

令和 3 年 5 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01490

研究課題名(和文) チップ内で電力を自給自足するマイクロエレクトロニクス

研究課題名(英文) Power-autonomous microelectronics with in-chip energy harvester

研究代表者

年吉 洋 (TOSHIYOSHI, HIROSHI)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：50282603

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、MEMS技術を用いて設計・製作した振動発電型のエナジーハーベスタと電子回路との融合により、チップ内に外部から流入する環境振動から電力を生成することで、回路動作に必要な電力を自給自足する新技術の実現に取り組んだ。特に検証実験として、MEMS振動発電素子で得られた電力によってチップマイコン、FRAM、タイマーICを間欠的に動作する実験を行った。また、環境の温度・湿度を継続的にモニタする無線センサが構築可能であることを実験により示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

半導体微細加工技術の進展に伴ってエレクトロニクス素子のチップ小型化は急速な勢いで進んでいるが、それに電力を供給する側は依然として電源アダプタ・電池を使い続けている。そこで本研究ではMEMS技術によって超小型エナジーハーベスタを構成し、環境振動から得たエネルギーで電力を自給自足するエレクトロニクス技術を構築し、IoTの発展に貢献する。

研究成果の概要(英文)：New technologies on power-autonomous microelectronics have been studied using MEMS vibrational energy harvester to as an energy source to retrieve electrical power from the environmental vibrations. Intermittent operation of electronics including chip-microcomputer, FRAM memory and timer-IC is confirmed using the developed energy harvester. Wireless monitoring system for environmental temperature and humidity is developed as an application of power-autonomous electronics.

研究分野：MEMS

キーワード：MEMS エナジーハーベスタ 振動発電 エレクトレット 半導体 マイクロマシン マイクロマシンング シリコン

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

半導体微細加工技術の進展に伴い、一人1台のPC所有から一人が複数台のモバイル機器を所有する時代が経過し、近い将来には一人が年間100個以上もの超小型エレクトロニクスを消費する「トリリオン・センサ」時代が到来すると言われている。図1に示すように、このような超小型エレクトロニクスに電気配線や電池を用いて電力供給するのは現実的ではないため、環境中の光や電波、熱のほか、環境振動から電力を回収するエナジーハーベスタ (EH) の利用が注目されている。

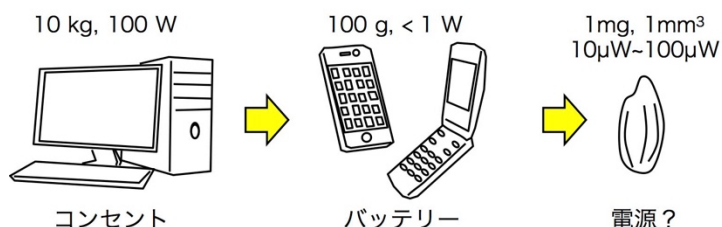


図1 エレクトロニクスが超小型化すると、電源の供給方法が課題になる

常時数十Wの電力を消費するPCへのエナジーハーベスタ活用は非現実的であるが、近年の微細化エレクトロニクスの消費電力は確実に低下しており、トランジスタ10万素子程度のチップの消費電力は、わずか $10\mu\text{W}$ のレベルに達している。最近のエナジーハーベスタの出力が最大 1mW であることを考慮すると、近い将来にはエナジーハーベスタによる小型LSIの常時駆動は十分に可能である。これにより、外部から物質(燃料)を供給する開放型のエネルギーシステムや、内部に電源を内蔵する孤立型のシステムとは異なり、外部から電力以外のエネルギー(振動など)を供給するだけで自律的に動作する新たな準閉鎖系型のマイクロエレクトロニクスが実用化されるであろう。また、そのあり方に関する学術的体系化が必要になる。

2. 研究の目的

そこで本研究では、電子回路と振動発電型エナジーハーベスタを融合して電力を自給自足する新規なマイクロエレクトロニクスの原理検証に取り組む。具体的には図2に示すように、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 型の振動発電素子で $10\sim 100\mu\text{W}$ の電力を振動発電し、それをセンサや集積回路に供給するための新たなMEMSプロセス手法と集積回路設計技術を研究開発する。

