

# 低温 ALD 法で作製した C ドープ $\text{In}_2\text{O}_3$ 膜を用いた酸化物 TFT の特性

## Characteristics of oxide TFT using carbon-doped $\text{In}_2\text{O}_3$ thin films by low-temperature ALD

明治大学<sup>1</sup>, 物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクニクス拠点<sup>2</sup>,  
学振特別研究員 PD<sup>3</sup>, 学振特別研究員 DC<sup>4</sup>

○小林 陸<sup>1,2</sup>, 生田目 俊秀<sup>2</sup>, 栗島 一徳<sup>2,3</sup>, 女屋 崇<sup>1,2,4</sup>, 大井 暁彦<sup>2</sup>,  
池田 直樹<sup>2</sup>, 長田 貴弘<sup>2</sup>, 塚越 一仁<sup>2</sup>, 小椋 厚志<sup>1</sup>

Meiji Univ.<sup>1</sup>, WPI-MANA NIMS<sup>2</sup>, JSPS Research Fellow PD<sup>3</sup>, JSPS Research Fellow DC<sup>4</sup>

○R. Kobayashi<sup>1,2</sup>, T. Nabatame<sup>2</sup>, K. Kurishima<sup>2,3</sup>, T. Onaya<sup>1,2,4</sup>, A. Ohi<sup>2</sup>,

N. Ikeda<sup>2</sup>, T. Nagata<sup>2</sup>, K. Tsukagoshi<sup>2</sup>, and A. Ogura<sup>1</sup>

E-mail: [ce191022@meiji.ac.jp](mailto:ce191022@meiji.ac.jp)

【はじめに】In 系酸化物は、フレキシブル電子デバイスの一つである酸化物薄膜トランジスタ (Thin film transistor: TFT) のチャネル材料として広く研究されている。しかし、In 系酸化物は In の酸素かい離エネルギーが小さいために容易に酸素欠損 ( $V_O$ ) を生成しやすく制御することが困難であった。そこで、Ti-O (667  $\text{kJmol}^{-1}$ ), Si-O (779  $\text{kJmol}^{-1}$ ) 及び C-O (1076  $\text{kJmol}^{-1}$ ) などの大きな酸素かい離エネルギーを持つ元素を添加することによって  $V_O$  の抑制を試みた In-Ti-O, In-Si-O 及び In-Si-C-O をチャネル材料に用いた TFT が報告されている。[1, 2] 一方、フレキシブルデバイスの基板として PET フィルムが良く用いられるが、耐熱性の観点からプロセス温度が  $200^\circ\text{C}$  以下に制限されている。

$\text{In}_2\text{O}_3$  膜の作製方法として、原子層堆積 (Atomic layer deposition: ALD) 法が報告されている。しかし、as-grown の  $\text{In}_2\text{O}_3$  膜は金属的な特性を示すために、 $\text{O}_2$  あるいは  $\text{O}_3$  ポストアニールがなされているが、そのプロセスは一般に  $300^\circ\text{C}$  と高温であった。[3] 本研究では、 $150^\circ\text{C}$  の低温 ALD 法で作製した C ドープ  $\text{In}_2\text{O}_3$  (In-O-C) 膜をチャネル材料としたバックゲート型 TFT を作製し、低温  $\text{O}_3$  アニールによる In-O-C チャネルの電気特性の変化について調べた結果を報告する。

【実験方法】熱酸化膜 (250 nm) 付き  $p^{++}$ -Si 基板に、ALD 法で膜厚 5 nm の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  層を作製した。続いて、InEtCp 原料及び  $\text{H}_2\text{O}-\text{O}_3$  酸化剤ガスを用いた ALD 法により、 $150^\circ\text{C}$  で  $\text{In}_2\text{O}_3$  膜を 5 nm 成膜した。次にフォトリソプロセスでチャネルを形成し、続いて Ti/Au のソース・ドレイン電極を形成して、バックゲート TFT を作製した。最後に、 $\text{O}_3$  アニールは  $150^\circ\text{C}$  で 0-150 min と時間を変えて実施した。

【結果】原料及び酸化剤の供給量と  $\text{In}_2\text{O}_3$  膜の膜厚の関係より表面反応律速が確認された ALD モードで  $\text{In}_2\text{O}_3$  膜を成膜した。XPS 分析より  $\text{In}_2\text{O}_3$  膜は C 濃度が約 1.7% の In-O-C 膜 ( $\text{InO}_{1.16}\text{C}_{0.04}$ ) であった。Fig. 1 に as-grown

$\text{InO}_{1.16}\text{C}_{0.04}$  の断面 TEM 像を示す。TEM 像より  $\text{InO}_{1.16}\text{C}_{0.04}$  は、均質で平坦な膜構造であり、ディフラクション分析で回折スポットが認められない事よりアモルファス構造であることが分かった。Fig. 2 に  $\text{O}_3$  アニール時間を変えた TFT の  $I_d$ - $V_g$  特性を示す。as-grown では金属的な特性だったが、 $\text{O}_3$  アニール時間が 30 min で電界効果トランジスタのスイッチング特性が現れた。更に、アニール時間を長くすることで  $V_{th}$  は正方向にシフトした。 $\text{O}_3$  アニール時間 150 min では  $V_{th}$  ヒステリシス、電界効果移動度及び SS 値は各々、0.3 V,  $20.4 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  及び  $0.37 \text{ Vdec}^{-1}$  の優れたトランジスタ特性を示した。これは、C ドープによって  $\text{In}_2\text{O}_3$  膜が、アモルファス構造を維持できた事及び  $\text{In}_2\text{O}_3$  膜の過剰な  $V_O$  を低減できた事で  $\text{O}_3$  アニールによる  $V_O$  制御が効果的に実施できたためと考えられる。

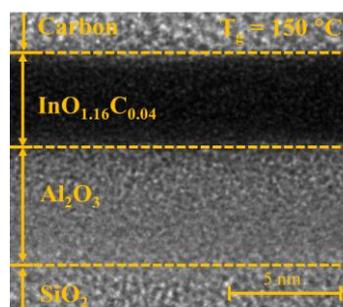


Fig. 1 A cross sectional TEM image of the as-grown  $\text{InO}_{1.16}\text{C}_{0.04}$  film on  $\text{Al}_2\text{O}_3$  layer.

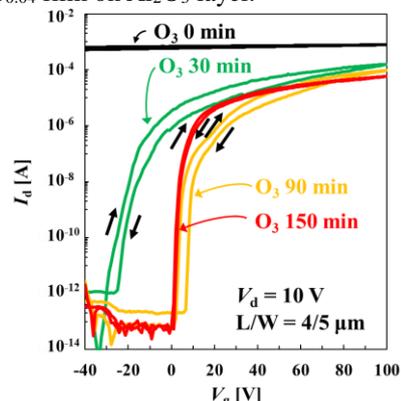


Fig. 2.  $I_d$ - $V_g$  characteristics of  $\text{InO}_{1.16}\text{C}_{0.04}$  TFT under different annealing time at  $150^\circ\text{C}$  in  $\text{O}_3$ .

### References

- [1] K. Kurishima et al., *J. Vac. Sci. Technol. B* **36**, 061206 (2018).
- [2] S. Aikawa et al., *Appl. Phys. Lett.* **103**, 172105 (2013).
- [3] J. Sheng et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces* **8**, 31136 (2016).