

半導体集積回路と共進化するバイオ医療応用 IoT

Biomedical IoT Employing Co-Evolution with Semiconductor Integrated Circuits



新津 葵一 (Kiichi NIITSU, Ph. D.)

京都大学 大学院情報学研究科 情報学専攻 教授
(Professor, Kyoto University)

IEEE, 電子情報通信学会, 応用物理学会, バイオインダストリー協会
他

受賞: 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞 (2017 年), 総務省
戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 成果展開推進賞 (2025 年), 京
都 SMI 中辻賞 (2023 年), バイオインダストリー奨励賞 (2019 年), IEEE
Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS) 2018 Best Live
Demonstration Award (2018 年), 電子情報通信学会 末松安晴賞 (2018 年),
IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS) 2016 Best
Paper Award (2016 年), 他

著書: ニューロモルフィックコンピューティング 省エネルギーな機械学習
のハードウェア実装に向けて (監訳), エヌ・ティー・エス (2022 年)

研究専門分野: 半導体集積回路設計工学

あらまし

本原稿においては、半導体集積回路と共に進化し、発展を続けるバイオ医療 IoT について述べる。半導体集積回路はその進化の過程において、今後も低消費電力化が期待される。低電力化により、新たなバイオ・医療応用 IoT の実現が可能となる。いくつかの開発事例を挙げる。

1. 研究の目的

本研究の目的は、半導体集積回路の低電力化設計技術を確立し、その特長を活かして新たな応用を切り拓くことである。

2. 研究の背景

半導体集積回路の高性能化は、私たちの生活を豊かにしてきた。特に、スマートフォンをはじめとする情報通信機器の高性能化は顕著であり、バッテリー容量

があまり変化しないにも関わらず、その機能は毎年発表される新製品において持続的な進化を遂げている。

この持続的な進化を支えている基盤技術の一つが、半導体集積回路の製造プロセスの微細化である。半導体集積回路の単位機能あたりの消費電力は、最小構成単位であるトランジスタの大きさに大きく依存する。

半導体集積回路の性能向上の歴史は、「電力効率の向上」の歴史と言っても過言ではない。電力効率の向上が進み、低消費電力性能を具備した集積回路開発が可能となっている。この低消費電力という特性は、バイオ・医療応用 IoT との相性が非常に良い。低消費電力半導体と生命体をお互いに相互的に集積しあうことで、新たな応用を切り拓くことが可能となる。

半導体集積回路は、基本的にはスマートフォンや AI 向け GPU など高速動作 ICT 機器へと応用されることが多いが、それらの高速動作 ICT 機器で需要があるのは、最先端のプロセスノード (2025 年時点では、2nm CMOS プロセス程度) である。準先端プロセスなどの最先端でないプロセスは、IoT などの低速動作 ICT 機器への応用が期待されている。本研究開発においてバイオ・医療応用 IoT 向けの半導体集積回路技術を開発することで、非先端プロセスの応用を促すことが可能になり、半導体集積回路のエコシステムの中で共進化を遂げることができればと考え、研究開発に取り組んでいる。

3. 研究の方法

研究開発においては、速度と電力のトレードオフに着目して実施した。一般的に先端の半導体集積回路プロセスを用いた集積回路は GHz (ギガヘルツ) オーダーで動作するような高い周波数での応用が主である。しかし、バイオ・医療応用 IoT においては通常、そのような GHz での動作が求められることはまれであり、むしろ電力バジェットの関係で低速で動くことを求められることが多い。

筆者らのグループは、この速度と電力のトレードオフに着目した低電力半導体集積回路設計とそのバイオ・医療応用 IoT への展開として、図 1-4 のような研究開発を行った。

半導体集積回路と共進化するバイオ医療応用 IoT

Biomedical IoT Employing Co-Evolution with Semiconductor Integrated Circuits

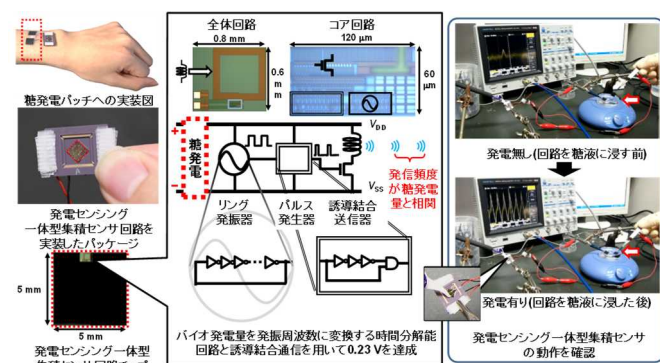


図1 低消費電力半導体集積回路とバイオ発電を組み合わせた電力自立バイオセンシングIoT(汗内の成分モニタリング応用ウェアラブルパッチ)