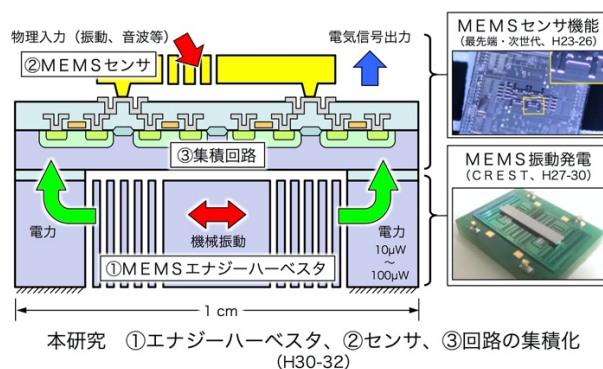


図2 MEMS振動発電素子を集積化して、チップ内で電力を自給するLSIを実現する

3. 研究の方法

研究代表者らはこれまでに、MEMS技術を用いた振動発電型のエナジーハーベスタを研究開発し、周波数 100Hz 以下、 0.1G 以下の微小振動から $100\sim 500\mu\text{W}$ の電力発生に成功している。このデバイスでは、シリコン製の微小電極表面に熱酸化膜を形成し、その内部に永久電荷(エレクトレット)を固定する手法をとっている。振動によって電極が機械的に変位すると、静電誘導によって膜の内外での電束の繋ぎ替えが発生し、外部に電流が流れることで機械-電気エネルギー変換を行う。

本研究ではこの研究実績を活用して、集積回路との整合性のよいエレクトレット型MEMS振動発電素子のプロセスの基礎研究と、その応用として電力をチップ内で自給するタイマICの

実現に取り組む。具体的には、下記の研究項目を計画した。

(1) レーザーアニール分極プロセス： 従来の手法では、MEMS振動発電素子をチップ分離したあとに個別に高温加熱（500℃）して200～500Vの電圧でエレクトレット分極を行っていたため、CMOSプロセスとの整合性が取れていない。そこで、MEMS振動発電素子をチップ分離する前に、ウエハ単位で局所レーザーアニールしつつ分極電圧を印加する手法を新たに研究開発する。

(2) 電源自給タイマイC： 従来の手法では、エネルギーハーベスタとそれを利用する回路系をプリント基板上に実装することが多く、電力を自給するマイクロエレクトロニクスの実理想からほど遠い。そこで本研究では、試作チップサービスを活用してLSIを製作し、その基板にMEMS振動発電素子を接合、あるいは、ハイブリッド実装することにより、チップ単体で電力を自給するエレクトロニクスの原理検証実験を行う

4. 研究成果

(1) レーザーアニール分極プロセス

本研究における以前のエレクトレット帯電方法では、MEMSチップ毎に真空引きと加熱帯電処理が必要であり、そのスループットは1時間／チップ以上であった。これに対して、本研究では新たに静岡大学との共同研究により、図3に示すような波長808nm、出力30Wのレーザーアニール方式を検討し、チップ上の任意の電極対当たり数秒で400V程度のエレクトレット帯電を実現した。

また、さらにスループットの高い方式として、ハロゲンランプを用いて大気中での輻射によってチップを加熱する方式を併せて検討した結果、チップ全体が600℃に加熱され、60V程度の帯電を確認した。これらの研究成果は、引用文献①で報告した。

