

PET 基板の上に室温スパッタ成膜した B ドープ In_2O_3 透明導電膜の酸素分圧最適化

Optimization of oxygen partial pressure of room-temperature sputter-deposited

B-doped In_2O_3 on PET substrate

工学院大 [○](M2)森 峻, 木菱 完太, 山寺 真理, 野寺 歩夢,
渡辺 幸太郎, 鷹野 一朗, 相川 慎也

Kogakuin Univ., Shun Mori, Kanta Kibishi, Shinri Yamadera, Ayumu Nodera,

Kotaro Watanabe, Ichiro Takano, Shinya Aikawa

E-mail: aikawa@cc.kogakuin.ac.jp

次世代エネルギー・情報デバイスとして、高透明なフレキシブル透明導電膜が求められている。現行 ITO は成膜後にアニールが必要なため、室温プロセスに限界がきている。また、変形時にクラックが発生することが問題となっている¹⁾。そのため、室温成膜可能なフレキシブル透明導電酸化物が求められている。 In_2O_3 系透明導電膜は、ドーパントのイオン半径を減少させることで、電子の散乱確率を低減することができる²⁾。この知見をもとに、VI配位においてイオン半径が 0.027 nm と非常に小さい B をドーブした IBO を開発した³⁾。その結果、室温で成膜したにも関わらず、 In_2O_3 に対して移動度が向上することを確認した。また、電気特性におけるドーパント濃度依存性より、最適 B 濃度が 2.5 at.% であることを明らかにした。良好な導電性・透明性と室温成膜が可能であるという特徴を活かし、プラスチック基板の上にフレキシブル透明導電膜として成膜した。しかしながら、酸素分圧条件については最適化できていない。そこで本研究では、IBO における成膜時の最適酸素分圧条件を見出すことを目的に、IBO の透過率および導電率の酸素分圧依存性を評価するとともに、最適条件における化学結合状態を解析する。また、IBO と ITO を屈曲試験、ナノインデンテーション試験によって比較し、脆性酸化物における機械的柔軟性について議論する。

Fig.1 に IBO における Figure of Merit (FoM) の酸素分圧依存性を示す。導出には $\text{FoM} = (T_{\text{av}})^{10}/R_{\text{sheet}}$ ⁴⁾ を用いた。 T_{av} は可視光領域(380~750 nm)の平均透過率、 R_{sheet} はシート抵抗を示す。成膜時の酸素分圧を 0 から 7.2×10^{-3} Pa に増加させると、FoM は $7.3 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$ から $6.26 \times 10^{-4} \Omega^{-1}$ に低下した。酸素分圧 0 において最も高い FoM が得られたのは、還元性スパッタリング雰囲気による低抵抗化のためである。この条件では、成膜に Ar のみを用い、 O_2 を導入していない。したがって、膜中に多くの酸素空孔 (V_O) が生成され、 V_O に起因する電子密度が高くなったと考えられる。このような還元環境下で成膜された ITO の場合、透過率が低下する。しかし、B は強い酸素結合解離エネルギー (808 kJ/mol) を持つため、膜中への酸素の取り込みが ITO に比して効果的である。Fig.2 に、IBO と比較用 ITO のナノインデンテーションによる負荷除荷試験の結果を示す。負荷-除荷曲線から、同じ試験力にも関わらず IBO の方がより深く圧子が押し込まれていることが確認された。また、弾性率は IBO と ITO においてそれぞれ 70 Gpa, 130.8 Gpa と算出され、IBO の方がより小さい値となった。この結果は、IBO の方がより柔軟性に優れることを示しており、屈曲試験の抵抗変化の結果と一致している。また、ITO は酸素導入によって結晶性が向上することが知られている⁵⁾。一方、IBO は完全なアモルファス材料のため、ランダムな結合角・結合長による応力緩和が、屈曲に対しての特性劣化を抑制していると考えられる。

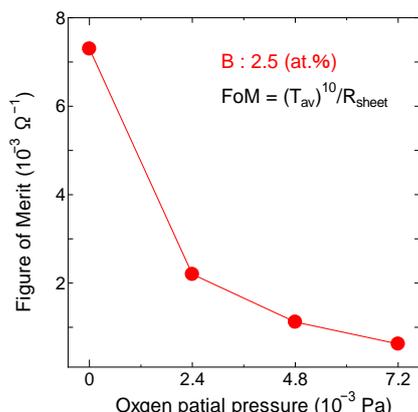


Fig.1 Oxygen partial pressure dependence of Figure of Merit in IBO.

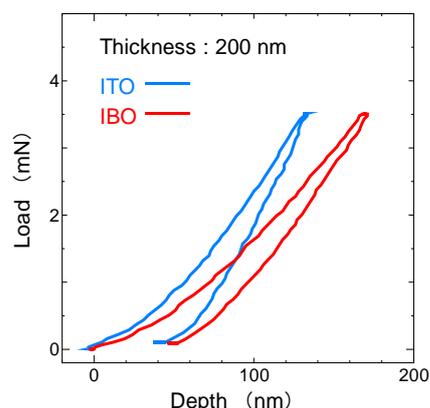


Fig.2 Load-depth curves of IBO and ITO

- 1) S. Jung, *et al.*, Thin Solid Films, 550, pp.435-443 (2014).
- 2) N. Mitoma, *et al.*, App. Phys. Lett., 106 p.042106 (2015).
- 3) S. Aikawa, *et al.*, Proc. of the IEEE 20th Int. Conf. Nanotechnol. (IEEE-NANO), pp.202-206 (2020).
- 4) C. Khag, *et al.*, Ceramics International, 48, 10, pp.13938-13947(2022).
- 5) Y-J. Kim, *et al.*, Thin Solid Films, 518, 22, pp.6241-6244 (2010).