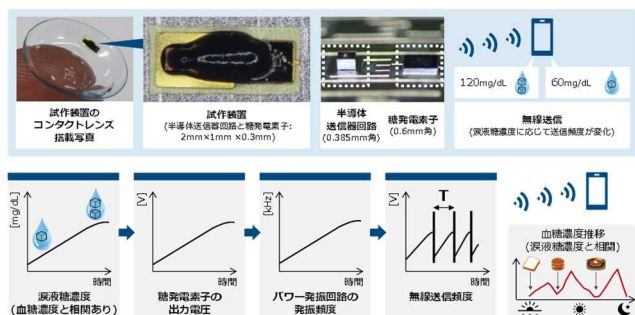


図2 低消費電力半導体集積回路とバイオ発電を組み合わせた電力自立バイオセンシングIoT(涙液内の涙液糖モニタリングを目的とした持続血糖モニタリング応用スマートコンタクトレンズ)

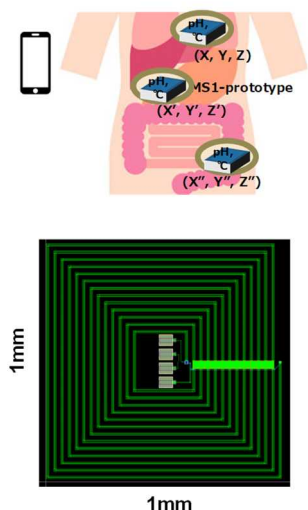


図3 低消費電力半導体集積回路を用いたバイオ・医療応用展開事例:デジタル錠剤 (右)スマートステント

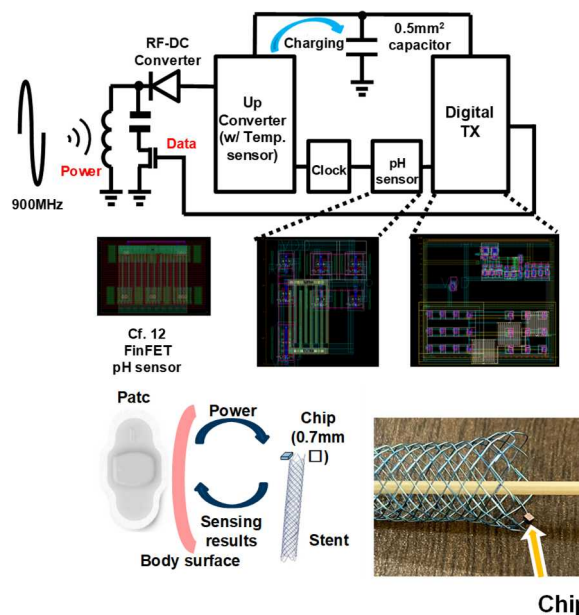


図4 低消費電力半導体集積回路を用いたバイオ・医療応用展開事例:スマートステント

4. 将来展望

半導体集積回路の低電力化により、バイオ・医療応用IoTの可能性を拓くことが可能である。バイオ・医療応用IoTにおいては、見込まれる数量の少なさなどから開発への投資が行われにくい傾向がある。本研究開発を今後も発展させることで、バイオ・医療応用IoTの研究開発の活性化につながれば幸甚である。

おわりに

本研究を行うにあたって、SCAT研究助成のご支援をいただきましたこと、御礼申し上げます。研究においてご支援をいただいた皆様に、御礼申し上げます。引き続き、ご支援・ご指導のほど、よろしくお願い申し上げます。

参考文献

- [1] H. Kitaike, M. Inada, M. Terauchi, H. Tagawa, R. Nagai, S. Xu, R. Zhang, K. Liu, and K. Niitsu, "A 0.9-2.6pW 0.1-0.25V 22nm 2-bit Supply-to-Digital Converter Using Always-Activated Supply-Controlled Oscillator

