

強誘電体の非線形ダイナミクス活用したリザーバーコンピューティング Reservoir computing utilizing nonlinear dynamics in ferroelectric materials

東大院工, [○]ト・プ・サ・ト・ン カ・デ・ィット, 名幸 瑛心, 中根 了昌, 竹中 充, 高木 信一

Univ. Tokyo, [○]Kasidit Toprasertpong, Eishin Nako, Ryosho Nakane, Mitsuru Takenaka, Shinichi Takagi

E-mail: topasertpong@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

強誘電体は自発分極により不揮発性的に分極状態が保持される。さらに HfO_2 系強誘電体は不揮発性に加えて、CMOS 親和性であることから、CMOS プラットフォーム上の AI 計算への応用も着目されてきた[1,2]。我々は HfO_2 系強誘電体の非線形ダイナミクスを利用して、時系列データを低負荷で学習・計算のできるリザーバーコンピューティングに着目し、ポテンシャルを実証してきた[3-6]ので、本シンポジウムで紹介する。

Fig. 1 は強誘電体トランジスタ (FeFET) を使ったリザーバーコンピューティングの概要図を示す。時系列の入力信号を FeFET のゲートに入力すると、強誘電絶縁膜の分極同士および分極とシリコンの電荷の間に空間的・時間的に非線形相互作用が起こり、FeFET のドレイン電流・ソース電流・基板電流へ変換される。変換された電流が現在と過去の入力信号が混ざり合った信号になっており、時空間的に高次元情報を持っていることから、FeFET が高次元変換をしているリザーバーとして機能をもつ。ドレイン電流・ソース電流・基板電流の仮想ノード(時間ステップよりも細かくサンプリングし、ノードとして扱う)を重みと積和演算することでシステムの出力が得られる。重みはリッチ回帰等の計算負荷の軽い手法によって求まる。

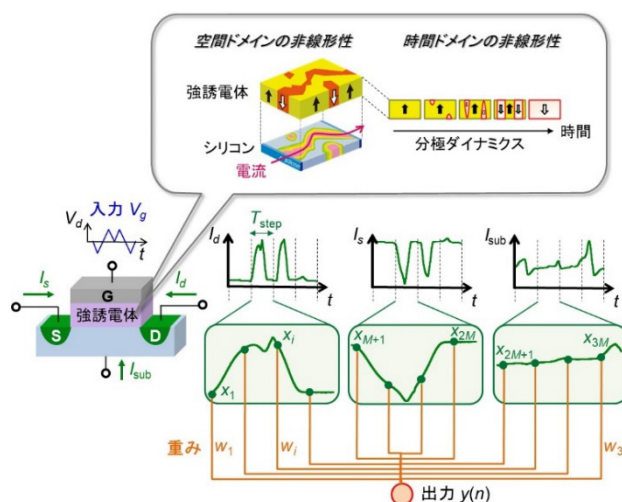


Fig. 1 FeFET を使ったリザーバーコンピューティング

Fig. 2 は FeFET リザーバーを用いて二次の非線形時系列データを予測するように学習し、未知データで評価した結果を示す。 7.3×10^{-4} の低い平均二乗誤差の優れた予測性能が確認できた[5]。音声認識応用にも FeFET リザーバーの性能が確認できた。Fig. 3 は、発話された 0~9 数字 (NIST TI-46) の音声データをコクログラムに周波数分解した後、周波数に応じて複数の FeFET リザーバーに入力して分類した概要図と結果を表す [6]。ここで複数の FeFET リザーバーが並列計算している構成を想定しており、高速学習・高速演算が期待できる。

このように、FeFET を用いたリザーバーコンピューティングは Si プラットフォーム上に実施できる上に、予測タスクや音声認識で優れた性能を発揮していることから、高効率計算が可能なエッジ AI システムへの貢献が期待される。

【謝辞】本研究は科学研究費(21H01359)と JST-CREST (JPMJCR20C3)の支援により実施した。

【参考文献】

- [1] S. Oh et al., *Appl. Phys. Lett. Mater.* **7**, 091109 (2019)
- [2] A.I. Khan et al., *Nat. Electron.* **3**, 588 (2020).
- [3] S. Takagi et al., *ECS Transactions* **104**, 17 (2021).
- [4] E. Nako et al., *VLSI Symp.*, TN1.6 (2020).
- [5] K. Toprasertpong et al., *Commun. Eng.* **1**, 21 (2022).
- [6] E. Nako et al., *VLSI Symp.*, C25-1 (2022).

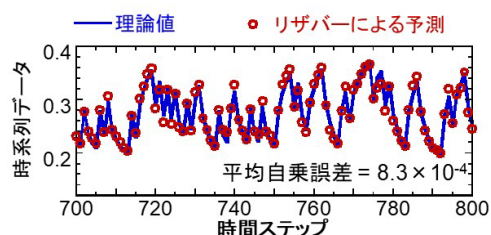


Fig. 2 二次非線形時系列データの予測

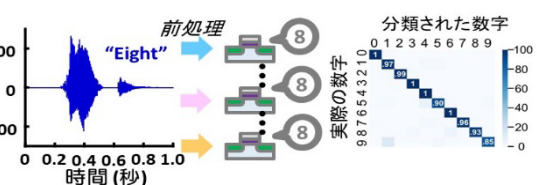


Fig. 3 発話数字の分類