEMS の機械的基本モデル (静電アクチュエータ) から等価回路モデルを提案し、実際に共振子に適用し最終的な MEMS のレイアウトまで出力可能としシミュレーションと実験により検証した。本成果を論文誌である IEEE/ASME Journal of

Microelectromechanical Systems に投稿し 採択掲載された[5]。

#### II) CMOS-MEMS に適用するための MEMS 構造の提案

CMOS 上に MEMS 構造を実現するためのプロセスとデバイス構造を提案した。対象として人体検知デバイスの加速度センサに対して検討した。課題と特徴は、(i)CMOS-LSI プロセス終了後、CMOS トランジスタにダメージを与えることなく MEMS 構造を実現する、(ii)密度が重い Au を用いることにより加速度センサ錘面積縮小化、(iii)強加振でも壊れないように錘の上部にストッパー設置、(iv)MEMS を駆動するパネと錘の設計の自由度を得るために Au の積層構造提案採用、(v)錘が加振により下部電極に固着する (Stiction) ことを防ぐために絶縁体である SiO<sub>2</sub> 膜を下部電極上部に形成、(vi)MEMS 加速度センサの直下に CMOS-LSI が形成、していることである。以上の特徴によりこのデバイスを集積化することによりアレイ型集積化 CMOS-MEMS 加速度センサを実現できる。

本検討を設計・試作を行い実証した。本成果を論文誌である Japanese Journal of Applied Physics に投稿し 採択掲載された[4]。

#### III) アレイ型 MEMS 加速度センサの検討

3X3 アレイ型 CMOS-MEMS 加速度センサを検討した。前記で提案した構造体をアレイ化することにより実現した。これまで研究開発してきた統合設計技術[5]に従って、この MEMS 加速度センサの提案した等価回路のもとに 9 個のデバイスを同時にシミュレーションを実施し設計を行った。4mm 角のチップ内に 9 個の MEMS 加速度センサを試作し、実現した。MEMS 加速度センサの錘面積は最大で 200 μm 角とし、それぞれの加速度センサの小型化も実現した。評価結果から、9 個すべてのセンサの検出動作を確認し、人体検知に必要な 1G から 20G までの検出を実現できた。また、設計に使用した統合設計技術の妥当性も確認し本成果を論文誌である Japanese Journal of Applied Physics に投稿し 採択掲載された[3]。

#### IV) Sub-1G の加速度センサの可能性検討

人体検知センサとして、1G 以下のセンシングが可能なデバイスが必須である。従来の加速度センサは Si をベースにしているために小型、かつ、sub-1G の検知範囲に限界があった。今回、Au を用いたことにより小型で sub-1G のデバイスを検討した。その結果、従来にない 1mm 角という小型でブラウニアンノイズ (センサの感度を示す指標) 0.78 μg/Hz<sup>1/2</sup> を実現し、sub-1G の検出が可能であることを確認した。これは既存の加速度センサのブラウニアンノイズより 3 桁小さい値である。今後の人体検知センサのさらなる検出範囲拡大に期待できるだけでなく、これまでの Si (錘) から新たな微小検知センサの世界を構築するものと期待できる。本成果を速報論文誌である Applied Physics Letters, に投稿し 採択掲載された[2]。

#### V) MEMS センサ用汎用センサ回路の検討

MEMS センサの信号を検出するセンサ回路は、従来は MEMS 構造に依存したものである。たとえば、汎用 MEMS センサとして櫛歯型 MEMS が

ある。本センサのセンサ回路は櫛歯構造に依存するセンサ回路であり汎用的なセンサ回路ではなく CMOS-MEMS として種々の MEMS センサに対応できるものではない。我々は、MEMS センサの構造に依存しないセンサ回路を提案開発した。提案したセンサ回路は LSI 側に reference 容量を設け MEMS の容量と比較することによりセンサレベルを判定するものである。実際に MEMS とセンサ回路を同時にシミュレーションを行い CMOS-MEMS 加速度センサの試作を実施した。その結果、センサ回路の検出新語がシミュレーション結果と一致するだけでなく MEMS の挙動を正確に表現していることを確認し、本センサ回路の妥当性を確認した。本成果を論文誌である Japanese Journal of Applied Physics に投稿し 採択掲載された[1]。