- and Supply-Dependent-Activation Buffers for Bio-Fuel-Cell-Powered-and-Sensed Time-Stamped Bio-Recording", IEEE Symposium on VLSI Technology and Circuits (VLSI 2024), pp. 1-2, Jun.2024.
- [2] K. Niitsu, T. Nakanishi, S. Murakami, M. Matsunaga, A. Kobayashi, N. M. Karim, J. Ito, N. Ozawa, T. Hase, H. Tanaka, M. Sato, H. Kondo, K. Ishikawa, H. Odaka, Y. Hasegawa, M. Hori, and K. Nakazato, "A 65-nm CMOS Fully Integrated Analysis Platform Using an On-Chip Vector Network Analyzer and a Transmission-Line-Based Detection Window for Analyzing Circulating Tumor Cell and Exosome", IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems (TBioCAS), vol. 13, no. 2 pp.470-479, Apr. 2019.
- [3] K. Niitsu, A. Kobayashi, K. Hayashi, Y. Nishio, K. Ikeda, T. Ando, Y. Ogawa, H. Kai, M. Nishizawa, and K. Nakazato, "A Self-Powered Supply-Sensing Biosensor Platform Using Bio Fuel Cell and Low-Voltage, Low-Cost CMOS Supply-Controlled Ring Oscillator with Inductive-Coupling Transmitter for Healthcare IoT", IEEE Transactions on Circuits and Systems I (TCAS-I), vol.65, no.9, pp.2784-2796, Sep. 2018.
- [4] G. Chen, Y. Wang, T. M. Quan, N. Matsuyama, T. Tsujimura and K. Niitsu, "A 0.5 mm² Solar Cell-Powered Biofuel Cell-Input Biosensing System with LED Driving for Stand-Alone RF-Less Continuous Glucose Monitoring Contact Lens", IEEE Solid-State Circuits Letters (SSC-L), vol. 5, pp. 41-44, Feb. 2022.
- [5] Y. Wu, K. Awano, I. Yamane, H. Kitaike, M. Kaneko, H. Maruyama, H. Miyaguchi, S. Yoshida, T. Kobayashi, D. Anzai, T. Fujiyabu, N. Inagaki, K. Takeda, T. Yamanaka, T. Ito, H. Kawashima, M. Fujishiro, F. Arai, K. Ohnishi, and K. Niitsu, "A 1.4-V 260-pW 1-mm² 65-nm CMOS Temperature/pH Sensing IC Featuring Voltage-Stacking Timer and Wireless Transmitter for Stomach-Acid-Charged Tablet-Type Digital Pills with Long-Term In-Body Monitoring", IEEE Nordic Circuits and Systems Conference (NorCAS), Oct. 2025.
- [6] K. Awano, Y. Wu, K. Okamura, T. Ono, K. Sakamoto, H. Kitaike, H. Tagawa, J. Nakamura, M. Kaneko, Y. Kimura, H. Nakamura, S. Xu, R. Zhang, K. Liu, H. Shinohara, and K. Niitsu, "A 110-mV 12-pW 0.00006-mm² 7-nm FinFET Self-Oscillating Voltage Doubler Using Vertically Implemented Back-End Metal-Oxide-Metal Capacitors For Small-Formfactor Up-Conversion", IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Aug. 2025.
- [7] Y. Wu et al., "A 65-nm CMOS Downconverter-Less Clock Generator Architecture Using Voltage Stacking of Oscillator and Frequency Dividers for Scaling-Friendly IoTs," in IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 33, no. 10, pp. 2668-2679, Oct. 2025.
- [8] A. Tanaka, G. Chen, and K. Niitsu, "A 4.5-mW 22-nm CMOS Label-Free Frequency-Shift 3×3×2 3D Biosensor Array Using Vertically-Stacked 60-GHz LC Oscillators", IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 69, no. 10, pp. 4078-4082, Oct. 2022.
- [9] K. Niitsu, T. Nakanishi, S. Murakami, M. Matsunaga, A. Kobayashi, N. M. Karim, J. Ito, N. Ozawa, T. Hase, H. Tanaka, M. Sato, H. Kondo, K. Ishikawa, H. Odaka, Y. Hasegawa, M. Hori, and K. Nakazato, "A 65-nm CMOS Fully Integrated Analysis Platform Using an On-Chip Vector Network Analyzer and a Transmission-Line-Based Detection Window for Analyzing Circulating Tumor Cell and Exosome", IEEE Transactions on Biomedical Circuits and

半導体集積回路と共進化するバイオ医療応用 IoT

Biomedical IoT Employing Co-Evolution with Semiconductor Integrated Circuits

Systems (TBioCAS), vol. 13, no. 2 pp.470-479,
Apr. 2019.

この研究は、令和2年度S C A T研究助成の対象として採用され、令和3～5年度に実施されたものです。