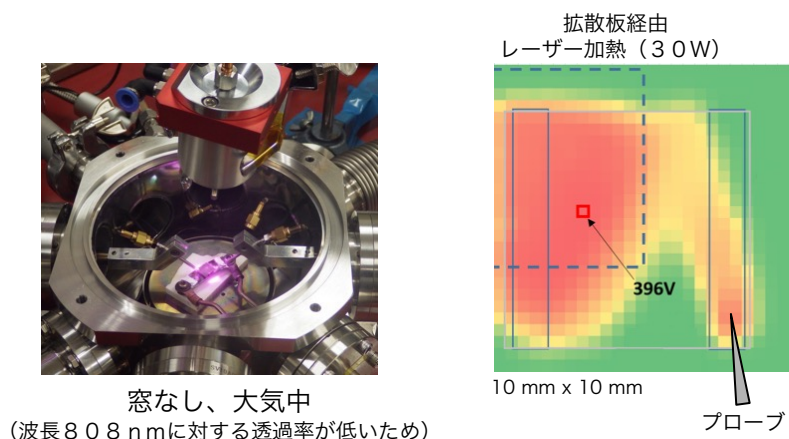


図3 レーザー局所加熱によるエレクトレット帯電 (引用文献①より)

(2) 電源自給タイマイC

本研究では最終的に、電力を自給自足する集積回路の実現を目指している。またその用途として、すべてのモノをネットワークに接続する無線通信型のIoT (Internet of Things) エレクトロニクスを想定している。その原理検証実験として、IoT無線センサに必要とされるセンサ機能、データ取得時刻を確定するためのタイマー機能、それらを記憶するためのメモリ機能、および、データ処理と無線通信のためのマイコンからなる電子回路を本研究のMEMS振動発電素子で運用する実験を行った。

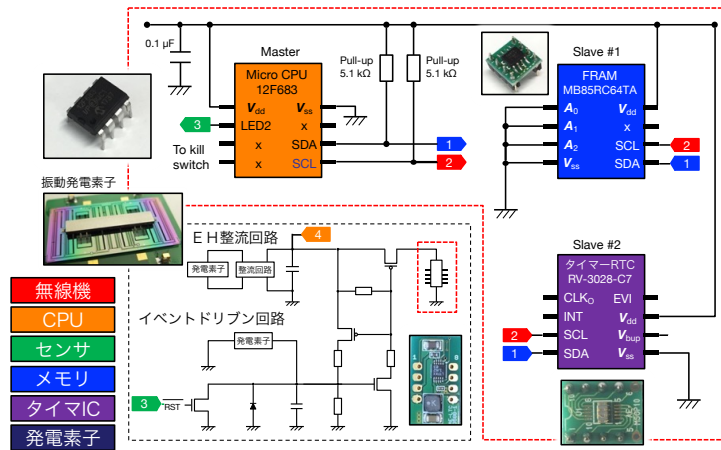


図4 MEMS振動発電素子によるIoT無線センサへの電力供給（引用文献②、③より）

振動発電素子の出力を整流し、蓄電したエネルギーを間欠的に使用する回路として赤外線リモコンの電源スイッチ回路を利用して、図4に示すようにマイコン、FRAM、およびタイマICを組合せて、出力をZigBeeで無線送信する回路を構成した。出力 $500\mu\text{W}$ 級のMEMS振動発電素子を用いて間欠動作を試みたところ、電流出力 $10\mu\text{A}$ の条件で毎分1回の割合で無線送信できることが分かった。電流出力を $100\mu\text{A}$ 程度に増大すると、数秒に1回の割合で無線送信が可能である。この研究成果は、引用文献②の国際会議論文と、引用文献③の国際会議招待講演として報告した。また、集積回路試作サービスを活用してMEMS振動発電素子に適した整流回路とタイマIC回路を設計・製作した。なお、2020年度の新型コロナウイルス感染症の世界的蔓延のために集積回路ファウンドリが半年以上稼働せず、集積回路の納品が遅れた。本報告書作成現在は、チップ評価を行っている段階である。

(3) 共振現象に依存しない振動発電素子の設計理論構築

本研究過程で、時々刻々と変化する環境振動から効率良くエネルギーを回収するためには、振動発電素子の共振を利用して一定周波数のみから発電する方法の難点に気づき、振動発電の帯域を大きく拡大する手法を新たに検討した。その結果、共振の振動速度ではなく、発電素子の力係数（電極変位の単位長さ当たりのエレクトレット電荷量）を増大することで振動発電の周波数帯域が従来の10倍以上に拡大可能であることを見出した。本研究成果は、引用文献③の国際会議論文（口頭発表、2021年6月）に採択されている。