#### VI) エネルギーハーベスティングデバイスの検討

人体検知チップの最終形態は、人に張り付けた状態であり、電源は自己解決が求められる。そのためにはエネルギーハーベスティングデバイスが必須である。そこでこれまでに検討してきた統合設計技術およびデバイス技術を用いて、その実現の可能性を基本検討を実施した。その結果、エネルギーハーベスティングデバイス (EH デバイス) の等価回路モデルを世界で初めて提案しシミュレーションにより等価回路モデルの妥当性を確認した。また、集積化に対応したデバイス構造を提案し設計を完了した。実際に、2x4mm<sup>2</sup> の大きさで周波数 88Hz にて電力 0.43 μW の設計値を得た。以上から、人体検知デバイスの最終形態である集積化 CMOS-MEMS センサの基本技術を構築できたと考える。

#### 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 5 件)

[1]Toshifumi Konishi, Daisuke Yamane, Takaaki Matsushima, Kazuya Masu, Katsuyuki Machida, and Hiroshi Toshiyoshi, "A capacitive CMOS-MEMS sensor designed by multi-physics simulation for integrated CMOS-MEMS technology," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 53, 2014, pp. 01EE15.1-7. (Special issue on SSDM 2013) (DOI: 10.7567/JJAP.53.04EE15)

[2]Daisuke Yamane, Toshifumi Konishi, Takaaki Matsushima, Katsuyuki Machida, Hiroshi Toshiyoshi and Kazuya Masu, "Design of sub-1g microelectromechanical systems accelerometers," Applied Physics Letters, Vol. 104, Issue 7, pp. 074102, Feb. 2014. (DOI: 10.1063/1.4865377)

[3]Toshifumi Konishi, Daisuke Yamane, Takaaki Matsushima, Kazuya Masu, Katsuyuki Machida, and Hiroshi Toshiyoshi, "An arrayed accelerometer device of a wide range of detection for integrated CMOS-MEMS technology," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 53, pp. 027202, Jan. 2014. (DOI: 10.7567/JJAP.53.027202)

[4]Toshifumi Konishi, Daisuke Yamane, Takaaki Matsushima, Gou Motohashi, Ken Kagaya, Hiroyuki Ito, Noboru Ishihara, Hiroshi Toshiyoshi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "Novel Sensor Structure and its Evaluation for Integrated Complementary Metal Oxide Semiconductor Microelectromechanical Systems Accelerometer," Japanese Journal of Applied Physics (special issue on MNC 2012), vol. 52, no. 6, pp. 06GL04, Jun. 2013. (DOI:10.7567/JJAP.52.06GL04)

[5]Toshifumi Konishi, Katsuyuki Machida, Satoshi Maruyama, Makoto Mita, Kazuya Masu, and Hiroshi Toshiyoshi, "A Single-platform Simulation and Design Technique for CMOS-MEMS Based on a Circuit Simulator with Hardware Description Language," IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical Systems, vol. 22, no. 3, pp. 755-767, Jun. 2013. (DOI:10.1109/JMEMS.2013.2243111)

#### 〔学会発表〕

##### 国際会議（計 17 件）

[1]Katsuyuki Machida, Toshifumi Konishi, Daisuke Yamane, Hiroshi Toshiyoshi, and Kazuya Masu, "Integrated CMOS-MEMS Technology and its Application," The 2nd Int. Symp. on More-than-Moore, the 225th Meeting of the Electrochemical Society, Orland, Florida, US, May 11-16, 2014.(Invited)

[2]Daisuke Yamane, Toshifumi Konishi, Takaaki Matsushima, Hiroshi Toshiyoshi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "A Sub-1G Capacitive Sensor for Integrated CMOS-MEMS Accelerometers," in Proc. 7th Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies (APCOT2014), June 29 - July 2, 2014, EXCO, Daegu, Korea.

[3]Daisuke Yamane, Toshifumi Konishi, Takaaki Matsushima, Hiroshi Toshiyoshi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "A Tri-Axis MEMS Capacitive Sensor Using Multi-Layered High-density Metal for an Integrated CMOS-MEMS Accelerometer," in Proc. 2014 IEEE International Interconnect Technology Conference (IITC), San Jose, CA, USA, May 20-23, 2014.

