

年吉 洋

東京大学生産技術研究所
教授

MEMS振動発電を用いたパーペチュアル・エレクトロニクス

§ 1. 研究成果の概要

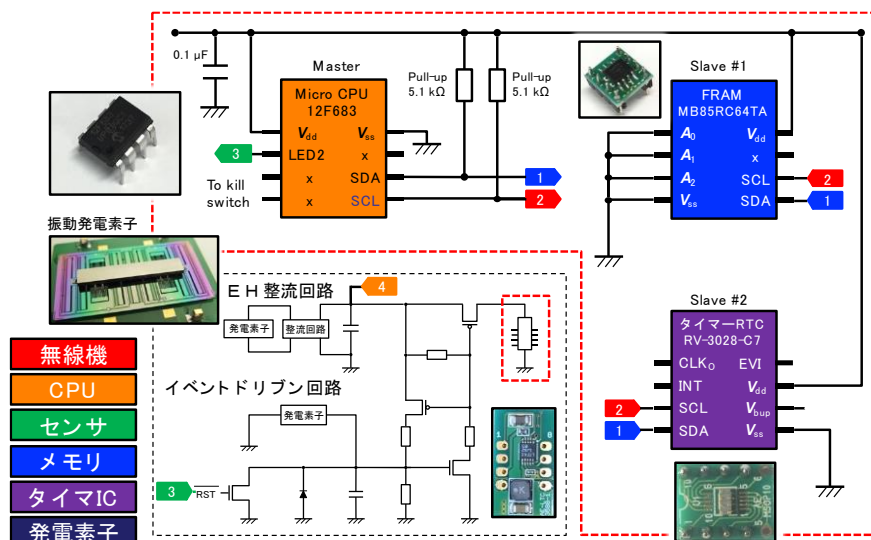
本研究は「MEMS振動発電を用いたパーペチュアル・エレクトロニクス」と題し、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いて設計・製作した振動発電型のエナジーハーベスタ (EH) と電子回路 (IC) とのハイブリッド／モノリシック集積化により、半導体チップに流入する 100Hz、0.1G 以下の環境振動から $10\mu\text{W}\sim 100\mu\text{W}$ の電力を生成することで、集積回路の動作に必要な電力をチップ内で常に (=Perpetual) 自給自足する新たなマイクロエレクトロニクス・システムの実現に挑戦するものである。

研究計画第1年目の 2019 年度には、従来のQ値の高い共振型の振動発電素子の弱点である帯域の狭さを克服するために、エレクトレット電位を高めて機械-電気変換効率を増強し、意図的に系のQ値を適切な値にまで下げて帯域を拡大する新たな設計方法を理論的に導出した。また、その理論に基づいて振動発電素子を試作し、帯域拡大の効果を検証した。

本研究ではこれまでにヒーターによる直接加熱を用いてエレクトレット膜を形成していたが、この方式は振動発電素子ごとに個別に帯電処理するためにスループットが低い。そこで、ウエハレベルでの処理を可能にするために、レーザー光照射によって局所的に帯電する技術を開発した。また、貼り合わせシリコン基板よりも安価な単層シリコン基板を用いてエレクトレット型の振動発電素子を構成する手法を考案し、基板貫通溝を用いた電氣的絶縁分離を検証した。

環境振動発電においては、振動源の卓越周波数と発電素子の共振周波数が必ずしも一致するとは限らない。そこで、振動源と発電素子の間に機械的に周波数変換するインターポーザ基板を挿入する手法を検討した。ポリカーボネート基板を切削加工して多重梁構造を製作し、環境振動入力によって発生する座屈によって振動発電素子をインパルス的に駆動する方法である。本年度はインターポーザ基板の FEM 解析と試作、および、実験による座屈振動の発生を確認した。

さらに、振動発電素子で駆動可能な IoT (Internet of Things) 回路の例として、温度・湿度等の環境情報をその取得時刻とともに記憶する回路を構成し、これを振動発電素子の出力を用いて数分に1回の頻度で間欠的に駆動する実証実験を行った。



【代表的な原著論文】

- Hiroaki Honma, Yukiya Tohyama, Hiroyuki Mitsuya, Gen Hashiguchi, Hiroyuki Fujita, Hiroshi Toshiyoshi, “A Power-Density-Enhanced MEMS Electrostatic Energy Harvester with Symmetrized High-Aspect Ratio Comb Electrodes,” J. Micromech. Microeng., vol. 29, 2019, p. 084002 (9pp).
- Chikako Sano, Manabu Ataka, Gen Hashiguchi, and Hiroshi Toshiyoshi, “An electret-augmented low-voltage MEMS electrostatic out-of-plane actuator for acoustic transducer applications,” Micromachines, vol. 11, no. 3, 2020, p. 267 (12 pages).
- Takahiro Tamura, Takaaki Suzuki, “Seamless fabrication technique for micro to millimeter structures by combining 3D printing and photolithography,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol.58, SDDL10 (7 pages), 2019.

§ 2. 研究実施体制

(1) 東京大学グループ

- ① 研究代表者: 年吉 洋 (東京大学生産技術研究所 教授)
- ② 研究項目
 - 研究項目 ①-(1) ハイブリッド融合プロセス(2019～2020 年度)
 - 研究項目 ①-(2) モノリシック融合プロセス(2020～2021 年度)
 - 研究項目 ①-(3) パーペチュアル・エレクトロニクス応用研究(2021～2022 年度)

(2) 静岡大学グループ

- ① 主たる共同研究者: 橋口 原 (静岡大学大学院工学領域 教授)
- ② 研究項目
 - 研究項目 ②-(1) レーザーアニールによるエレクトレット形成(2019～2020 年度)
 - 研究項目 ②-(2) ウエハレベル・パッケージ統合プロセス(2021～2022 年度)

(3) 群馬大学グループ

- ① 主たる共同研究者: 鈴木 孝明 (群馬大学大学院理工学府 教授)
- ② 研究項目
 - 研究項目 ③-(1) 周波数変換インターポーズ(2019～2021 年度)
 - 研究項目 ③-(2) 発電する圧電プリント基板回路(2020～2021 年度)
 - 研究項目 ③-(3) 発電する静電プリント基板回路(2021～2022 年度)