

鳥海 明

東京大学大学院工学系研究科
教授

二次元界面場により創出される新規材料物性の機能化

§ 1. 研究実施体制

(1) 鳥海グループ

- ① 研究代表者: 鳥海 明 (東京大学大学院工学系研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・強誘電体 HfO_2 薄膜の研究
 - ・負性容量効果および電界効果金属絶縁体転移の研究
 - ・機能性トンネル接合の研究

(2) 「右田」グループ

- ① 主たる共同研究者: 右田 真司 (産業技術総合研究所ナノエレクトロニクス研究部門、上級主任研究員)
- ② 研究項目
 - ・ 強誘電体 HfO_2 -FET の動作実証
 - ・ 負性容量効果トランジスタの検証

§ 2. 研究実施の概要

・強誘電体 HfO_2 物性の研究

今年度は極薄膜において強誘電性がどこまで発現するか、またこの強誘電性質は ZrO_2 でも発現するのかという観点に対して、広範囲に調べた。その結果、厚さ 5 nm までは強誘電性は単純に増加していくことを確認した(図 2-1)[1]。また、従来は報告されてこなかった薄膜 ZrO_2 における強誘電性の発現性に成功した(S. Shibayama et al., IEEE EDTM 2018)。前者は、単に強誘電性薄膜という物性的な面だけでなく、現実的な応用に利用しようとしたときの課題の抽出と可能性を示す結果ある。また後者は、従来から我々のグループで提案してきた HfO_2 の強誘電性の発現モデルが妥当性を示す結果であり、本薄膜材料の機能性を使う上で極めて重要な結果が得られた。さらに薄膜強誘電体の信頼性(cycling 特性)を調べ、薄膜強誘電体の大きなメリットとして示すことができた(X. Tian et al., IEEE IEDM 2017)。

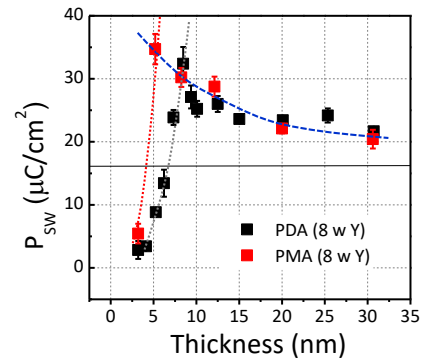


図 2-1 残留分極量の膜厚依存性。5nm 厚までは確実に増加していくことがわかる。

・負性容量効果および金属絶縁体転移効果の研究

Landau-Khalatnikov (LK) equation を時間微分方程式として正当に解析可能な TCAD を開発し、強誘電体負性容量 FinFET の性能向上指針を検討した。負性容量 FinFET にとって最適な残留分極量は 1~2 マイクロクーロンであることが分かった。分極量がこれよりも大きい場合はトランジスタ電流の変化率(SS: 数字が小さいほど高性能)が大きくなり、分極量がこれよりも小さい場合は SS の増加とともにヒステリシスが増大する。一般的な強誘電体材料の残留分極量は 10 マイクロクーロン以上と大きく、負性容量 FinFET の最適値と一致しない。この克服手段として我々は強誘電体をゲートコンタクトビアに設けた新しいトランジスタ構造を提案した(図 2-2)[2]。

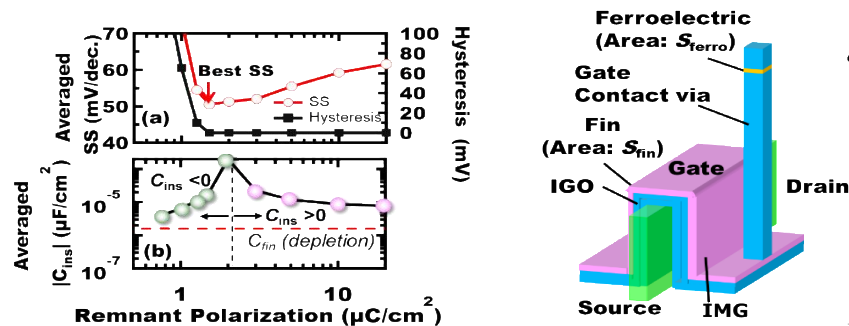


図 2-2 (左)強誘電体の残留分極量の大きさが負性容量ゲートトランジスタの性能に及ぼす影響。1~2 マイクロクーロンの残留分極量が最適値。(右)強誘電体材料の大きな残留分極量を最適値に調整可能なトランジスタ構造の提案。

•VO₂における Mott 転移を用いたデバイスの研究開発

VO₂ を用いた電界効果相転移に関して転移の急峻性が際だって向上されつつある. このメカニズムに関して現在, 詳細を調査中である. 一方, 2 端子 VO₂ の利用に関しては, VO₂ に電流を流すことによって発生する熱をVO₂内に積分する事によって絶縁体から金属的に転移をさせることを使う回路の原理実証をすることができた. 従来はキャパシタに電荷を蓄積することで行っていた回路を熱によって形成することができ, サイズの圧倒的な微細化を可能にする. ニューロモルフィック回路の要素素子としての可能性を示した[3].

•機能性トンネル接合の研究

Ferroelectric Tunneling Junction (FTJ)に関しては, 以前に比べて確実に On/Off 比の向上が実現されている. これは強誘電性 HfO₂の薄膜化が可能になり, トンネル電流の向上が実現できたことによる.

代表的論文3報

- [1]. X. Tian et al., Appl. Phys. Lett. **112**, 102902 (2018).
- [2]. H. Ota et al., Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 04FD03 (2018).
- [3]. T. Yajima et al., MRS Fall Meeting, EM07.06.03 (2017, Boston).