[4]Daisuke Yamane, Takaaki Matsushima, Toshifumi Konishi, Hiroshi Toshiyoshi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "A Dual-Axis MEMS Inertial Sensor Using Multi-Layered High-density Metal for an Arrayed CMOS-MEMS Accelerometer," in Proc. Symp. on Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP2014), Cannes, Cote d'Azur, France, Apr. 1-4, 2014, pp.69-72.

[5]Daisuke Yamane, Toshifumi Konishi, Takaaki Matsushima, Gou Motohashi, Ken Kagaya, Hiroyuki Ito, Noboru Ishihara, Hiroshi Toshiyoshi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "Sub-1G MEMS Accelerometer," in Proc. IEEE SENSORS 2013, USA, Nov. 3-6, 2013, pp.171-174.

[6]Toshifumi Konishi, Daisuke Yamane, Takaaki Matsushima, Satoshi Maruyama, Ken Kagaya, Hiroyuki Ito, Noboru Ishihara, Hiroshi Toshiyoshi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "Novel Sensor Circuits Design Using Multi-physics Simulation for

CMOS-MEMS Technology," 2013 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM 2013), Fukuoka, Japan, Sep. 24-27, 2013, G-4-2.

[7]Hiroshi Toshiyoshi, Toshifumi Konishi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "A Mixed-Design Technique for Integrated MEMS using a Circuit Simulator with HDL," in Proc. 20th Int. Con. Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES 2013), Poland, Jun. 20-22, 2013(invited plenary)

[8]Daisuke Yamane, Toshifumi Konishi, Takaaki Matsushima, Gou Motohashi, Ken Kagaya, Hiroyuki Ito, Noboru Ishihara, Hiroshi Toshiyoshi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "AN ARRAYED MEMS ACCELEROMETER WITH A WIDE RANGE OF DETECTION," in Proc. 17th Int. Conf on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2013), Barcelona, Spain, pp. 22-25, Jun. 16-20, 2013

[9]Kazuya Masu, Noboru Ishihara, Toshifumi Konishi, Katsuyuki Machida, and Hiroshi Toshiyoshi, "Challenges in Integration of Diverse Functionalities on CMOS," 18th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC 2013), Yokohama City Japan, pp. 390-393, Jan. 22-25, 2013 (invited).

[10]Hiroshi Toshiyoshi, Toshifumi Konishi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "A Multi-Physics Simulation Technique for Integrated MEMS," 2012 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM 2012), San Francisco, CA, USA, Dec. 10-12, 2012 (invited).

[11]Kazuya Masu, Toshifumi Konishi, Katsuyuki Machida, and Hiroshi Toshiyoshi "How can we bridge the gap between photonics and Si CMOS LSI? (Invited Paper)," The 2nd International Symposium on Photonics and Electronics Convergence-Advanced Nanophotonics and Silicon Device Systems-(ISPEC 2012), Dec. 3-5, 2012, Tokyo, Japan, Paper E-2.

[12]Daisuke Yamane, Takaaki Matsushima, Toshifumi Konishi, Gou Motohashi, Hiroyuki Ito, Noboru Ishihara, Hiroshi Toshiyoshi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "Evaluation of a Capacitive Sensor with a Gold Proof Mass Toward Integrated CMOS-MEMS Accelerometers," 25th Int. Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2012), Kobe, Japan, Oct. 30-Nov. 2, 2012.

[13]Toshifumi Konishi, Katsuyuki Machida, Kazuya Masu, and Hiroshi Toshiyoshi, "Multi-physics Equivalent Circuit Models for MEMS Sensors and Actuators," The 1st Int. Symp. on More-than-Moore, the 222nd Meeting of the Electrochemical Society / The 2012 Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME), Hawaii, US, Oct. 7-12, 2012 (invited).

[14]Daisuke Yamane, Takaaki Matsushima, Toshifumi Konishi, Gou Motohashi, Hiroyuki Ito, Noboru Ishihara, Hiroshi Toshiyoshi, Katsuyuki Machida, and Kazuya Masu, "A Novel Sensor Structure and its Fabrication Process for Integrated CMOS-MEMS Accelerometer," 2012 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM 2012), Kyoto Int. Conf. Center, Kyoto, Japan, Sep. 25-27, 2012.

