

Ta:SnO₂ エピタキシャル薄膜の輸送特性Electrical transport properties of Ta-doped SnO₂ epitaxial thin films東大院理¹, KAST², 都産技研³, 福本通孝¹, 中尾祥一郎², 重松圭², 小川大輔³, 森河和雄³, 廣瀬晴^{1,2}, 長谷川哲也^{1,2}Univ. of Tokyo¹, KAST², TIRF³, M. Fukumoto¹, S. Nakao², K. Shigematsu², D. Ogawa³, K. Morikawa³, Y. Hirose^{1,2}, and T. Hasegawa^{1,2}

E-mail: pon@chem.s.u-tokyo.ac.jp

【背景】 ZnO, In₂O₃, SnO₂に代表されるワイドギャップ酸化半導体は、太陽電池、液晶ディスプレイなどの透明電極として広く実用化されている。これまで ZnO と In₂O₃ では薄膜の高品質化・高移動度(μ_H)化や、キャリアの散乱機構が盛んに研究されてきた。その一方、SnO₂ ではそのような研究はほとんどない。そこで本研究では高品質な SnO₂ 薄膜を作製し、得られた輸送特性について散乱機構を検討した。

【薄膜作製】 Sn_{1-x}Ta_xO₂ (TTO, $x = 0.00003 \sim 0.01$) 薄膜を様々な成膜条件でパルスレーザー堆積法によって作製した。基板には SnO₂ と同じルチル構造で格子整合が比較的良好な TiO₂ (001) を用いた。

【結果と考察】 最適化された成膜条件(基板温度: 600°C、酸素分圧: 10 mTorr)において高結晶性(図 1 インセット)の (001) 配向エピタキシャル TTO 薄膜が得られた。これらの薄膜のキャリア濃度(n_e)は Ta 置換量(x)に応じて系統的に変化した(図 1)。ドーピング効率は非常に高く、Ta が理想的なドナーであることを示している。図 2 に本研究で得られた輸送特性と文献値(単結晶およびエピタキシャル薄膜)をまとめた。散乱機構を検討する為に、フォノン散乱の項 μ_{lat} およびイオン化不純物散乱の項 μ_{iis} のみからなる μ_H (μ_{cal}) を $\mu_{cal}^{-1} = \mu_{lat}^{-1} + \mu_{iis}^{-1}$ として求め、実験値と比較した。簡単のため μ_{lat} は単結晶の文献値 [1] に固定した。 μ_{iis} は Brooks-Herring-Dingle の式 [2] を用いて計算した。その際、有効質量には実験値 [3] を用いた。我々が作製した TTO 薄膜の μ_H は $n_e = 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 付近において $\sim 130 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ に達した。これは SnO₂ エピタキシャル薄膜の μ_H として過去最高値である。この膜を含む高 n_e 領域 ($n_e \geq 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) の μ_H は μ_{cal} と良く一致し、本薄膜の μ_H がイオン化不純物散乱とフォノン散乱のみで定量的に説明出来る事を示している。一方、低 n_e 領域 ($n_e < 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) では、 n_e の減少と共に μ_H は急速に低下して μ_{cal} を大幅に下回った。この振舞いは低 n_e 領域の μ_H が μ_{cal} で考慮していない散乱、すなわち粒界散乱や転位散乱等に支配されている事を示唆している。

【謝辞】 本研究は JST、CREST の支援を受けた。

[1] C. G. Fonstad *et al.*, J. Appl. Phys. **42**, 2911 (1971).

[2] R. B. Dingle, Philos. Mag. **46**, 831 (1955).

[3] M. Feneberg *et al.*, Phys. Status Solidi **A 211**, 82 (2014).

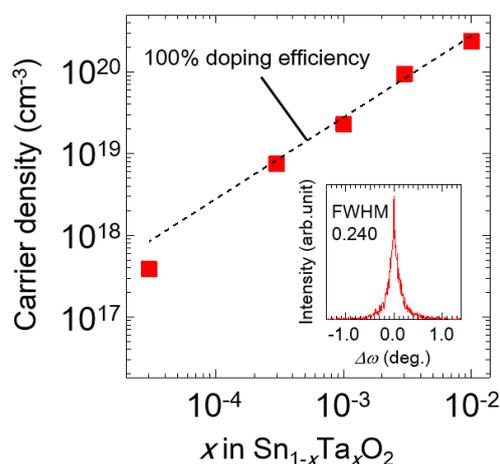


Fig. 1 Room temperature n_e as a function of x for the TTO films. Inset shows a typical rocking curve for 002 peak.

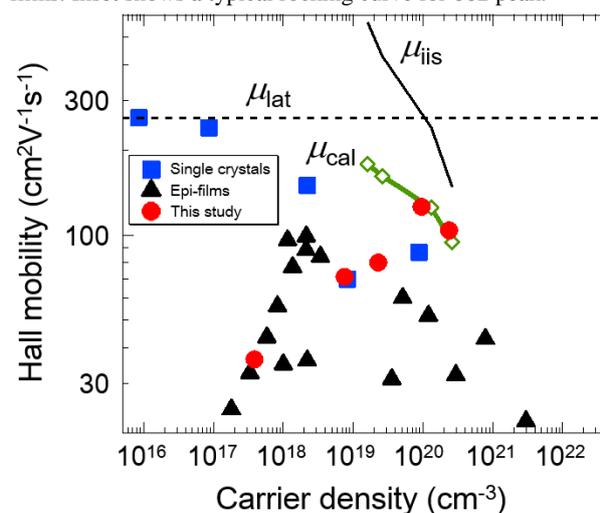


Fig. 2 Room temperature μ_H as a function of n_e for the TTO films (circles). Literature data for SnO₂ single crystals (squares) and epitaxial films (triangles) are also shown. μ_{iis} , μ_{lat} , and μ_{cal} are estimated μ_H . (See main text for details.)