## 強誘電体トンネル接合メモリの大規模集積化に向けた設計に関する検討

Study on device design of a ferroelectric tunnel junction for large-scale integration 東大生研<sup>1</sup> 東大 d. lab<sup>2</sup> <sup>O</sup>(M2) 吉村 英将<sup>1</sup>, (D) 莫 非<sup>1</sup>, 平本 俊郎<sup>1</sup>, 小林 正治<sup>1,2</sup>
IIS<sup>1</sup>, d.lab<sup>2</sup>, Univ. Tokyo, °Hidemasa Yoshimura<sup>1</sup>, Fei Mo<sup>1</sup>, Toshiro Hiramoto<sup>1</sup>, Masaharu Kobayashi<sup>1,2</sup> E-mail: yoshimura@nano.iis.u-tokyo.ac.jp

## **背景** 大容量・低消費電力な不揮発性メモリとして強誘電体トンネル接合(FTJ)メモリが注目されている。FTJ は 2 端子の抵抗変化型メモリデバイスであるためクロスバーアレイ構造をとり高密度かつ低消費電力のストレージへ の応用が期待される。FTJ を用いたクロスバーアレイでは他の抵抗変化型メモリ同様、スニークパスの問題があ る。スニークパスの抑制のためには藤井らが 2016 年に示した[1]ように、FTJ の電流電圧特性の非対称性・非線形 性が重要となる。私たちはこれまで FTJ の微細化に関する研究を行ってきた[2]が、高いオン電流と高い抵抗オン オフ比を得ることを優先し、読出しディスターブの小さい読出し電圧 0.2V の領域を対象にシミュレーションを行

ってきており、非対称性・非線形性については十分に検討してこなかった。

そこで本研究では、セレクタを使わずにスニークパスをおさえた FTJ の大規模集積化を目指して、FTJ メモリセルが非線形性・非対称性を示す領域でのデバイス設計について検討する。

**計算方法** 金属(Al)-強誘電体(HfO<sub>2</sub>)-絶縁体(SiO<sub>2</sub>)-半導体構造(N<sup>+</sup>Si)において Thomas-fermi 遮蔽電位、半導体の電荷 と表面電位の解析式とポアソン方程式を同時に解いてポテンシャルを計算し、このポテンシャルを用いて非平衡 グリーン関数法により電流電圧特性の計算を行った。経験則として強誘電体の自発分極は強誘電体膜厚 t<sub>FE</sub>に比例 するとした。強誘電体厚 t<sub>FE</sub> と絶縁膜厚 t<sub>ox</sub>に対する FTJ の特性を読出し電圧を 1.0V で検討した。

<u>結果と考察</u>まず計算結果の一例として、tFE=4.0nm, tox=0.4nmのときのオン電流密度(JON)・オフ電流密度(JOFF)対電 圧特性を Fig.1 に示す。読出し電圧を 1V まで上げることで大きな非対称性と非線形性が得られることがわかる。

次に t<sub>ox</sub>, t<sub>FE</sub> に対する J<sub>ON</sub>の等高線図を Fig.2 に,電流オンオフ比(TER 比=(J<sub>ON</sub>-J<sub>OFF</sub>)/J<sub>OFF</sub>)の等高線図を Fig.3 に、非 対称性(1.0V と-1.0V での J<sub>ON</sub>の絶対値の比)の等高線図を Fig.4 に、そして非線形性(1.0V と 0.5V での J<sub>ON</sub>の 比)の等高線図を Fig.5 に示す。ここで強誘電体にかかる電界(E<sub>FE</sub>)は強誘電体の保持電界(約 1MV/cm)を超えて はいけないため、E<sub>FE</sub>=1MV/cm となる境界線を各々の等高線図には示した。境界線の上が設計可能領域となる。境 界線は t<sub>FE</sub> に対する感度が低い。これは分極電荷と膜厚が比例するという経験則のため分極電荷の E<sub>FE</sub>への影響に 膜厚依存性がないことによる。J<sub>ON</sub> は膜厚が薄いほど大きいため境界線にそって他の設計要件を考慮しながらでき るだけ薄い膜厚を選ぶ必要がある。一方 TER 比と非対称性・非線形性については基本的には膜厚を厚くするほど 大きいため、J<sub>ON</sub> と逆に境界線に沿って厚い膜厚を選ぶ必要があり、J<sub>ON</sub> とトレードオフの関係にある。そこでオ ン電流密度について 3 水準の設計ポイントに関して TER 比と非対称性・非線形性を Table 1 にまとめた。現在 2nm 程度の強誘電体 HfO<sub>2</sub>の実証があるのでデザイン A でも高い TER 比と非対称性・非線形性をもった FTJ の実現は 可能であるが、直径 20nm 程度まで微細化すると電流が pA オーダーとなる。より大きな読出し電圧での検討、極 薄 HfO<sub>2</sub> での強誘電性の強化、界面層のエンジニアリング、または並列読出しを用いる応用を検討する必要がある。 [1] S. Fujii, Y. Kamimura, T. Ino, Y. Nakasaki, R. Takaishi, and M. Saitoh, VLSI Tech. Symp. p.148. (2016)

