

# 金属 Sn ターゲットを用いた p 型 SnO 薄膜形成におけるスパッタリング条件の最適化

## Optimization of sputtering conditions for p-type SnO thin films using metal Sn target

石田 哲也(電気電子工学科)

Tetsuya Ishida

高機能デバイス研究室 指導教員 相川 慎也 准教授

### 1. 緒言

酸化半導体は、高い透過性や低温プロセスが可能にもかかわらず、優れた電気特性が得られることが特長である。その利点を活用して、大面積ガラス基板上に TFT(薄膜トランジスタ)アレイが作製され、次世代ディスプレイのバックプレーンとして応用されている。n 型酸化半導体 TFT の特性が優れる一方、これに匹敵する p 型特性は得られていない。

代表的な p 型酸化半導体材料として、NiO[1], Cu<sub>2</sub>O[2], SnO[3]がある。なかでも SnO は、高い移動度を有していることから[4], n 型 TFT と相補回路が期待されている。SnO が高い移動度を有する理由は、価電子帯が球状の Sn 5s 軌道と O 2p 軌道の混成で形成されるため、O 2p 軌道を非局在化することからである[4]。しかし、SnO は準安定相であるため作製条件が厳しいことが課題である。

Caraveo-Frescas らは、成膜圧力(T<sub>p</sub>)と酸素分圧(O<sub>pp</sub>)を調整することで、SnO における最適な成膜条件を報告している[5]。条件調整の結果、18.71 cm<sup>2</sup>/Vs の Hall 移動度、および p 型 TFT において 6.75 cm<sup>2</sup>/Vs の電界効果移動度を得ている。しかし、SnO 相の成膜ウィンドウが非常に狭いため、再現性の高い結果を得るには、装置ごとの条件の最適化が必要である。

そこで本研究では、高品質な p 型 SnO 薄膜の作製条件拡張に向けて、まずは所有成膜装置での最適条件を見出すことを目的に、T<sub>p</sub> および O<sub>pp</sub> を調整して SnO 薄膜を作製するとともに、アニール前後での諸特性を評価する。

### 2. 実験方法

ガラス基板をアセトン、IPA の順に超音波洗浄し、UV 照射によって基板表面の有機物汚染を除去した。その後、RF マグネトロンスパッタ装置を用いて Ar/O<sub>2</sub> 混合雰囲気中で SnO 薄膜を成膜した。また、RF パワーを 100 W、T<sub>p</sub> を 0.2 Pa に固定し、O<sub>pp</sub> は 6 - 20 % の間で変化させ成膜した。後処理として大気中 250°C で 15 分、30 分、45 分間アニールを施した。膜の結晶性評価は X 線回折装置(XRD)で行った。紫外可視分光光度計(UV-vis)を用いて、透過率測定を行い、Tauc plot から光学バンドギャップを評価した。

### 3. 実験結果及び考察

Fig. 1 に T<sub>p</sub>:0.2 Pa, O<sub>pp</sub>:14 %, 16 %, 17 % で成膜し、大気中 250°C で 30 分間アニール処理を施した SnO 薄膜の Tauc plot を示す。縦軸に吸収係数(ahv)<sup>2</sup>、横軸に光子エネルギー-hv をとりプロットし、近似直線を外挿することで光学バンドギャップを決定した。O<sub>pp</sub>:14 % の膜では 2.65 eV となり、SnO の直接バンドギャップ(~2.8 eV[6])に近い値が得られた。一方、O<sub>pp</sub>:16 %, 17 % の膜では、それぞれ 2.83, 2.85 eV となり、SnO に近い値となった。このことから、14 % では膜内の酸素が少なく結晶化が不十分であり、一方、16 % 以上では十分な酸素が膜内に入り込み、結晶化が促進されたためだと考えられる。

Fig. 2 に O<sub>pp</sub>:14 %, 16 %, 17 % における XRD パターンを示す。すべての膜で SnO の代表的な(101)面のピークが確認された。O<sub>pp</sub>:16 %, 17 % の膜では、O<sub>pp</sub>:14 % の膜に比べて SnO(101)面のピーク強度が高くなっており結晶化が促進されたことを示唆する。また、O<sub>pp</sub>:16 % の膜では金属 Sn ピークが確認されたが O<sub>pp</sub>:17 % の膜では確認されなかった。このことから O<sub>pp</sub>:17 % で成膜することで、膜内の酸素が多くなり、金属 Sn が完全に酸化され、金属 Sn を含まない SnO 相を形成できると考

えられる。以上のことから O<sub>pp</sub> を調整することで膜内の酸素濃度を制御することができ、O<sub>pp</sub>:17 % で金属 Sn を含まない SnO を形成できることが分かった。

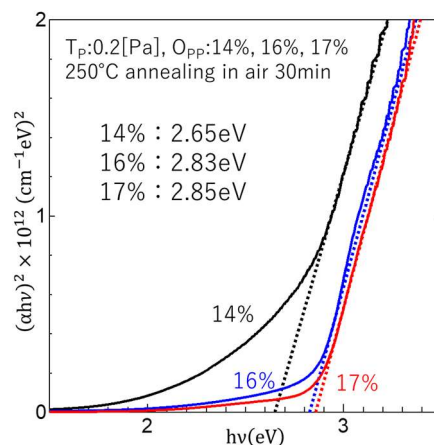


Fig. 1 作製した SnO 薄膜の Tauc plot

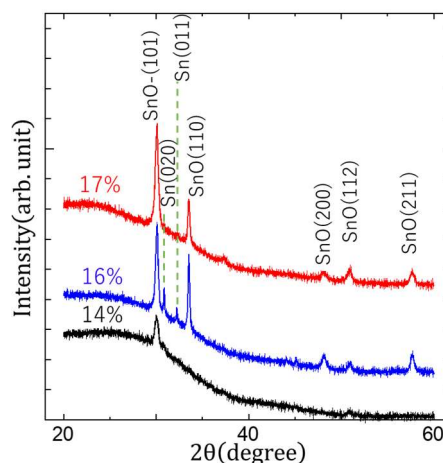


Fig. 2 作製した SnO 薄膜の XRD パターン

### 4. 結論

本研究では、スパッタリング法を用いた純粋な SnO 薄膜の作製のための成膜条件およびアニール条件の探索を行った。Tauc plot から O<sub>pp</sub> を上げると 17 % で SnO の光学バンドギャップに近い値が得られた。また、XRD 評価の結果、O<sub>pp</sub>:16 %, 17 % において、SnO の代表的な(101), (110)面に相当する回折ピークが得られた。O<sub>pp</sub>:16 % の SnO では、金属 Sn と SnO の共晶であることがわかった。したがって所有スパッタ装置では、純粋な SnO 薄膜の作製において 17 % が最適であることが確認できた。

### 5. 参考文献

- [1] Y. Chen, et al., *Thin Solid Films*, Vol. 592, pp.195-199 (2015).
- [2] S. Han, et al., *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 109, p.173502 (2016).
- [3] A.W. Lee, et al., *ACS Appl. Electron. Mater.*, Vol. 2, pp.1162-1168 (2020).
- [4] Y. Ogo, et al., *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 93, p.032113 (2008).
- [5] J. A. C-Frescas, et al., *ACS Nano*, Vol. 7, pp.5160-5167 (2013).
- [6] Saji et al., *Thin Solid Films*, Vol. 605, pp.193-201 (2016).