

強誘電体 HfO_2 によるロジック・メモリデバイスの新展開

Innovation of New Logic and Memory Devices Enabled by Ferroelectric HfO_2

東大生研 小林正治

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

E-mail: masa-kobayashi@nano.iis.u-tokyo.ac.jp

現代の高度情報化社会においては、Internet-of-Things (IoT) エッジデバイスが物理空間のデータを収集し、そのデータをビッグデータとしてクラウドシステムが仮想空間で保存・管理・分析し、戦略的な新しい社会サービスが物理空間に提供される。特にエッジデバイスの役割は増してきており、その数は今後数兆個にもなることが試算されている。そのためデバイスは必然的に低消費電力であることが求められ、将来的には $1\mu\text{W}$ あるいは nW クラスが目標となる。この目標に対して新しい集積デバイス技術のブレークスルーが望まれており、最近発見された強誘電体 HfO_2 は CMOS プロセスとの整合性が高く、このブレークスルーを可能にする新材料であると期待される。

IoT エッジデバイスには間欠動作を行いほとんどの時間スリープ状態にあるものが多い。その場合消費電力は待機時リーク電力が支配的になるのでトランジスタのリーク電流を削減することが重要となる。急峻サブスレシヨルド係数トランジスタはオン電流を維持しながらオフ電流を削減でき、より低電圧での動作が可能な技術である。強誘電体 HfO_2 をゲート絶縁膜とする負性容量トランジスタ[1]はテクノロジーブースターとしての性質をもっており大変注目を集めている。

リーク電力を削減するもう一つの手法はノーマリーオフコンピューティング技術である。デバイスの中のモジュールの電源をアイドル時にはできるだけ切りたい。そのために電源オフする前後に状態データを不揮発性メモリで待機・復帰することで、レイテンシーやエネルギーのオーバーヘッドなくモジュールの電源管理が可能となる。強誘電体 HfO_2 を用いた不揮発性フリップフロップや不揮発性 SRAM[2]は既存の CMOS 回路を容易に拡張できる技術として注目されている。

IoT エッジデバイスには機械学習の高度なアルゴリズムを実装することでクラウドシステムの負荷を低減することも提案されている。その中で人工ニューラルネット技術は超並列計算を可能にするエネルギー効率の高いコンピューティング技術であり、メモリアクセスに制限されないインメモリコンピューティング技術として研究が進んでいる。人工ニューラルネットにおける学習と推論で重要な役割を果たすのがアナログ的に抵抗を変化できるメモリ素子である。強誘電体 HfO_2 を用いた強誘電体トンネル接合メモリはアナログメモリとして期待されている[3]。

本講演では強誘電体 HfO_2 が切り拓くデバイス技術の動向を解説し、その展望と課題について議論する。

- [1] M. Kobayashi and T. Hiramoto, VLSI Tech. Symp., 2015, p.212, AIP Advances, 6, 025113 (2016).
- [2] M. Kobayashi, N. Ueyama, and T. Hiramoto, VLSI Tech Symp., 2017, p. 156, J. EDS, 8, 280 (2018).
- [3] M. Kobayashi, Y. Tagawa, M. Fei, T. Saraya, and T. Hiramoto, Silicon Nano Workshop 2018, p. 29.