

B-doped In₂O₃ TFT 作製における未熱処理条件の探索

Development of thermal annealing treatment-free B-doped In₂O₃ TFTs

山寺真理(電気電子工学科)

Shinri Yamadera

高機能デバイス研究室 指導教員 相川慎也 准教授

1. 緒言

軽量かつ柔軟であるフレキシブルディスプレイを実現するため、薄膜トランジスタ(TFT)材料としてアモルファス酸化物半導体(AOS)が注目されている。好な電気的・光学的特性を持つとともに、ランダムな配列なため機械的変形に対して柔軟性を持つためである。

当研究グループでは、酸素結合解離エネルギーが高いドーパントとしてホウ素(B)に着目し、材料開発を行ってきた[1]。その結果、B ドーピング濃度に依存して金属的から半導体的に、連続的に導電性を制御できることがわかった。さらに透明導電膜用途において、未熱処理にも関わらず、従来透明導電膜 ITO と同等の電気伝導特性を示すことがわかり、新規フレキシブル透明導電材料として研究を進めている。

本研究ではB ドープ In₂O₃ (IBO)を半導体材料として、熱処理をせずに TFT として動作する作製条件を探索することを目的とする。一般に、熱処理は TFT 特性を安定させる有効な手法であるが、プラスチック基板は耐熱温度が低いことが課題である。このため、IBO を用いて未熱処理もしくは低温熱処理で安定動作する TFT が実現できれば、次世代フレキシブルディスプレイの TFT 材料として期待できる。

2. 実験方法

アセトン/IPA で超音波洗浄した SiO₂(200nm)付き Si 基板上に、RF マグネトロンスパッタ装置を用いてチャンネルをメタルマスク介してパターン成膜した。B 含有量はコスパッタ時の B 粒子数で調整した。TFT 作製にあたり、まず IBO チャンネル(10nm)を成膜した。スパッタ条件は RF 電力 30~100[W], O₂ 濃度 0~100[%], 成膜圧力 0.12~0.5[Pa]とした。コントロールサンプルとして、B ドープなしの In₂O₃を同様にパターン成膜した。次に TFT 電極形成のため、電子ビーム蒸着装置で銅(Cu)を 50nm 堆積させた。Si 基板をゲート電極とするバックゲート構造とした。

電気特性評価はマニュアルプローバに接続したソース・メジャーユニット(Agilent B2902A)を用いて Fig.2 (a)のように室温・大気圧下で V_{GS} = -40~40[V]でスイープさせ、V_{SD} = 40[V]一定として測定した。電界効果移動度 μ と Subthreshold Slope (SS 値)は以下(1), (2)式を用いて導出した。

$$\mu = \frac{2L}{WC} \left(\frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_{GS}} \right)^2$$

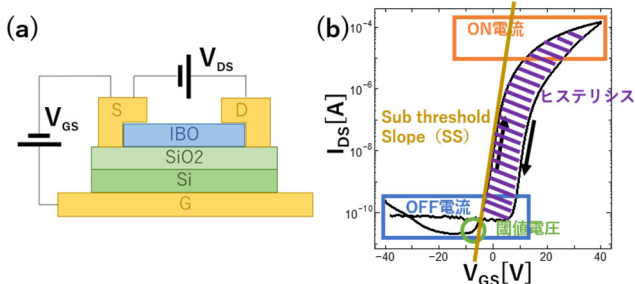


Fig.1 (a) 電気特性評価時の断面 TFT イメージ, (b) Transfer 特性の一例。

$$SS = \frac{dV_{GS}}{d(\log I_{DS})} \quad (2)$$

3. 実験結果および考察

Fig.2 (a)は、同条件で成膜した In₂O₃ および IBO を channel とした TFT の Transfer 特性を示す。In₂O₃ TFT は金属的特性を示した一方、IBO ではスイッチング挙動が観測された。同条件にも関わらず、このような違いが生じたのは、B の高い酸素結合解離エネルギー(B: 808.8[kJ/mol])に起因する。B は酸素と強く結合するため、In₂O₃ の酸素空孔を減少させ、半導体として機能したと言える。一方、In₂O₃ のみでは、酸素空孔による過剰なキャリアが存在し on-off 挙動を示さない特性となった。

Fig.2 (b)は、異なる成膜条件下で成膜した IBO TFT の Transfer 特性を示す。低成膜圧力条件下では、on/off 比が高く、SS 値が急峻になることがわかった。これは、膜密度が高くなったことを示唆する[2]。Thornton モデルによれば、低成膜圧力下では緻密で欠陥の少ない膜が得られるため[3]、急峻な SS を持つ TFT 特性が得られたと考えられる。最適化した成膜圧力 0.12[Pa]で作製した IBO TFT の特性を Table.1に示す。

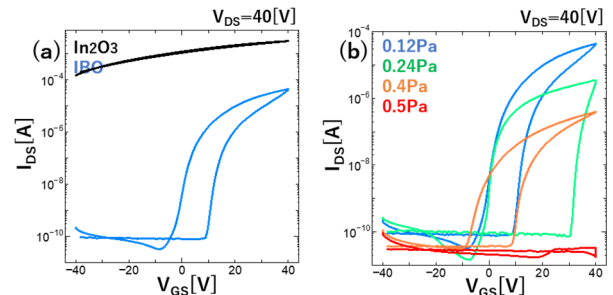


Fig.2 (a) In₂O₃ および IBO TFT の Transfer 特性. (b) IBO TFT 特性における channel 成膜圧力依存。

Table 1 最適成膜条件での典型的な IBO TFT 特性

on/off 比	電界効果移動度 [cm ² /Vs]	閾値電圧 [V]	SS 値 [V/dec]
1.3×10 ⁶	2.62	-8.8	1.96

(1) 4. 結言

本研究では、IBO のスパッタ成膜条件を最適化し、未熱処理で作製した TFT の特性評価を行った。その結果、電界効果移動度 2.62 [cm²/Vs], on/off 比 1.3×10⁶, 閾値電圧 -8.8[V], SS 値 1.96[V/dec]が得られた。B は酸素との結合解離エネルギーが高いため、効果的なキャリア抑制材となることがわかった。したがって、IBO を用いることで、未熱処理でも低欠陥の半導体膜が得られ、優れた特性の TFT を実現できる。

5. 参考文献

- [1] S. Aikawa et al., IEEE 20th International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO), pp. 202-206 (2020).
- [2] K. Ide et al., Jpn. J. Appl. Phys. 56, 03BB03 (2017)
- [3] N. Kikuchi et al., J. Vac. Soc. Jpn. Vol. 50, page15 (2007)