

窒素雰囲気中でスパッタ成膜した SnO_x 薄膜の電気特性評価

Characterization of electrical properties of SnO_x thin films deposited by sputtering in nitrogen

川口拓真(電気電子工学科)

Takuma Kawaguchi

高機能デバイス研究室 指導教員 相川慎也 准教授

1. 緒言

近年、酸化物半導体の研究が盛んにおこなわれている。特に、両極性 SnO_x 系半導体は、酸化物のみで CMOS や太陽電池への応用が期待できる[1]。しかしながら、n型酸化物 TFT と同等の性能を持つp型酸化物 TFT は報告されていない[1-3]。従って、p型酸化物半導体の高性能化が求められている。

酸化物半導体は、一般に、酸素空孔が多く存在するため、p 型伝導の成膜条件制御が困難である[4]。この課題に対し、本研究では、SnO₂の酸素サイトにアクセプタとしての振る舞いが期待される窒素に着目し、酸素サイトへの置換とそれに伴うキャリアタイプ変換を目的とした。窒素は、N³⁻のイオン半径と電気陰性度が O²⁻と同程度であるため、窒素をドーピングすることで、散乱要因となる酸素空孔が減少し、移動度向上につながると期待される[5-7]。

そこで本研究では、窒素雰囲気中でスパッタリングを行うことで窒素ドーパされた p 型 SnO_x 薄膜(SnON)を作製し、その成膜条件と電気特性の関係を明らかにする。また、アニール前後における SnON の電気特性と結晶構造の関係について調査する。

2. 実験方法

SiO₂(200 nm)膜付き Si 基板上に RF マグネトロンスパッタリング装置を用いて SnON を Ar/N₂混合ガス雰囲気中で成膜した。窒素比率は、3%~10%の間で変化させた。成膜後、窒素雰囲気下において 150~600℃で 30 分間のアニール処理を行った。薄膜の電気特性は、ホール測定装置を用いて、室温で測定した。また、X 線回折装置(XRD)を用いて、結晶構造を評価した。

3. 結果および考察

アニール温度におけるp型 SnON の収率および膜の概略図を Fig1(a)に示す。150℃以降から p 型特性が得られ、400℃以降で p 型が得られる割合が向上した。これは、as-depo 膜が結晶化し、窒素が酸素サイトへ置換することによって、酸素空孔が減少したことに起因するものと考えられる。また、600℃で 21.3%の p 型特性が得られたため 600℃アニールが最適だと判断した。しかし、ホール測定により膜全体が p 型伝導を示さないことが分かった。これは、Fig1(a)に示す概略図のように、p 型と n 型領域が混在しているためだと考えられる。

600℃アニールを施したときの窒素濃度が薄膜に及ぼす影響を Fig1(b)に示す。窒素濃度の減少に伴い、移動度およびシート抵抗が向上し、キャリア密度を抑制できた。

XRD 分析による結晶解析の結果を Fig2 に示す。XRD パターンで観察された回折ピークから 600℃以降で結晶化し単純正方格子を持つ多結晶 SnO₂ 相であることが確認された。このことから、as-depo 膜ではn型伝導を示す SnO₂ が、窒素雰囲気での成膜、及びアニール処理を行うことでp型伝導に変換型変換されることが分かった。

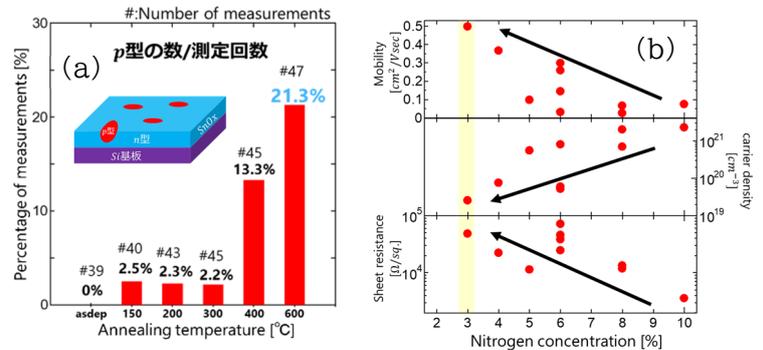


Fig1 (a)アニール温度におけるp型 SnON のヒストグラムおよび膜の概略図。(b)スパッタリング時の窒素濃度における電気特性

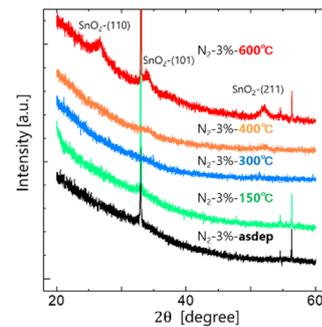


Fig2 窒素濃度 3%で成膜した SnON およびアニール処理後の XRD 回折パターン

4. 結論

Ar/N₂混合ガススパッタリングを用いて p 型 SnON 薄膜作製へ向けた成膜条件探索を行った。ホール測定の結果から 600℃で 21.3%と最も多く p 型特性が得られたため 600℃が最適条件であることがわかった。また、スパッタリング時の窒素濃度を下げることで電気特性が向上した。XRD 回折の結果から、600℃で結晶化し SnO₂ 相が支配的となった。as-depo 膜ではn型伝導を示す SnO₂ が窒素雰囲気での成膜、およびアニール処理を行うことで p型伝導に変換されることが分かった。したがって、窒素雰囲気でのスパッタ成膜およびアニールによりp型 SnO_x の作製条件が拡張されたとと言える。

5. 参考文献

- [1] R. Barros, et al., Nanomaterials **9**, 320 (2019)
- [2] J. Um, et al., Mater. Sci. Semicond. Process. **16**, 1679 (2013)
- [3] P.-C. Hsu, et al., ACS Appl. Mater. Interfaces **6**, 13724 (2014)
- [4] A. W. Lee, et al., ACS Appl. Electron. Mater. **2**, 1162 (2020).
- [5] T. T. Nguyen, et al., Ceram. Int. **45**, 9147 (2019)
- [6] Y. Kim, et al., Mater. Sci. Eng., B **177**, 1470 (2012)
- [7] Y. Kim, et al., Curr. Appl. Phys. **11**, S139 (2011)