[15]Toshifumi Konishi, Satoshi Maruyama, Makoto Mita, Daisuke Yamane, Hiroyuki Ito, Katsuyuki Machida, Noboru Ishihara, Kazuya Masu, Hiroyuki Fujita, and Hiroshi Toshiyoshi, "A CMOS-MEMS Design Technique based on an Electrical Circuit Simulator with Hardware Description Language," 2012 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM 2012), Kyoto Int. Conf. Center, Kyoto, Japan, Sep. 25-27, 2012.

[16] Katsuyuki Machida, Hiroki Morimura, and Kazuya Masu, "Integrated CMOS-MEMS Technology and its Application", 2011 IEEE International Interconnect Technology Conference for Advanced Metallization, Dresden, Germany, May 8, 2011. (Invited).

[17] Katsuyuki Machida, Hiroki Morimura, and Kazuya Masu, "Integrated CMOS-MEMS Technology and its Application", The 9<sup>th</sup> International Symposium & Exhibition in Korea, Korea, August 24, 2011. (Invited).

#### 国内講演会、研究会、シンポジウム (計 31 件)

[18]山根 大輔, 小西 敏文, 松島 隆明, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「MEMS 加速度センサによる Sub-1G 検出の基礎検討」, 平成 26 年電気学会全国大会, 2014 年 3 月 18 日-20 日, (於 愛媛大学城北キャンパス) 53-C1 3-128

[19]加賀谷 賢, 小西敏文, 山根 大輔, 松島 隆明, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「エネルギーハーベスティングデバイスの検討(2)」, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 2014 年 3 月 17 日-20 日, (於 青山学院大学相模原キャンパス) 19p-PG3-3

[20]小西 敏文, 加賀谷 賢, 山根 大輔, 松島 隆明, 伊藤 浩之, 石原 昇, 益 一哉, 町田 克之, 年吉 洋, 「エネルギーハーベスティングデバイスの検討(3)」, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 2014 年 3 月 17 日-20 日, (於 青山学院大学相模原キャンパス) 19p-PG3-4

[21]松島 隆明, 小西 敏文, 山根 大輔, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「アレイ型 MEMS 加速度センサ-2 軸 MEMS 加速度センサの検討-」, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 2014 年 3 月 17 日-20 日, (於 青山学院大学相模原キャンパス) 19p-PG3-2

[22]山根 大輔, 小西 敏文, 松島 隆明, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「Sub-1G MEMS 加速度センサの検討」, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 2014 年 3 月 17 日-20 日, (於 青山学院大学相模原キャンパス) 19p-PG3-1

[23]小西 敏文, 山根 大輔, 松島 隆明, 丸山 智史, 加賀谷 賢, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「マルチフィジクスシミュレーションを用いた集積化 CMOS-MEMS 技術のためのセンサ回路の検討」, 応用物理学会第 5 回集積化 MEMS シンポジウム, 2013 年 11 月 5 日-7 日 (於 仙台国際センター) [6PM3-PIM-001]

[24]山根 大輔, 小西 敏文, 松島 隆明, 加賀谷 賢, 佃 真文, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「アレイ型 MEMS 加速度センサの特性評価」, 応用物理学会第 5 回集積化 MEMS シンポジウム, 2013 年 11 月 5 日-7 日 (於 仙台国際センター) [6PM3-PIM-002]

[25]加賀谷 賢, 小西 敏文, 山根 大輔, 松島 隆明, 佃 真文, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「エネルギーハーベストデバイスの小型化の検討」, 応用物理学会第 5 回集積化 MEMS シンポジウム, 2013 年 11 月 5 日-7 日 (於 仙台国際センター) [6PM3-PIM-003]

[26]小西 敏文, 山根 大輔, 松島 隆明, 町田 克之, 益 一哉, 年吉 洋, 「CMOS と MEMS 集積のためのシミュレーション解析 -集積化 CMOS-MEMS デバイス実現に向けて-」, 電子情報通信学会シリコン・フォトニクス研究会, 2013 年 10 月 18 日 (於 東京工業大学) SIPH2013-99.

