

強誘電体 FET を用いたリザーバーコンピューティングの提案

Proposal of Reservoir Computing Using Ferroelectric FET

東大工, °トープラサートポン カシディット, 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: topprasertpong@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

近年、機械学習、特に深層学習による情報処理が幅広い応用において高い性能を発揮し、急速な進展を見せている。一方、学習にかかる計算負荷や消費電力の観点からエッジでの学習を実現させるには課題が多く残っている。

リザーバーコンピューティング[1,2]は学習の計算負荷が非常に軽く、エッジでの学習と情報処理を可能にする機械学習の方式として期待される。リザーバーコンピューティングの概念を Fig. 1 に示す。時系列の入力データをリザーバー部で非線形変換を行った後、リザーバーの出力ノードの値と重みとの積和演算を行うことで出力が計算される。深層学習と異なり、学習すべき重みが一層のみとなるため、高速な学習が可能である。

リザーバー部は(1)一時記憶と(2)非線形特性が備わった物理現象を活かして実装できることが要であり、様々な物理系が提案されている[3]。本研究で、我々はエッジでの AI 応用に向けて、リザーバーコンピューティングを従来の LSI や他の AI チップと集積化できる物理系に重点を置き、Si プラットフォーム上で実装できる強誘電体 FET (FeFET) をリザーバー部とするリザーバーコンピューティングを提案する。

FeFET は、Fig. 2 に示す様に、MOSFET の絶縁膜に強誘電体を用いるデバイスである。通常の誘電体と異なり、分極 P のヒステリシス特性を持ち、分極の状態によって閾値電圧が変わる、すなわち記憶の性質を有する MOSFET である (Fig. 3(a))。また、分極反転 (強誘電体の状態変化) の時定数が入力電圧によって変化する (Fig. 3(b)) ため、時間応答の非線形性を利

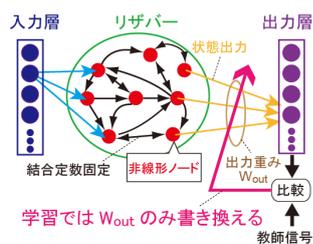


Fig. 1 Schematic of reservoir computing.

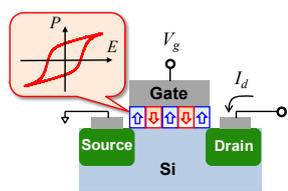


Fig. 2 Ferroelectric FET

用できると期待できる。さらに 2011 年頃に先端 CMOS LSI で既に使われている HfO₂ 系材料において強誘電体が発見され[4]、14 nm テクノロジーノードで FeFET を実現した報告例もある[5]。このように HfO₂ 系 FeFET はリザーバー部に求められる一時記憶と非線形性の性質を満たし、Si プラットフォーム上で集積できる有望なデバイスといえる。

FeFET を用いたリザーバーコンピューティングの一例を Fig. 4 に模式的に示す。時系列の入力信号をゲート電圧 V_g として入力し、ドレイン電流 I_d をリザーバーの状態ノードとして取り扱う。時間軸上の仮想ノードを用いることで多ノード化することができ、重み w_i と積和演算を行い、出力が計算される[6]。教師データと参照し、与えられたタスクに応じた重み w_i を決める。次の連続講演で実際の FeFET デバイスを使ったリザーバーコンピューティングの具体例を紹介する。

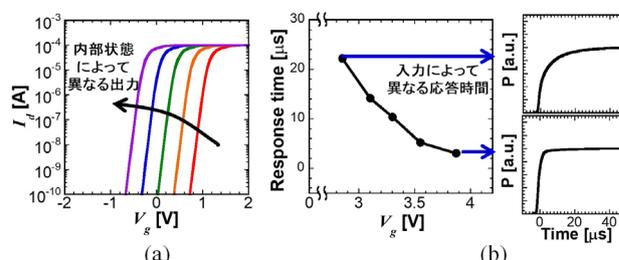


Fig. 3 (a) Memory and (b) nonlinearity in Ferroelectric FET

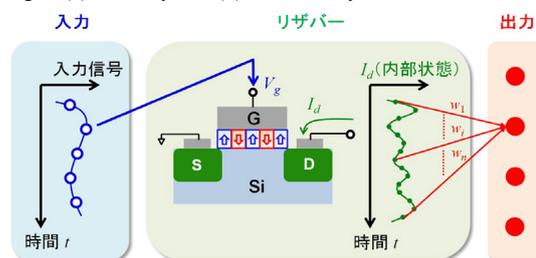


Fig. 4 Virtual nodes by time multiplexing

参考文献

- [1] W. Maass *et al.*, *Neural Comp.* **14**, 2531 (2002).
- [2] H. Jaeger, GMD Report 148 (2001).
- [3] G. Tanaka *et al.*, *Neural Networks* **115**, 100 (2019).
- [4] J. Müller *et al.*, *Nano Lett.* **12**, 4318 (2012).
- [5] Z. Krivokapic *et al.*, *IEDM2017*, 357 (2017).
- [6] L. Appeltant *et al.*, *Nat. Commun.* **2**, 468 (2011).