

# In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系薄膜トランジスタによるCO<sub>2</sub>センシング Carbon dioxide sensing by Indium oxide-based thin film transistors

野寺 歩夢 (電気電子工学科)  
Ayumu Nodera

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、環境・農業・医療関連分野において、CO<sub>2</sub>濃度の検出が強く求められている[1]。

半導体式ガスセンサーは酸化物半導体の表面にガスが吸着することによって検出が可能となり、小型かつ安価なガスセンサーが望める。しかし、CO<sub>2</sub>は化学的に極めて安定なガスであるため、従来の化学抵抗変化方式では検出感度が低く、300℃以上の高温が必要なことが問題となっている[2]。このセンサーの応答性を改善するために、CO<sub>2</sub>との強い相互作用が期待される塩基性酸化物やアルカリ土類酸化物が利用されている[3]。

薄膜トランジスタ(TFT)は、液晶ディスプレイのバックプレーンとして使われており、その半導体材料としてIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系半導体が研究されている[4]。In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は構造柔軟性を有するため、イオン半径の異なる不純物原子を取り込みやすい[5]。また、活性な表面を有しているため[6]、室温で動作可能な高感度NO<sub>x</sub>ガスセンサーが実証されている[7]。

本研究では、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>と塩基性酸化物CaOとをコスパッタ成膜したIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Ca)薄膜をチャンネルとしたTFTを作製し、CO<sub>2</sub>センシングを評価した。

## 2. 実験方法

SiO<sub>2</sub> 200 nmを有するSi基板上に、ボトムゲート構造のTFTを作製した。チャンネル層はRFスパッタリングを用いて、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ターゲットとCaOペレットのコスパッタにより20 nmのチャンネル層を成膜した。電極は電子ビーム蒸着により、Cuを50 nm蒸着した。

作製したTFTに対し、真空プローバー内で不活性ガスであるN<sub>2</sub>雰囲気とセンシング対象であるCO<sub>2</sub>雰囲気中でそれぞれI-V測定を行った。表面での活性化を促すためサンプルステージを150℃に加熱した状態で評価した。また、X線回折装置(XRD)を用いてチャンネル薄膜の結晶性を評価をした。

## 3. 実験結果及び考察

In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Ca TFTの、N<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>雰囲気下でのI-V特性を図1に示す。N<sub>2</sub>雰囲気では、最大ドレイン電流(I<sub>dmax</sub>)が7.75×10<sup>-7</sup> A、ヒステリシス(V<sub>hys</sub>)が18.6 V、CO<sub>2</sub>雰囲気ではI<sub>dmax</sub>が2.23×10<sup>-6</sup> A、V<sub>hys</sub>が9.1 Vとなった。この結果より、CO<sub>2</sub>雰囲気はN<sub>2</sub>雰囲気と比べI<sub>dmax</sub>が約3.8倍に増加し、ヒステリシスが約9.5 V減少したことから、CO<sub>2</sub>ガスに対する応答を確認した。

電流増加のメカニズムは、吸着酸素の減少によるものだと考えられる。酸素分子は大気中でチャンネル表面に吸着し、電子をトラップする欠陥として作用する[8]。CO<sub>2</sub>雰囲気ではCO<sub>2</sub>とO<sup>2-</sup>が反応しCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>を生成することで、チャンネル表面の吸着酸素が減少する[9]。また、吸着酸素の減少は図1のヒステリシス(V<sub>hys</sub>)の減少からも確認できる。TFTのヒステリシス

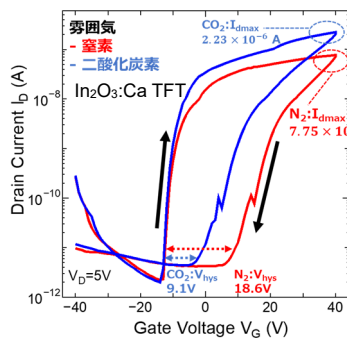


図1 N<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>雰囲気におけるI-V特性

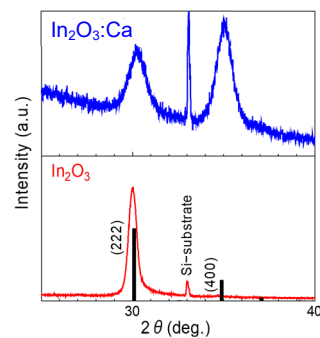


図2 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:CaのXRDパターン

はチャンネル界面での電子トラップに起因し、吸着酸素はゲート電圧を遮蔽するためオフ動作に必要なゲート電圧が低くなる[10]。このため、CO<sub>2</sub>雰囲気ではオフ動作のゲート電圧がマイナスシフトした。したがって、トラップ要因が減少したことでキャリア密度が増加し、I<sub>dmax</sub>の向上につながったと考えられる。

I-V特性の結果と結晶構造との関係を調査するためXRD解析を行った。In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:CaのXRDパターンを図2に示す。In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Caでは、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(222)より(400)のピーク強度が大きくなった。(400)面は(222)面に比べ、表面エネルギーが大きく、ガスの吸脱着が起こりやすい[11]。したがって、CaOとコスパッタ成膜したIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>表面では、CO<sub>2</sub>雰囲気に暴露することで吸着酸素が大幅に減少し、電流増加につながったと考えられる。

## 4. 結論

本研究では、TFT方式によるCO<sub>2</sub>センサーを実現するため、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびCaOとコスパッタ成膜したIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>をチャンネルとしたTFTを作製し、N<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>雰囲気下で比較した。In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Ca TFTにおいて、CO<sub>2</sub>雰囲気下でI<sub>dmax</sub>が約3.8倍に増加したことから、CO<sub>2</sub>ガスセンシングを確認した。これは、(400)リッチな活性なチャンネル表面での吸着酸素の減少が電流増加につながったためだと考えられる。

## 5. 参考文献

- [1] T. Ishihara, et al, Electrochemistry, 69, p.198-203 (2001).
- [2] P. Matheswaran, et al. Sens. Actuators B Chem. 177, p. 8-13 (2013)
- [3] P. Shankar, et al, Sci. Lett. 4, p. 126 (2015).
- [4] D. Han, et al, Sens. Actuators B Chem. 262, p. 655-663 (2018).
- [5] Utsuno, et al. Thin Solid Films, 496, pp. 95-98 (2006).
- [6] S. Aikawa, et al, Appl. Phys. Lett. 106, p. 192103 (2015).
- [7] M. T. Vijjapu, et al, Sens. Actuators B Chem. 331, (2021).
- [8] P. K. Kannan, et al, Ceram. Int. 40, p. 13115-13122 (2014).
- [9] S. Joshi, et al, J. Coll. Int. SC. 558, p. 310-322 (2020).
- [10] N. Kaushik, et al, npj 2D Mater Appl. 1, p. 34 (2017).
- [11] V. Brinzari, et al, Appl. Surf. Sci. 243, p. 335-344 (2005).