

熱力学・動力学的条件制御に基づく SnO 薄膜の移動度制御 Tailoring the hole mobility in SnO films by modulating the growth thermodynamics and kinetics

簗原 誠人¹, 三溝 朱音², 菊地 直人¹, 阪東 恭子³, 吉田 良行¹, 相浦 義弘¹

¹産業技術総合研究所 電子光基礎技術研究部門、〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1

²東京理科大学大学院 先進工学研究科、〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1

³産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門、〒305-8565 つくば市東 1-1-1

Makoto MINOHARA^{1,*}, Akane SAMIZO^{1,2}, Naoto KIKUCHI^{1,2}, Kyoko K. BANDO³, Yoshiyuki YOSHIDA¹, and Yoshihiro AIURA²

¹E Research Institute for Advanced Electronics and Photonics, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan

²Department of Materials Science and Technology, Tokyo University of Science, Katsushika, Tokyo 125-8585, Japan

³Nanomaterials Research Institute, AIST, Tsukuba, Ibaraki 305-8565, Japan

1 はじめに

革新的な酸化物デバイス開発に向けて、現在実用化されている n 型酸化物半導体に匹敵する特性を有する p 型酸化物半導体の開発が強く求められている。最近我々は、パルスレーザー堆積法を用いて作製した SnO 薄膜において、製膜温度の低下によるキャリア密度の減少と、それに伴う正孔移動度の向上を報告した[1]。この結果は、SnO 薄膜の正孔移動度向上における、Sn 欠陥量の精密制御の重要性を示している。本研究では、精密欠陥制御によるさらなる移動度向上を目的とし、製膜温度に加え、レーザー密度を制御した SnO 薄膜作製を行なった。

2 実験

SnO 薄膜 (膜厚 100 nm) はパルスレーザー堆積法 (PLD 法) を用いて、YSZ (001) 基板上に作製した。製膜温度は既報[2]より低い 300 ~ 400 °C、レーザー密度は 6 ~ 18 Jcm⁻² の範囲で制御した。X 線構造解析 (XRD) により、SnO 薄膜の単相成長を確認した。PFAR-NW10A にて Sn K-edge の広域 X 線吸収微細構造 (EXAFS) 測定を行い、Sn 周りの配位数および結合長を確認した。作製した SnO 単相薄膜の半導体特性 (伝導型、キャリア濃度、移動度) は、4 端子法により評価した。擬ホールバー形状の作成は、アルミニウムワイヤーボンディングにより行なった。

3 結果および考察

Figure1(a)および(b)に、SnO 薄膜の Sn K-edge EXAFS 振動のフーリエ変換図の解析結果を示す。1.7、3.2 Å 近傍の特徴的な構造は、それぞれ第一近接原子の酸化物イオンおよび Sn イオンによる散乱 (それぞれ赤、青でハッチした領域) に由来する。フーリエ変換図の強度を決定づけるパラメーターである各構成バスの散乱因子やデバイワラー因子については、SnO 粉末体を参照試料として用いることで決定し、その際の原子間距離は XRD パターンのリートベルト解析結果を用いた。解析から得た SnO 薄

