

酸素負イオン照射した錫添加 In_2O_3 薄膜における特異なキャリア輸送特性Anomalous carrier transport of tin-doped In_2O_3 thin films irradiated with negative oxygen ions高知工科大総研¹, 住友重機械², 古林寛¹, 北見尚久^{1,2}, 酒見俊之², 木下公男², 前原誠², 牧野久雄¹, 山本哲也¹Research Inst., Kochi Univ. Tech.¹, Sumitomo Heavy Industries, Ltd.², Y. Furubayashi¹,H. Kitami^{1,2}, T. Sakemi², K. Kinoshita², M. Maehara², H. Makino¹, and T. Yamamoto¹

E-mail: furubayashi.yutaka@kochi-tech.ac.jp

はじめに: 錫添加 In_2O_3 (ITO) は優れた光学的透明性と電気伝導性を有し、透明導電膜として最も広く用いられている。ITO の電気特性は従来考察^[1]されているが、多結晶薄膜においては伝導を担う結晶子が有限サイズの障壁(粒界)で隔てられていると考える。その場合、ホール移動度 (μ_H) は光学移動度 (μ_{opt}) よりも小さいと想定される。一方、本研究では酸素負イオン (O^-) 照射後の ITO 薄膜において、 $\mu_H > \mu_{opt}$ となる照射条件が見出された。

実験方法: Corning ガラス基板上に、ITO 膜 (Sn: 5 wt%; 膜厚 45 nm) を反応性プラズマ蒸着 (RPD) 法により、基板温度 200 °C にて成膜した。X 線回折からは (222) ピークのみが観測された。成膜後、RPD 装置内で基板温度 200 °C において、バイアス電圧 (V_b) を印加しながら O^- 照射を 30 分行った後、大気中 200 °C で 30 分間熱処理した。電気特性 (μ_H とキャリア密度 (n_e)) はホール効果測定装置、光学特性は紫外線可視分光光度計を用いて評価した。透過/反射スペクトルをフレネルの式により解析し、複素屈折率を求め、近赤外光領域を Drude モデルで解析することで μ_{opt} を求めた^[2,3]。

結果: 成膜時酸素ガス流量 10 sccm の条件で $\rho = 1.3 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ を示す膜が得られた。図 1 (a) に、 n_e の O^- 照射での V_b 依存性 ($V_b = 0$ は O^- 照射なし) を示す。 O^- 照射による n_e 変化量は最大 $1.7 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ であった。大気圧下熱処理では n_e は殆ど変化が観られなかった一方で、 μ_H 及び μ_{opt} は変化を示した。図 1 (b) に μ_H と μ_{opt} の V_b 依存性を示す。 μ_H は V_b に拘わらず増加したが、 μ_{opt} は μ_H の半分以上まで減少した。図 2 では可視光領域の消衰係数 (k) と μ_{opt} とが負の相関を有することが示されているが、 O^- 照射によって結晶子内に格子間酸素の欠陥が導入され、その結果、 μ_{opt} の減少が誘発されたと考えている。 μ_H には粒界がキャリア輸送に与える情報が含まれることから、伝導経路が粒界にも存在するという可能性の議論が必要となる。酸素配位数が多い In の特性や酸化亜鉛で観られる柱状結晶子間粒界とは異なる粒界では、従来の伝導モデルとは異なる機構の可能性があり、更なる検討が必要である。

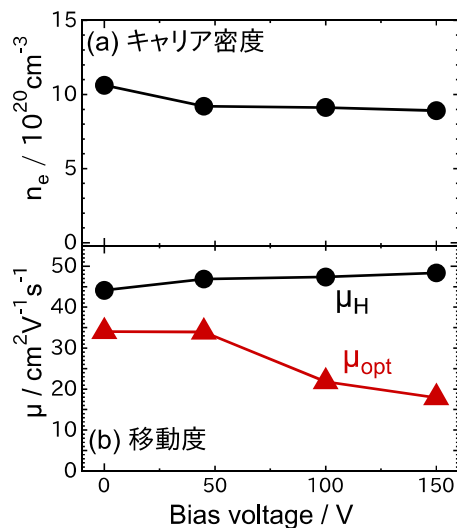
[1] Yamada *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **39**, 4158 (2000).[2] Furubayashi *et al.*, J. Appl. Phys. **101**, 093705 (2007). [3] Nomoto *et al.*, Sci. Adv. Mater. **9**, 1815 (2017).

図 1 ITO 多結晶膜 (酸素流量 10 sccm) における (a) キャリア密度及び (b) 移動度の O^- 照射 V_b 依存性

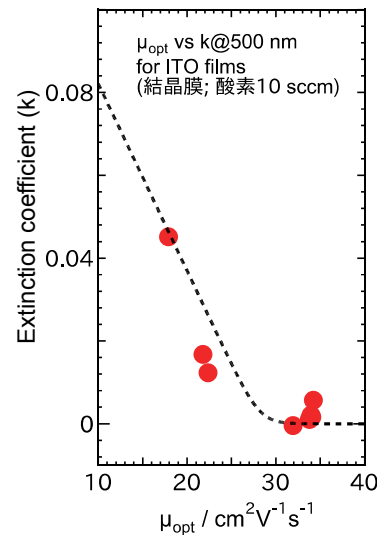


図 2 ITO 多結晶膜 (酸素流量 10 sccm) における光学移動度 (μ_{opt}) と波長 500 nm での消衰係数 (k) との関係