[27]小西 敏文, 山根 大輔, 松島 隆明, 丸山 智史, 加賀谷 賢, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「集積化 CMOS-MEMS 加速度センサ回路の検討」, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 2013 年 9 月 18 日 (於 同志社大学) 18p-P11-3.

[28]山根 大輔, 小西 敏文, 松島 隆明, 加賀谷 賢, 佃 真文, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「アレイ型 MEMS 加速度センサの基本特性評価」, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 2013 年 9 月 18 日 (於 同志社大学) 18p-P11-4.

[29]加賀谷 賢, 小西 敏文, 山根 大輔, 松島 隆明, 佃 真文, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「エネルギーハーベストデバイスの検討(1)」, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 2013 年 9 月 18 日 (於 同志社大学) 18p-P11-5.

[30]佃 真文, 山根 大輔, 小西 敏文, 松島 隆明, 加賀谷 賢, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「アレイ型 MEMS 加速度センサの基礎検討」, 平成 25 年度電気学会総合研究会, [MSS-13-001], 2013 年 8 月 8 日 (於東京工科大学).

[31]山根 大輔, 小西 敏文, 松島 隆明, 加賀谷 賢, 佃 真文, 伊藤 浩之, 石原 昇, 年吉 洋, 町田 克之, 益 一哉, 「金メッキ集積化 CMOS-MEMS によるアレイ型加速度センサの小型化」, 応用物理学会第 4 回集積化 MEMS 技術研究ワークショップ, p.7, 2013 年 7 月 26 日 (於 大阪府立大学).

[32]小西 敏文, 丸山 智史, 山根 大輔, 松島 隆明, 町田 克之, 益 一哉, 年吉 洋, 「回路シミュレータを用いた集積化 CMOS-MEMS のための統合設計環境の構築」, 応用物理学会第 4 回集積化 MEMS 技術研究ワークショップ, p.9, 2013 年 7 月 26 日 (於 大阪府立大学).

[33]松島隆明, 小西敏文, 本橋剛, 山根大輔, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉, 「アレイ型 CMOS-MEMS 加速度センサの検討 3」, 2012 年秋期第 73 会応用物理学会学術講演会, 2012 年 9 月 11 日-14 日(於 愛媛大学).

[34]本橋剛, 小西敏文, 松島隆明, 山根大輔, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉,

「アレイ型 CMOS-MEMS 加速度センサの検討 4」, 2012 年秋期第 73 会応用物理学会学術講演会, 2012 年 9 月 11 日-14 日(於 愛媛大学).

[35]山根大輔, 本橋剛, 小西敏文, 松島隆明, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉, 「アレイ型 CMOS-MEMS 加速度センサの検討」, 応用物理学会第 3 回集積化 MEMS 技術研究ワークショップ, 2012 年 7 月 20 日(於 岩手県雫石).

[36]加賀谷賢, 小西敏文, 山根大輔, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉, 「統合設計技術のための MEMS 加速度センサのモデルの検討」, 応用物理学会第 4 回集積化 MEMS シンポジウム, IM1-5, 2012 年 10 月 23 日-24 日(於 北九州国際会議場).

[37]本橋剛, 小西敏文, 松島隆明, 山根大輔, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉, 「0.35  $\mu$ m CMOS-LSI による MEMS センサ用 VCO 回路の検討」, 応用物理学会第 4 回集積化 MEMS シンポジウム, IM3-5, 2012 年 10 月 23 日-24 日(於 北九州国際会議場).

[38]小西敏文, 丸山智史, 三田信, 山根大輔, 伊藤浩之, 町田克之, 石原昇, 益一哉, 藤田博之, 年吉洋, 「ハードウェア記述言語を用いた集積化 CMOS-MEMS 統合設計技術」, 応用物理学会第 4 回集積化 MEMS シンポジウム, IM1-4, 2012 年 10 月 23 日-24 日(於 北九州国際会議場).

[39]山根大輔, 本橋剛, 小西敏文, 松島隆明, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉, 「アレイ型 CMOS-MEMS 加速度センサのためのデバイスの検討」, 応用物理学会第 4 回集積化 MEMS シンポジウム, IM3-4, 2012 年 10 月 23 日-24 日(於 北九州国際会議場).