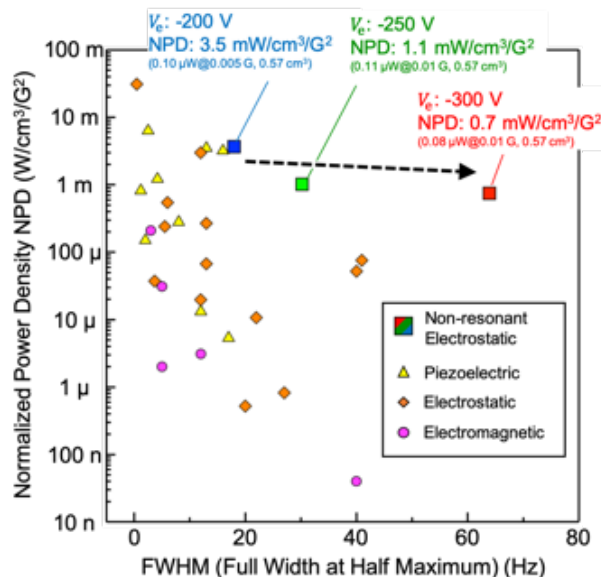


図5 発電素子の力係数拡大による発電周波数帯域の拡大（引用文献④より）

<引用文献>

- ① 年吉 洋、本間浩章、三屋裕幸、橋口 原、「エレクトレット薄膜を用いた静電誘導型MEMS振動発電」 日本表面真空学会誌・表面と真空、第63巻、第5号（特集「微小エネルギー」）

ギーの観測と制御』)、2020、223~228.

