

情報担体を活用した集積デバイス・システム
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

高木 信一

東京大学 大学院工学系研究科
教授

強誘電体分極と電荷の相互作用を利用した新デバイス・システム

主たる共同研究者:

澤 彰仁 (産業技術総合研究所 エレクトロニクス・製造領域 電子光基礎技術
研究部門 研究部門長)

竹内 健 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

藤村 紀文 (大阪公立大学 大学院工学研究科 教授)

研究成果の概要

「強誘電体素子による新コンピューティング技術」に関し、音声認識応用のための、並列データ処理による FeFET を用いたリザバーコンピューティング (RC) の新方式を提案し、仮想ノード数、入力波形、異なる周波数チャネルや各種電流の時間応答の組み合わせの最適化により、0 から 9 の英語数字発話音声認識タスクに対し 95.9 % の分類精度を実証した。また、ランダム重みの RC を提案し、SNN に比べて 1/3 の回路面積を実現すると共に、FeFET のエラーにロバストであることを実証した。IoT エッジデバイス向けに超小型・低電力でイベントデータを処理する Convolutional LSTM、約 10,000 次元の Hypervector のパターンで情報を記憶する Hyper Dimensional Computing を提案した。イベントドリブン処理のデモとして、未来予測のアーキテクチャも提案した。漏れ積分素子実現に向け、非対称酸化物電極構造の採用により、アナログ抵抗スイッチングを示す強誘電トンネル接合の開発に成功した。「強誘電体メモリ・ロジック技術」に関し、FeRAM 向け HZO MFM メモリにおいて、低電圧動作が期待できる 4 nm の HZO に対して、3MV/cm、1.2 V 動作を用いることで、絶縁破壊と疲労による分極劣化の2つの機構の下で信頼性を最大化できることを明らかにした。「強誘電体材料・評価技術」に関し、電圧印加第二次高調波 (SHG) を用いた分極評価法において、ITO/HZO/ITO 接合の SHG の強度変化が、電圧印加により反転する HZO の分極と反転しない表面や界面等の非対称性に起因する分極から発生する SHG 光の共存により説明できることを明らかにし、時間分解 SHG 測定から分極反転特性を解析するために必要な物理モデルを構築した。また正圧電応答顕微鏡法による分極評価において、空間分解能の検証を進め、10nm 厚 HZO 薄膜は初期状態から強誘電相であり、数 100nm の大きさのドメインを有していること、電界印加によりほぼ全ての領域の分極が反転することを明らかにした。

【代表的な原著論文情報】

- (1) K. Toprasertpong, K. Tahara, Y. Hikosaka, K. Nakamura, H. Saito, M. Takenaka, and S. Takagi, “Low Operating Voltage, Improved Breakdown Tolerance, and High Endurance in Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ Ferroelectric Capacitors Achieved by Thickness Scaling Down to 4 nm for Embedded Ferroelectric Memory”, ACS Appl. Mater. Interfaces, vol. 14, no. 45, pp.51137-51148, November 1, 2022.
- (2) E. Nako, K. Toprasertpong, R. Nakane, M. Takenaka, and S. Takagi, “Experimental demonstration of novel scheme of HZO/Si FeFET reservoir computing with parallel data processing for speech recognition”, Symposia on VLSI Technology and Circuits, C25-1, pp. 220-221, Honolulu, HI, USA, June 13-17, 2022. 16
- (3) K. Toprasertpong, E. Nako, Z. Wang, R. Nakane, M. Takenaka, and S. Takagi, “Reservoir computing on a silicon platform with a ferroelectric field-effect transistor”, Communications Engineering, 1, 21, August 2022.
- (4) C. Matsui, E. Kobayashi, N. Misawa and K. Takeuchi, “Comprehensive analysis on error-robustness of FeFET computation-in-memory for hyperdimensional computing,” Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol. 62, pp. SC1053, February 6, 2023.
- (5) K. Higuchi, T. Kobayashi, N. Misawa, C. Matsui and K. Takeuchi, “Tiny and error-tolerant Conv

LSTM for event-based vision sensor with optimized event representation and ReRAM computation-in-memory,” Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol. 62, pp. SC1068, February 14, 2023.