

熱処理を伴わないホウ素ドープ酸化インジウム TFT の作製条件最適化

Optimization of fabrication conditions of the B-doped In_2O_3 TFTs without annealing process

工学院大学 工学部 電気電子工学科 高機能デバイス研究室
山寺真理

指導教員 相川慎也 研究協力者 森峻, 野寺歩夢, 木菱完太, 小林亮太
キーワード: 酸化物半導体, 薄膜, トランジスタ, 透明, フレキシブル

1. 緒言

近年、情報化社会が進みスマートフォンは生活必需品となっている。しかし、落下によるディスプレイの損傷が問題になっており、解決策としてフレキシブルディスプレイの開発が求められている。さらにフレキシブルディスプレイは従来品に比べ軽量かつ柔軟であることから、ウェアラブルデバイスへの応用が注目されている。そのようなフレキシブルディスプレイを実現する薄膜トランジスタ (TFT) 材料として、アモルファス酸化物半導体が有力である。良好な電気的・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。

酸化物 TFT の母材としては、酸化インジウム (In_2O_3) 系材料が適している。 In_2O_3 は、球状の空間的広がりを持つ $\text{In}5s$ 軌道が伝導帯を形成するため、アモルファスであっても高い移動度を示すからである [1]。しかし、 In_2O_3 は酸素空孔を形成しやすいため、余剰キャリアによる TFT スイッチングが得られない問題がしばしば生ずる。この問題に対して酸素空孔サプレッサーとして、Si などの酸素結合解離エネルギーの高い不純物ドーピングが行われている [2]。

当研究グループでは、最近新しい高酸素結合解離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 [3]。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 In_2O_3 (IBO) の半導体材料としての可能性を広げるため、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、柔軟性を有するプラスチック基板には耐熱に制限がある。このため、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 材料と期待できる。

2. 実験方法

アセトン/IPA で超音波洗浄した SiO_2 (200 nm) 付き Si 基板上に、RF マグнетロンスパッタ装置を用いて In_2O_3 をメタル成膜した。B 含有量は、コスパッタ時の B 粒個数で調整した。TFT 作製にあたり、まず IBO チャネル (10 nm) を成膜した。スパッタ条件は、RF 電力 30~100 [W]、 O_2 濃度 0~100 [%]、成膜圧力 0.12~0.5 [Pa] とした。

次に TFT 電極成膜のため、電子ビーム蒸着装置で銅 (Cu) を 50 nm 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ーを用いて室温・大気圧下で $V_{GS} = -40 \sim 40$ [V] でスイープさせ、 $V_{SD} = 40$ [V] 一定測定した。電界効果移動度と Sub threshold Slope (SS 値) は (1), (2) 式を用いて導出した。

$$\mu = \frac{2L}{WC} \left(\frac{\partial \sqrt{I_{SD}}}{\partial V_{GS}} \right)^2 \quad (1)$$

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

測定時のイメージを Fig.1 の挿入図に示す。

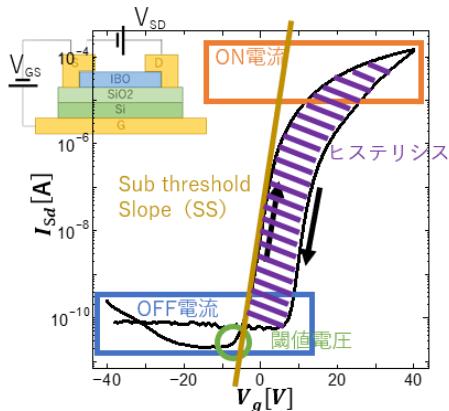


Fig.1 プローバー測定と特性評価

3. 実験結果及び考察

未ドープ In_2O_3 と IBO の TFT 特性を Fig.2 に示す。

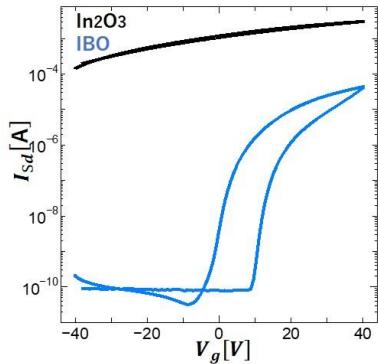


Fig.2 In_2O_3 と IBO の TFT 特性

同成膜条件下では、 In_2O_3 は酸素空孔による過剰なキャリアが存在し金属的特性を示した。IBO ではスイッチング挙動が観測され on 電流と off 電流の比 (on/off 比) 10^5 が得られた。Table 1 に IBO TFT 特性の結果を示す。

Table 1 IBO-TFT 特性評価結果

on/off 比	電界効果移動度 [cm ² /Vs]	閾値電圧 [V]	SS 値 [V/dec]
1.3×10^5	2.62	-8.8	1.96

未ドープ In_2O_3 と比較し、IBO で良好な TFT 特性が得られたのは、B の高い結合解離エネルギーに起因する (B: 808.8[kJ/mol])。酸素とより強く結合するため、 In_2O_3 での酸素空孔を減少させ、半導体膜として機能したと言える。

成膜圧力の変化による TFT 特性を Fig.3 に示す。

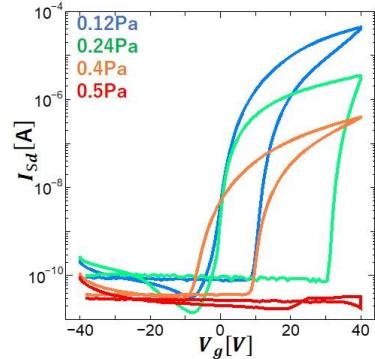


Fig.3 成膜圧力の変化における TFT 特性

成膜圧力が低い条件では、on/off 比が高く、SS 値が急峻であることが確認された。これは、膜密度の高密度によるものと示唆される[4]。Thornton モデルによれば[5]、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、TFT 特性の向上に寄与したと考えられる。

4. 結論

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 $2.62[\text{cm}^2/\text{Vs}]$ 、on/off 比 1.3×10^5 、閾値電圧 $-8.8[\text{V}]$ 、SS 値 $1.96[\text{V/dec}]$ が得られた。B は結合解離エネルギーが高いため、キャリア抑制剤となり TFT 特性を示すことから、未熱処理でも低欠陥の半導体膜を得る優れたドーパント材料であると考えられる。

5. 参考文献

- [1] K.Nomura et al., Nature volume 432, pages488–492 (2004)
- [2] S.Aikawa et al., Appl. Phys. Lett. 103, 172105 (2013)
- [3] S.Aikawa et al., IEEE 20th Virtual Conference July 29-30 (2020)
- [4] K.Ide et al., Jpn. J. Appl. Phys. 56, 03BB03 (2017)
- [5] N.Kikuthi et al., J. Vac. Soc. Jpn. Vol. 50, No. 1, (2007)