[40]小西敏文, 山根大輔, 本橋剛, 加賀谷賢, 松島隆明, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉, 「アレイ型 MEMS 加速度センサの設計」, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会・合同セッション L, 29p-PA4-5, 2013 年 3 月 29 日(於 神奈川工科大学).

[41]山根大輔, 小西敏文, 松島隆明, 本橋剛, 加賀谷賢, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉, 「アレイ型 MEMS 加速度センサの検討」, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会・合同セッション L, 29p-PA4-6, 2013 年 3 月 29 日(於 神奈川工科大学).

[42]加賀谷賢, 小西敏文, 山根大輔, 本橋剛, 松島隆明, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉, 「アレイ型 CMOS-MEMS 加速度センサのためのデバイスの評価」, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会・合同セッション L, 29p-PA4-4, 2013 年 3 月 29 日(於 神奈川工科大学).

[43]年吉洋, 小西敏文, 町田克之, 益一哉, 「SPICE 環境下での MEMS 設計 MEMS Design in SPICE Environment」, 2013 年春季応用物理学会 合同セッション L, 27p-G9-5, 2013 年 3 月 27 日(於 神奈川工科大学)(invited).

[44]町田克之, 小西敏文, 山根大輔, 年吉洋, 益一哉, 「集積化 CMOS-MEMS 技術の検討」, 平成 25 年度電気学会全国大会・シンポジウム S24 ワイヤレス通信応用 RF-MEMS 技術, 3-S24-1, 2013 年 3 月 22 日(於 名古屋大学).

[45]小西敏文, 本橋剛, 松島隆明, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉, 「アレイ型 CMOS-MEMS 加速度センサの検討(2)」, 第 59 回応用物理学関係連合講演会, pp. 22-020, 2012 年 3 月 15 日(於 早稲田大学)

[46]本橋剛, 小西敏文, 松島隆明, 伊藤浩之, 石原昇, 年吉洋, 町田克之, 益一哉, 「アレイ型 CMOS-MEMS 加速度センサの検討(1)」, 第 59 回応用物理学関係連合講演会, pp. 22-019, 2012 年 3 月 15 日(於 早稲田大学)

[47]小西敏文, 丸山智史, 松島隆明, 三田信, 町田克之, 伊藤浩之, 石原昇, 益一哉, 藤田博之, 年吉洋, 「集積化 CMOS-MEMS のための統合設計技術の検討(2)」, 第 72 回応用物理学会学術講演会, pp. 22-014, 2011 年 8 月 30 日(於 山形大学)

[48]町田克之, 「集積化 CMOS-MEMS 技術とシミュレーションへの期待」, 第 4 回 MemsOne 技術交流会、マイクロマシセンタ主催、2011 年 12 月 16 日、東京、招待講演  
〔図書〕(計 1 件)

[1] 町田克之, 益一哉, 年吉洋, 監修, 「異種機能デバイス集積化技術の基礎と応用」, 株式会社シーエムシー出版、総ページ数 279 ページ、2012 年 11 月 1 日発行.

〔産業財産権〕  
出願状況(計 2 件)

[1]名称: 微細素子およびその製造方法  
発明者: 小西敏文、松島隆明、町田克之、矢野正樹、工藤和久、益一哉、石原昇  
権利者: NTT-AT, 国立大学法人東京工業大学  
種類: 特許

番号: 2012-22784  
出願年月日: 2012.2.6  
国内外の別: 国内

[2]名称: 設計支援装置  
発明者: 小西敏文、松島隆明、町田克之、年吉洋  
権利者: NTT-AT, 国立大学法人東京大学  
種類: 特許

番号: 2012-152095  
出願年月日: 2012.7.6  
国内外の別: 国内

6. 研究組織  
(1) 研究代表者

町田克之 (Machida Katsuyuki)  
東京工業大学 大学院総合理工学研究科連携教授  
研究者番号: 90597676

(2) 連携研究者  
年吉洋 (Toshiyoshi Hiroshi)  
東京大学 先端科学技術センター 教授  
研究者番号: 50282603

(2) 連携研究者  
益一哉 (Masu Kazuya)  
東京工業大学 ソリューション研究機構 教授  
研究者番号: 20157192

(2) 連携研究者  
石原昇 (Ishihara Noboru)  
東京工業大学 ソリューション研究機構特任教授  
研究者番号: 20396641