- ② Shunsuke Yamada and Hiroshi Toshiyoshi, "Event Driven Time-logging System based on Continuous Operation of Real Time Clock towards Perpetual Electronics," in Proc. 18th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (Power MEMS 2018), December 4-7, 2018, Daytona Beach, FL, USA.
- ③ Hiroshi Toshiyoshi, "MEMS Vibrational Energy Harvester for IoT Wireless Sensors," IEEE 66th International Electron Devices Meeting (IEDM 2020), Dec. 12-16, San Francisco, US. (invited)
- ④ Hiroaki Honma, Yukiya Tohyama, and Hiroshi Toshiyoshi, "A SHORT-STROKE ELECTROSTATIC VIBRATIONAL ENERGY HARVESTER WITH EXTENDED BANDWIDTH AND SENSITIVITY," in Proc. 21st International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2021), June 20-24, 2021, Orlando, FL, USA.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamada Shunsuke, Mitsuya Hiroyuki, Ono Simpei, Toshiyoshi Hiroshi, Fujita Hiroyuki	4. 巻 139
2. 論文標題 Enhancement of Electrostatic Induction Current of Energy Harvester by Using a Gelatinized Ionic Liquid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines	6. 最初と最後の頁 7～14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejsmas.139.7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamane Daisuke, Konishi Toshifumi, Safu Teruaki, Toshiyoshi Hiroshi, Sone Masato, Machida Katsuyuki, Ito Hiroyuki, Masu Kazuya	4. 巻 31
2. 論文標題 A MEMS Accelerometer for Sub-mG Sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2883～2883
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM.2019.2122	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tohyama Yukiya, Honma Hiroaki, Durand Brieux, Sugiyama Tatsuhiko, Hashiguchi Gen, Toshiyoshi Hiroshi	4. 巻 31
2. 論文標題 Analytical Model for MEMS Electret Energy Harvester with Long-stroke Tip-sliding Electrodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2779～2779
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM.2019.2388	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Honma Hiroaki, Tohyama Yukiya, Mitsuya Hiroyuki, Hashiguchi Gen, Fujita Hiroyuki, Toshiyoshi Hiroshi	4. 巻 29
2. 論文標題 A power-density-enhanced MEMS electrostatic energy harvester with symmetrized high-aspect ratio comb electrodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Micromechanics and Microengineering	6. 最初と最後の頁 084002～084002
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6439/ab2371	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroaki Honma, Hiroyuki Mitsuya, Gen Hashiguchi, Hiroyuki Fujita, and Hiroshi Toshiyoshi	4. 巻 vol.18
2. 論文標題 Improvement of Energy Conversion Effectiveness and Maximum Output Power of Electrostatic Induction-type MEMS Energy Harvesters by using Symmetric Comb-electrode Structures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Micromechanics and Microengineering	6. 最初と最後の頁 64005-64017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shunsuke Yamada and Hiroshi Toshiyoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 A Water Dissolvable Electrolyte with Ionic Liquid for Eco-friendly Electronics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 1800937
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.201800937	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋口 原、杉山達彦、年吉 洋	4. 巻 vol. 87, no. 6
2. 論文標題 カリウムイオンエレクトレットを用いた新しいMEMS技術の展開	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 436-440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 年吉 洋	4. 巻 vol 67, No. 6
2. 論文標題 無線センサ用MEMS振動発電デバイス	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 非破壊検査	6. 最初と最後の頁 283-290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Toshiyoshi, Suna Ju, Hiroaki Honma, Chang-Hyeon Ji, and Hiroyuki Fujita	4. 巻 vol. 20, no. 1
2. 論文標題 MEMS vibrational energy harvesters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sci. Techno. Adv. Mater.	6. 最初と最後の頁 124-143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14686996.2019.1569828	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Hiroaki Honma and Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 A Double-Deck Structured MEMS Electrostatic Vibrational Energy Harvester for Minimal Footprint
3. 学会等名 32nd Int. Conf. on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Yamane, Hiroaki Honma, and Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 A MEMS VIBRATORY ENERGY HARVESTER CHARGED BY AN OFF-CHIP ELECTRET
3. 学会等名 32nd Int. Conf. on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Mitsuya, Hisayuki Ashizawa, Hiroaki Honma, Gen Hashiguchi, and Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 A Method to Determine the Electret Charge Potential of MEMS Vibrational Energy Harvester using Pure White Noise
3. 学会等名 32nd IEEE International Conference on Microelectronic Test Structures (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Mitsuya, Hisayuki Ashizawa, Hiroaki Homma, Gen Hashiguchi, and Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 An Electrostatic Vibrational MEMS Energy Harvester of Large Power Recover Effectiveness over 92%
3. 学会等名 Design, Integration, Test and Packaging of MEMS and MOEMS (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Honma, Yukiya Tohyama, and Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 A 1.3 Milliwatts Electrostatic Vibrational Energy Harvester with Minimal Reactive Power through Reduced Internal Stray Capacitances
3. 学会等名 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukiya Tohyama, Hiroaki Honma, Noboru Ishihara, Hiroshi Toshiyoshi, and Daisuke Yamane
2. 発表標題 Bandwidth Enhancement of Vibrational Energy Harvesters by a Voltage-Boost Rectifier Circuit
3. 学会等名 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chikako Sano, Manabu Ataka, Gen Hashiguchi, and Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 Electret assisted low-power bidirectional electrostatic microspeakers
3. 学会等名 19th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Tohyama, H. Honma, N. Ishihara, H. Sekiya, H. Toshiyoshi, and D. Yamane
2. 発表標題 Energy Harvesting from Non-Stational Environmental Vibrations using a Voltage-Boost Rectifier Circuit
3. 学会等名 The 19th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Honma and Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 Power Enhancement through Reduced Stray Capacitance by Airborne Electrical Interconnection for MEMS Electrostatic Vibrational Energy Harvester
3. 学会等名 The 19th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三屋裕幸、芦澤久幸、本間浩章、藤田博之、橋口 原、年吉 洋
2. 発表標題 MEMSエレクトレット振動発電デバイスの産業化
3. 学会等名 第66回 応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本間浩章、遠山幸也、年吉 洋
2. 発表標題 エレクトレット電位増強による非定常振動発電特性の向上
3. 学会等名 電気学会 E 部門総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 年吉 洋、橋口 原
2. 発表標題 エレクトレット薄膜を用いた静電誘導型MEMS振動発電
3. 学会等名 日本表面真空学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三屋裕幸、芦澤久幸、本間浩章、橋口 原、年吉 洋
2. 発表標題 エネルギー回収効率92%のMEMS振動エネルギーハーベスタ
3. 学会等名 電気学会・第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本間浩章、年吉 洋
2. 発表標題 1.3mW級MEMS環境振動発電素子とIoT応用大容量キャパシタへの高速充電
3. 学会等名 電気学会・第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐野智華子、安宅 学、橋口 原、年吉 洋
2. 発表標題 エレクトレットを利用した低消費電力静電マイクロスピーカー
3. 学会等名 電気学会・第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池野 翔、本間浩章、遠山幸也、年吉 洋
2. 発表標題 MEMS 振動発電素子の浮遊容量削減法の検証
3. 学会等名 電気学会・第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本間浩章、年吉 洋
2. 発表標題 ダブルデッキ構造によるMEMS 振動発電素子の小型化
3. 学会等名 応用物理学会・集積化MEMS 技術研究会・第11回集積化MEMS シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 MEMS Vibrational Energy Harvesters using High-Density Solid-Ion Electret for IoT Applications
3. 学会等名 13th Annual IEEE International Conference on Nano-Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE NEMS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 MEMS Vibrational Energy Harvester for IoT Wireless Sensor Applications
3. 学会等名 2018 International Conference on Smart Sensors (ICSS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Honma, Hiroyuki Mitsuya, Gen Hashiguchi, Hiroyuki Fujita, and Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 Power Density Enhancement of Electret Based Energy Harvester with Symmetric Comb-Electrode Structure
3. 学会等名 Taiwan-Japan Joint Symposium (co-organized with the 2018 International Conference on Smart Sensors (国際学会))
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideaki Koga, Hiroyuki Mitsuya, Hiroshi Toshiyoshi, Yuji Toyama, Tatsuhiko Sugiyama, Gen Hashiguchi
2. 発表標題 Development of a metal-cantilever electrostatic vibration power generator combined with potassium ion electret technique
3. 学会等名 Information Storage and Processing Systems and Micromechatronics for Information and Precision Equipment (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 MEMS Vibrational Energy Harvesters for Perpetual Electronics
3. 学会等名 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukiya Tohyama, Hiroaki Honma, Noboru Ishihara, Hidehiko Sekiya, Hiroshi Toshiyoshi, and Daisuke Yamane
2. 発表標題 A Voltage-Boost Rectifier Circuit for Energy Harvesting from Environmental Vibrations
3. 学会等名 18th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Honma, Hiroyuki Mitsuya, Gen Hashiguchi, Hiroyuki Fujita, and Hiroshi Toshiyoshi
2. 発表標題 A Power-Density-Enhanced MEMS Electrostatic Energy Harvester with Symmetrized High-Aspect Ratio Comb Electrodes
3. 学会等名 18th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計8件

