

W 添加 In_2O_3 薄膜における高ホール移動度の起源Origin of high Hall mobility of W-doped In_2O_3 films高知工科大総研¹, 住友重機械工業(株)² ○古林寛¹, 前原誠², 酒見俊之², 北見尚久^{1,2}, 山本哲也¹Research Inst., Kochi Univ. Tech.¹, Sumitomo Heavy Industries, Ltd.²,○Y. Furubayashi¹, M. Maehara², T. Sakemi², H. Kitami^{1,2}, and T. Yamamoto¹

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

はじめに: In_2O_3 系薄膜は高い電気伝導性と透過率を有する透明導電膜材料である。最近では錫添加 In_2O_3 (ITO) に代わり、高ホール移動度 (μ_{H}) を有するタングステン (W) 添加 In_2O_3 (IWO) 薄膜が太陽電池透明電極として有望視されている。しかし、高 μ_{H} の起源に関しては不明な点が多く、議論が進んでいない。本研究では、反応性プラズマ蒸着 (RPD) 法により成膜した極薄膜 IWO と ITO とにおいて、膜密度と電気特性の熱処理/膜厚依存性をドーパントと酸素との結合強度より考察した[1]。

実験方法: RPD 法を用い、ガラス基板 (Corning EAGLE XG) 上に基板非加熱下にて非晶質 IWO (a -IWO) 薄膜 (WO_3 : 1 wt.%) 及び非晶質 ITO (a -ITO) 薄膜 (SnO_2 : 5 wt. %) を様々な膜厚 (t) において成膜した。成膜後、真空雰囲気 (10^{-4} Pa 台) にて 250°C で 30 分間熱処理を行い、固相多結晶化 (各々 p -IWO と p -ITO 膜と呼称) させた。電気特性は室温下にての van der Pauw 法によるホール効果測定 (Nanometrics 社製 HL5500PC)、表面/界面粗さ特性は X 線反射率測定 (リガク社製 SmartLab) により評価した。

結果: 図 1 (a), (b) は、ITO, IWO 各薄膜の多結晶化前後における膜密度 (d_{m}) の t 依存性である。 a -ITO 薄膜は膜厚 10 nm 以下 (以下、極薄領域と呼称) で 6.6 g/cm^3 まで下がる [2] のに対し、 a -及び p -IWO 薄膜の d_{m} はいずれも t 依存性が観察されず、バルク In_2O_3 (7.1 g/cm^3) と同程度であった。図 2 (a)-(d) はキャリア濃度 (n_e) 及び μ_{H} の t 依存性を示す。IWO 薄膜において多結晶化前後で、いずれの t においても n_e 変化は小さい。一方、 μ_{H} は大きく増加した。 p -ITO 薄膜は a -ITO 薄膜に比べ、 t に関わらず n_e が急増し、 μ_{H} は低下した。前記 n_e の変化は極薄領域にて顕著であった。主原因は、Sn 活性化増大よりもドナー欠陥である酸素空孔 (V_O) 密度増大と考えている。理由は下記の通りである。W-O 結合解離エネルギー (720 kJ/mol) は Sn-O のそれ (528 kJ/mol) よりも大きい。故に IWO 薄膜では V_O が生じにくく、熱に強い In (W)-O 長距離ネットワークの形成が可能となり、その結果、高 μ_{H} 実現に繋がったと結論される [1]。

参考文献: [1] Y. Furubayashi et al., to be published in J. Phys. D: Appl. Phys. [2] Y. Furubayashi et al., Nanoscale Res. Lett. **14**, 120 (2019).

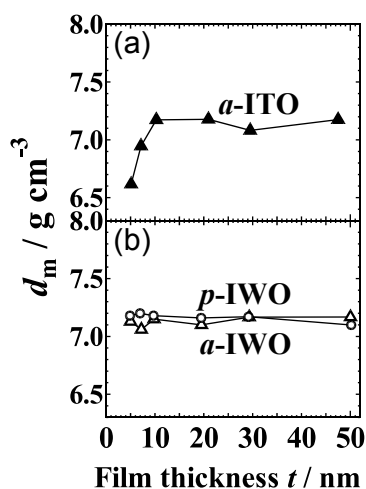


図 1: (a) ITO, (b) IWO 各薄膜における d_{m} の膜厚 t 依存性

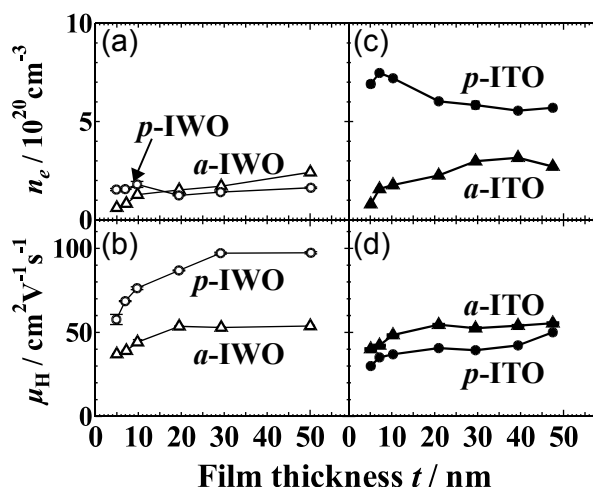


図 2: (a)(b) IWO, (c)(d) ITO 各薄膜における n_e , μ_{H} の膜厚 t 依存性