CO2ガスセンサーの高感度化に向けた In2O3(400)優先成長条件探索

Investigation of In₂O₃(400) preferential growth conditions for improving CO₂ sensitivity

海老澤 雄一朗(電気電子工学科)

Yuichiro Ebisawa

高機能デバイス研究室 指導教員 相川 慎也 教授

1. 緒言

CO₂ ガスのモニタリングは日常生活において重要な役割を担っている.しかし, CO₂ は化学的に安定な分子のため, 高感度化が困難である.そのため, 現在は高感度検出が可能な赤外分光方式が用いられている.しかし, この方式は装置の大型化や高コスト化などの課題がある.これらを解決するため, 小型化や低コスト化に優れる新しい方式として, 酸化物半導体式ガスセンサーが提案されている.

酸化物半導体を用いた薄膜トランジスタ(TFT)は、ガスセンサ ーの小型化や低コスト化、ガス感度向上が可能なことから有望な 候補となっている。検出メカニズムは、チャネル表面へのガス吸 着による電流変化に基づく[1]. In2O3系半導体は活性な表面を有 している[2]. そのため室温で動作可能な高感度 NOx ガスセンサ ーが実証されている[3]. また CO2 は弱酸性であり、相互作用があ る塩基性酸化物 CaO や La2O3 などを半導体層に添加すれば、さ らなる高感度化が期待できる.

Nodera らは、In2O3と CaO とのコスパッタにより In2O3(400)面が 優先成長し、CO2 感度が向上したことを報告している[4].極性表 面である In2O3(400)面は非極性表面と比べ表面に酸素や水分子 が多く吸着し、電子トラップとして働く[5].この極性表面に、水分 子と反応性が高い CO2 が吸着すると、トラップ電子が放出され、 電流変化が大きくなることで、センシングが可能となる.

しかしながら、CO2感度の向上がCaドープによるものか、In2O3 の結晶面に由来するものなのか不明であった.そこで本研究で は感度向上の要因を明らかにするため、In2O3単体で In2O3(400) 面を成長させ、そのCO2感度を調査することを目的とする.

2. 実験方法

洗浄を行った SiO₂ 200 nm 付き Si 基板上に, RF スパッタリン グを用いて, In₂O₃ を成膜した. In₂O₃(400)面を優先成長させるた め, スパッタ成膜時の背圧に着目した. 成膜前の背圧を 1.0×10⁻³, 5.0×10⁻⁴, 1.0×10⁻⁴ Paと変え, RF 電力 50 W, 酸素比 25%で固定し た. また, 成膜圧力を 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 Pa の 5 条件で 20 nm 成膜した. In₂O₃ の結晶構造を調査するために, X 線回折装置 (XRD)にて結晶構造解析を行った.

3. 実験結果および考察

成膜圧力変化時の In₂O₃の XRD パターンを Fig. 1 に示す. 成膜圧力を高くすることで In₂O₃(400)面成長が確認された. 成膜圧力を低くした際, スパッタ粒子のエネルギーが保たれ, 平均自由行程が長くなるため,最安定構造である In₂O₃(222)面



Fig. 2 成膜圧力変化による結晶構造



Fig. 2 成膜圧力変化時のエネルギーフラックス



Fig. 3 背圧変化の結晶構造

が成長しやすい傾向にある.一方で,成膜圧力を高くすると, スパッタ粒子のエネルギーが小さく,平均自由行程が短くな るため,準安定構造である In₂O₃(400)面が成長すると考えられ る[6].成膜圧力変化時のエネルギーフラックスについて Fig. 2 に示す.

背圧 1.0×10⁴ Pa と 1.0×10⁻³ Pa とでの XRD パターンの比較 を Fig. 3 に示す.成膜圧力を 1.5 Pa に固定し,背圧を高くし ていくと In₂O₃(400)面の成長が確認できた.背圧が高い場合 は残留ガスである水素や水分子などの不純物がチャンバー 内の側面に吸着している.これらの不純物は,プラズマ化す ることで,成膜時の核成長に影響を与え,結晶構造が変化す る[7].したがって,In₂O₃(400)面が成長する.一方で,背圧が 低い場合は(400)面成長に起因する核形成がないため,安定構 造である(222)面が成長すると考えられる.

4. 結論

本研究では In₂O₃(400)面のスパッタ成膜時における成膜圧 力および背圧の関係を調査した.成膜圧力を 0.3Pa から 1.5Pa, 背圧を 1.0×10⁻⁴ Pa から 1.0×10⁻³ Pa に高くしていくことで, In₂O₃(400)面成長が確認できた. 今後の計画として In₂O₃(400) 面を優先成長させた薄膜を用いて TFT を作製し, その CO₂感 度を調査していく.

5. 参考文献

- [1] P. Matheswaran, et al., Sens. Actuators, B, Vol. 177, pp. 8-12 (2012).
- [2] G. Korotcenkov et al., Sens. Actuators, B, Vol. 128, pp. 51-62 (2007).
- [3] M. T. Vijjapu, et al., Sens. Actuators, B, Vol. 221, pp. 1-8 (2021).
- [4] A. Nodera, et al., Mater. Sci. Eng. B, Vol. 299, p. 117024 (2024).
- [5] Choi S, et al., IEEE Electron Device Lett., Vol. 22, pp. 281-282 (2012).
- [6] N. Kikuchi, et al., J. Vac. Sci. Technol., A, Vol. 50, pp. 15-16 (2006).
- [7] T. Koida, et al., J. Appl. Phys., Vol. 107, pp. 5-6 (2010).