

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

2021 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

§ 1. 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、FeFET を用いたリザーバコンピューティングにおいて、反転入力ゲートを活用した方法を提案して、リザーバ性能が向上することを実証すると共に、素子信頼性の影響を調べ、再学習なしでの推論動作においてもリザーバ性能劣化を抑える方法を提案した。また、非同期にイベントデータを出力する Vision Sensor と FeFET などのメモリセルアレイによって AI 処理を実施する CiM (Computation-in-Memory) を 3次元実装したエッジ AI システムを提案し、CiM セルアレイの並列動作やピーク電流を削減する部分活性化動作を用いることで、電力を 1/1000 以下に低減できることを、車載による実イベントデータの解析により示した。漏れ積分素子実現に向け、積層型酸化物下部電極の採用により $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 障壁層の界面平坦性を改善し、素子特性ばらつきを改善した。「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 程度に薄膜化した $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ を用いることで、絶縁膜信頼性が大幅に向上し、1.2 V 動作で 10^{14} サイクル以上の書き込みが可能となることを実証した。また、HZO 膜のインプリントの時間依存性には、異なる時定数を持つ電荷再分配プロセスが存在することを示すと共に、再分配された電荷と誘電緩和の間には相関関係があることを明らかにした。「強誘電体材料・評価技術」に関し、ITO/HZO/ITO 接合に対して電圧印加第二次高調波 (SHG) 測定を実施し、HZO 層の分極反転に伴う SHG 光の強度変化を観測して、分極反転を SHG 測定により検出可能であることを実証した。また、正圧電応答顕微鏡を用いて、HZO 薄膜に電界を印加せずにドメイン構造の観察を行う事に初めて成功した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 高木グループ

- ① 研究代表者: 高木 信一 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 強誘電体素子による新コンピューティング技術
 - ・ 強誘電体メモリ・ロジック技術
 - ・ 強誘電体材料・評価技術

(2) 竹内グループ

- ① 主たる共同研究者: 竹内 健 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 強誘電体素子による新コンピューティング技術
 - ・ 強誘電体メモリ・ロジック技術

(3) 藤村グループ

- ① 主たる共同研究者: 藤村 紀文 (大阪府立大学 大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 強誘電体メモリ・ロジック技術
 - ・ 強誘電体材料・評価技術

(4) 澤グループ

- ① 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)
- ② 研究項目
 - ・ 強誘電体素子による新コンピューティング技術
 - ・ 強誘電体材料・評価技術

【代表的な原著論文情報】

- 1) E. Nako, K. Toprasertpong, R. Nakane, Z. Wang, M. Takenaka and S. Takagi, “Impact of endurance characteristics of FeFETs on reservoir computing capabilities”, 53rd International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), B-5-07, p. 129-130, September 2021.
- 2) K. Tahara, K. Toprasertpong, Y. Hikosaka, K. Nakamura, H. Saito, M. Takenaka and S. Takagi, “Strategy Toward HZO BEOL-FeRAM with Low-Voltage Operation (≤ 1.2 V), Low Process Temperature, and High Endurance by Thickness Scaling”, Symp. on VLSI technology, T7-3, June 2021.
- 3) C. Matsui, K. Higuchi, S. Koshino and K. Takeuchi, “Event-Driven SRAM Computation-in-Memory with Partitioned WL Activation for 3D Heterogeneous Integration of Event-based Vision Sensor”, 53rd International Conference on Solid-State Devices and Materials (SSDM), L-1-04, September, 2021.
- 4) K. Takada, M. Murase, S. Migita, Y. Morita, H. Ota, N. Fujimura, T. Yoshimura, “Investigation of the wake-up process and time-dependent imprint of $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ film through the direct piezoelectric response”, Applied Physics Letters, 119 (3), 032902, 2021.
- 5) K. Takada, S. Takarae, K. Shimamoto, N. Fujimura, T. Yoshimura, “Time-Dependent Imprint in $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ Ferroelectric Thin Films”, Advanced Electronic Materials, Volume7, Issue8 2100151, 2021.