産業財産権の名称 発電素子の製造方法、および、発電素子	発明者 年吉 洋(東大)、 下村典子(鷺宮)、 芦澤久幸(鷺宮)	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、出願番号 特願2020-057713	出願年 2020年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 振動発電素子	発明者 年吉 洋、藤田博 之、芦澤久幸、三屋 裕幸、石橋和徳	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、20168005788(中国)	出願年 2019年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 環境発電装置	発明者 矢嶋起彬、年吉 洋、本間浩章、遠山 幸也、三屋裕幸	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-116310	出願年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 静電型デバイス、静電型デバイス中間体および製造方法	発明者 年吉 洋(東大)、 本間浩章(東大)、 三屋裕幸(鷺宮)	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-106231	出願年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 静電型デバイスおよび静電型デバイス製造方法	発明者 年吉 洋(東大)、 本間浩章(東大)、 三屋裕幸(鷺宮)	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-106230	出願年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 櫛歯型素子の製造方法	発明者 年吉 洋(東大)、 本間浩章(東大)、 三屋裕幸(鷺宮)	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-215631	出願年 2018年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 振動発電素子	発明者 年吉 洋(東大)、 本間浩章(東大)、 三屋裕幸(鷺宮)	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-215630	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 振動発電素子	発明者 年吉 洋(東大)、 本間浩章(東大)、 三屋裕幸(鷺宮)	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-008337	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------