

## コンビナトリアル手法を用いたトンネルFET用n型酸化物半導体チャネル材料の検討

### Combinatorial synthesis for n-type oxide semiconductor based channel materials for tunnel FETs

1. 明大理工 2. 物質・材料研究機構 3. 明大 MREL

°大門祐貴<sup>1,2</sup>, 知京豊裕<sup>2</sup>, 小椋厚志<sup>1,3</sup>, 長田貴弘<sup>2,3</sup>

1. Meiji University 2. NIMS 3 MREL

°Y. Daimon<sup>1,2</sup>, T. Chikyow<sup>2</sup>, A. Ogura<sup>1,3</sup> and T. Nagata<sup>2,3</sup>

E-mail: ce211036@meiji.ac.jp

【はじめに】デバイスの低消費電力化のために、集積回路の電源電圧の低減が有効である。トンネル電界効果トランジスタ(TFET)は、電子のトンネル効果を利用して MOSFET の原理的な限界値である 60 mV/dec より小さなサブスレッショルドスイング値が期待でき、デバイス全体の低消費電力化が実現できる。近年、n型酸化物半導体(n-OS)の ZnO と p型IV族半導体(p-IV)の Si 及び Ge を組み合わせた bilayer 構造 TFET が提案されている[1]。しかし、容易に結晶化しやすい ZnO は粒成長の不均一性によって、膜全体でのトンネル距離を一定にするのが困難である。本研究では、n-OS 層で均一な非晶質膜の形成とキャリア生成に影響する酸素欠損状態を変化させるために、酸素結合解離エネルギーの高い Ti との固溶体  $Ti_xZn_{1-x}O_{1+x}$  や酸素との結合距離が短い Ga との固溶体  $Ga_{2x}Zn_{1-x}O_{1+2x}$  について検討した。n-OS 層は、コンビナトリアル手法を用いて組成傾斜試料を作製し、組成と電気特性、電子状態の相関を検討した。

【実験方法】作製した試料構造を Fig. 1 に示す。p-Si 基板上にレーザーアブレーション(PLD)法で  $Ti_xZn_{1-x}O_{1+x}$  及び  $Ga_{2x}Zn_{1-x}O_{1+2x}$  を基板温度 300 °C で作製した。結晶性評価は 2D-XRD、表面形状評価を AFM、電気特性を I-V 測定、電子状態・結合状態評価を XPS で実施した。

【実験方法】2D-XRD の測定結果から両組み合わせともに  $x \geq 0.2$  で、非晶質構造を示した。AFM の測定結果から、 $Ga_{2x}Zn_{1-x}O_{1+2x}$  では Ga の濃度の増加に伴い RMS 値が増大し、 $Ti_xZn_{1-x}O_{1+x}$  ではアモルファス構造の領域で RMS 値が 0.25 nm 以下の平坦な表面が確認できた。Fig. 2 に n-OS 層の膜厚が 10 nm の I-V

測定結果を示す。Fig. 2(a) で示した  $Ti_xZn_{1-x}O_{1+x}/p-Si$  は組成比  $x=0.5$  でオン電流 ( $I_{on}$ )とオフ電流 ( $I_{off}$ )が明瞭に表れ、 $I_{on}/I_{off}$  比が三桁以上であった。また、組成比  $x$  が 0.2~0.6 で  $I_{on}$  と  $I_{off}$  の差が表れ、その他の領域では  $x=0$  や  $x=1.0$  のように  $I_{off}$  状態が得られなかった。Fig. 2(b)で示した  $Ga_{2x}Zn_{1-x}O_{1+2x}/p-Si$  の  $x=0.6$  では明確な  $I_{off}$  が提供できず緩やかな電流変化となっている。これは RMS 値の変化に対応しておりチャネルの厚さが不均一になることで閾値の異なる複数の I-V 曲線が合計され緩やかな I-V 曲線を示したと考える[2]。このことから  $Ti_xZn_{1-x}O_{1+x}/p-Si$  の組み合わせが TFET への応用に有望であると考えられる。発表では、アモルファス領域に関する化学結合状態と電気特性の相関関係についても議論する。

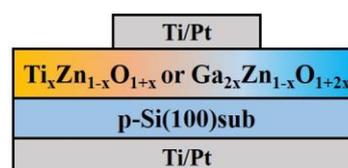


Fig. 1 Schematic illustration of n-OS/p-IV sample structure

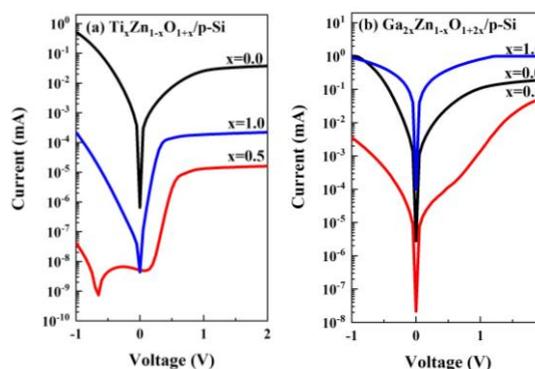


Fig. 2 I-V characteristics (n-OS thickness:10 nm)

[1] K. Kato *et al.*, J. Appl. Phys. 125, 195701 (2019).

[2] K. Kato *et al.*, AIP Adv., 9, 05500 (2019).