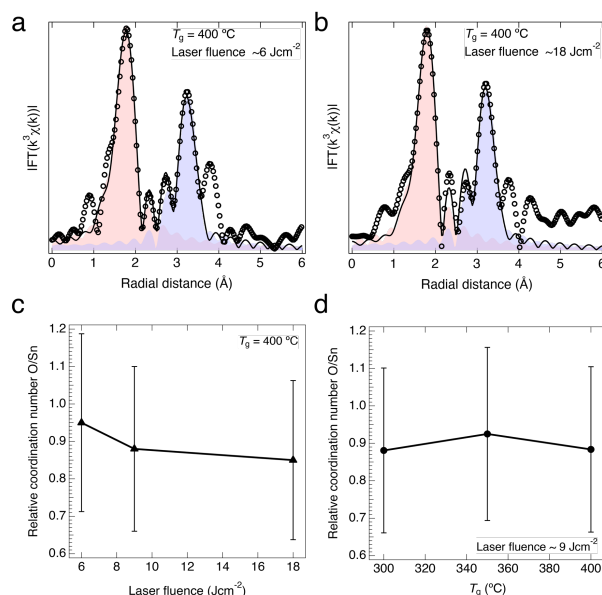


Figure1 (a,b) Best fitted curves (black lines) to k^3 -weighted Sn K-edge Fourier transformed EXAFS spectra (open circles) of SnO films grown at $T_g = 400$ °C with laser fluence of approximately (a) 6 Jcm⁻² and (b) 18 Jcm⁻². (c,d) Relative coordination number of O to Sn (O/Sn) via EXAFS measurements for representative samples: (c) Laser fluence dependence under the fixed T_g at 400 °C, and (d) T_g dependence under the fixed laser fluence of 9 Jcm⁻².

膜の O/Sn 比のレーザー密度および成長温度依存性を Figure1(c)および(d)にそれぞれ示す。O/Sn 比は成長温度の違いに鈍感である一方で、レーザー密度の増加に伴う減少傾向が見て取れる。レーザー密度の増加は成長速度の増大に対応することから、動力学的条件が SnO 薄膜の化学量論組成に影響を及ぼすことがわかった。レーザー密度の増加に伴う O/Sn 比の減少は、酸素欠損の増加、Sn 欠陥の低減、あるいはその両方が考えられる。ただし、いずれの場合にお

いても SnO 膜中の電子の増大に対応することから、正味の（正孔）キャリア密度の減少が推察される。

Figure2 に室温における SnO 薄膜の正孔移動度とキャリア密度の関係図を示す。キャリア密度は2桁以上にわたって制御可能であることがわかる。一方、正孔移動度は、 $21 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ の最大値をとる“火山型”のキャリア密度依存性を示すことが見て取れる。このことから、SnO 薄膜の正孔移動度は、高キャリア密度領域における不純物散乱 (Figure 2 挿入図) を含む複数のキャリア散乱因子により決定づけられているものと推察される[成果リスト1-3]。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K04946 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] M. Minohara *et al.*, *J. Mater. Chem. C* **7**, 6332 (2019).
- [2] Y. Ogo *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **93**, 032113 (2008).

成果

1. “Tailoring the hole mobility in SnO films by modulating the growth thermodynamics and kinetics”, **M. Minohara**, A. Samizo, N. Kikuchi, K. K. Bando, Y. Yoshida, and Y. Aiura, *J. Phys. Chem. C* **124**, 1755 (2019).
2. M. Minohara, A. Samizo, N. Kikuchi, K. K. Bando, Y. Yoshida, and Y. Aiura, The 3rd Workshop on Functional Materials Science, Hokkaido Univ. (Sapporo, Japan), Dec. 2019.
3. 簗原 誠人、三溝 朱音、菊地 直人、阪東 恭子、吉田 吉行、相浦 義弘、第 67 回 応用物理学会春季学術講演会、於 上智大学（東京）、2020 年 3 月

* m-minohara@aist.go.jp

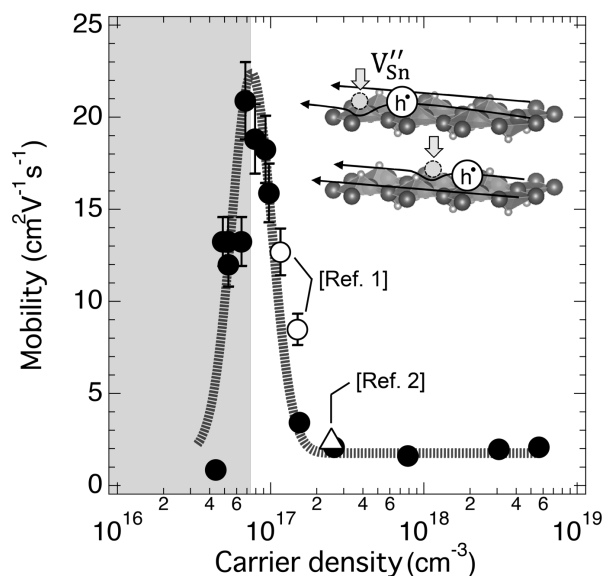


Figure2 Hole mobility at room temperature as a function of the carrier density for SnO films grown on YSZ (001) substrates, and originally reported SnO films [2]. The inset shows a cartoon picture of ionized impurity scattering for SnO.