

時間領域積和演算回路のための FeFET アナログ記憶特性評価

Evaluation of analog memory characteristics of FeFET for Time-domain weighted-sum calculation

九工大・生命体工¹, 産総研² ◯原田將敬¹, 森江隆¹, 高橋光恵², 酒井滋樹²

Kyushu Inst. Tech.¹, AIST.², ◯M. Harada¹, T. Morie¹, M. Takahashi², S. Sakai²

E-mail: morie@brain.kyutech.ac.jp

[背景・目的] 超低消費電力で積和演算を実行するために、過度応答電圧を検出して時間領域で積和演算を行う回路方式が提案されている[1][2]。この方式では、高精度計算のために、高抵抗でかつ2-3桁以上の抵抗値変化があり、アナログ的に制御可能な抵抗素子が必要である。また、電流の逆流を防止するために整流機能も必要である(図1左)。そこで我々は、サブスレッショルド領域を用いることで高抵抗値が実現でき、ON/OFF比の大きな抵抗値を記憶できる強誘電体電界効果トランジスタ(FeFET)[3]を用いることを検討している(図1右)。なお、FETの場合、ソースとドレインの電圧の大小関係が入れ替わると、両者の役割が入れ替わり、自動的に整流機能を実現できる。今回、FeFETのアナログ記憶特性を過度応答特性から評価した結果を報告する。

[実験方法] 本研究では、FETのゲート絶縁膜として $(\text{HfO}_2)_{0.75}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0.25}$ (HAO)を7 nm、その上部に強誘電体 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT)を300 nm、電極としてPtを積層したPt/SBT/HAO/Si構成のFeFETを用いた。プローバ上で過渡応答を測定する際に、寄生容量が観測ノードの影響を受けないようp-FeFETを組み合わせ、ソースフォロワ回路を構成した(図2)。FeFETのゲートに電圧 V_g を印加することでしきい値を変化させて、ON抵抗値をアナログ的に記憶させた。このON抵抗がドレインノード寄生容量 C を充電する時定数を測定し、ON抵抗の変化量を測定した。なお、 C の値は既知の抵抗を用いて予め求めておいた($C=17$ pF)。

[実験結果] 図2に示すように各端子に電圧を印加した状態で、図3挿入図に示すSET用パルス V_g としてp-FeFETに印加後、READパルスを V_{in} および V_g として印加し、 V_{Fe} の変化をオシロスコープで観測した。その後RESET用パルスを印加し、同様にREAD時の V_{Fe} を観測した。SETおよびRESET時の過渡応答波形を図3に示す。過渡応答波形から時定数を求め、 C の測定値から算出した抵抗値はON抵抗=4.18 M Ω 、OFF抵抗=101 M Ω であり、両者の比は約24倍であった。さらに、 T_w および $V_g^{(w)}$ を調整した結果、ON/OFF比は最大で約76倍となった。次に、SET動作時 $V_g^{(w)}$ を-1から-6 Vまで変化させてON抵抗を測定した結果を図4に示す。 $V_g^{(w)}$ の絶対値を増加することでON抵抗が減少し、アナログ的にFeFETの抵抗値を制御できることを確認した。

[参考文献]

- [1] Q. Wang *et al.*, ICONIP (2016) pp. 240-247.
- [2] T. Tohara *et al.*, Appl. Phys. Express 9 (2016) 034201.
- [3] S. Sakai *et al.*, IEEE Electron Device Lett., 25 (2004) 369.

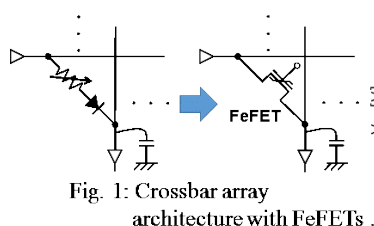


Fig. 1: Crossbar array architecture with FeFETs.

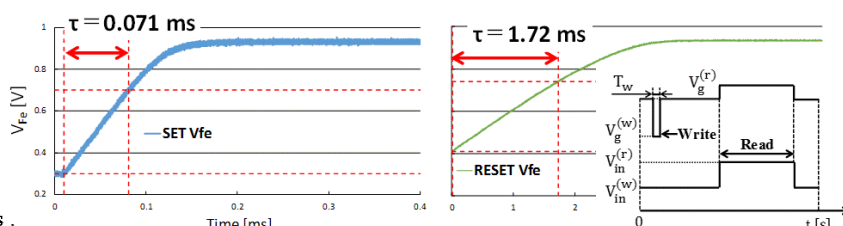


Fig. 3: Observed waveforms.

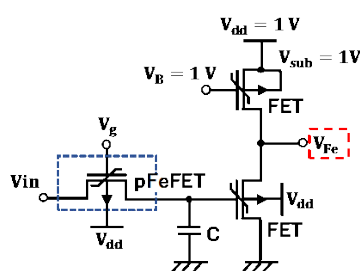


Fig. 2: Measurement circuit.

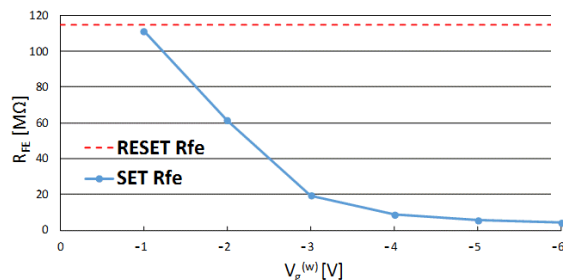


Fig. 4: Measurement results.

$$V_g^{(w)} = \begin{cases} -6 \text{ V (SET)} \\ 6 \text{ V (RESET)} \end{cases}$$

$$V_g^{(r)} = 1 \text{ V}$$

$$V_{in}^{(w)} = 0 \text{ V}$$

$$V_{in}^{(r)} = 1 \text{ V}$$

$$T_w = 10 \mu\text{s}$$

SET用/RESET用パルス