

In₂O₃ 薄膜トランジスタガスセンサーの表面改質による高感度化

Surface Modification of In₂O₃ Thin Film Transistor for High Sensitivity Gas Sensor

菅野 仁紀

指導教員 相川 慎也, 研究協力者 小林 亮太, 上野 将道, 海老澤 雄一郎
工学院大学 工学部 電気電子工学科 高機能デバイス研究室

CO₂は日常生活において重要な役割を担っているため高感度でのモニタリングが必要である。しかし、CO₂は安定な分子のため、センサーの高感度化が困難である。本研究では、In₂O₃ 薄膜の表面改質を行うことで、さらなる高感度化を目指す。

キーワード：半導体, 薄膜トランジスタ, CO₂ガスセンサー, 表面改質, プラズマ処理

1. 緒言

近年, 環境, 医療, 農業などの様々な分野で, 高感度な CO₂ ガスセンサーの開発が求められている。

各種のセンサーが提案される中, 半導体式ガスセンサーは低コスト化や小型化の点で優位性が高い。検出メカニズムは金属酸化物表面にガスが吸着することによって検出が可能である。しかしながら, CO₂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知に 300°C以上の高温動作や感度が低いという問題点がある。

この問題点を改善するために, 薄膜トランジスタ(TFT)構造が用いられている。TFT型ガスセンサーは高抵抗・サブスレッショルド・低抵抗領域があり, ゲート電圧を制御することで初期電流値を選択できるため, 比較的低温で良好な感度が期待できる。また, 酸化物TFTセンサーの候補材料としていくつか提案されているが, In₂O₃は活性表面を持つため, 高感度ガスセンサーとして期待されている[1]。

先行研究では, In₂O₃TFTを用いることにより, 150°Cの動作温度で高感度のTFTガスセンサーが報告されている[2]。

しかしながら, 動作温度が150°Cでは依然として消費電力が高く, 低温動作を行うため

に, さらなる高感度化が必要である。そこで, 酸素プラズマによる表面改質に着目した。チャンネル表面の吸着酸素が電子を奪い, 酸素イオンが生成されると, 半導体内部の自由電子の数が減少する。これにより, 半導体のキャリア濃度が減少し, 結果として電気抵抗が増加する[3]。この状態で, ガスが表面に接触すると, ガスは吸着した酸素イオンと反応して電子を半導体に戻す。この結果, 自由電子の数が増加し, 抵抗が低下する。それによるソースとドレインの電流と電圧の変化を測定することで, センサーはガスの存在を検知する[4]。酸素プラズマは酸素ガスを高エネルギーで活性化し, 酸素ラジカル, 酸素イオン, 電子などの高エネルギー粒子を生成する。これらの粒子が材料表面に衝突し付着する。よってこれらを通して感度上昇を目指す。

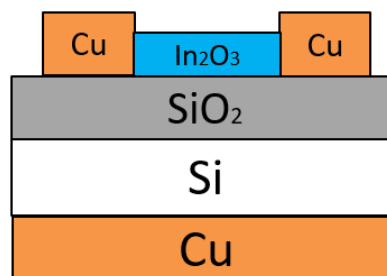


図1 : In₂O₃ TFT のボトムゲート構造

本研究では、 In_2O_3 TFT ガスセンサーに酸素プラズマを照射し、 In_2O_3 薄膜の表面改質を行うことで、さらなる高感度化を目指す。

2. 実験方法

SiO_2 200 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。その概略図を図 1 に示す。チャンネル層は RF マグネトロンスパッタリングにより O_2 濃度 25%の室温下で 20 nm の In_2O_3 を成膜した。その後、反応性イオンエッチングを用いて、 O_2 流量 5.0 sccm, 3.0 Pa, 10 min で 20 W, 40 W, 60 W の3つの条件で酸素プラズマを照射し酸素分子を付着させた。Transfer 特性評価のため、半導体パラメータ・アナライザを用いて I-V 特性評価を行った。ゲート電圧 V_G : -40~40 V, ドレイン電圧 V_D : 5 V と条件を固定し測定した。

3. 実験結果及び考察

In_2O_3 TFT のチャンネル表面に酸素プラズマを照射した際の Transfer 特性の結果を図 2 に示す。as-deposited 膜よりプラズマ照射を施した膜のヒステリシスは大きくなったことが確認できる。60 W で最もヒステリシスが大きくなり表面に酸素分子が吸着したことが確認できた。酸素分子が半導体表面に付着すると、酸素は伝導帯から電子を奪い、酸素イオンとして表面に吸着した。これにより、伝導帯の自由電子濃度が減少し、半導体の導電性が低下する。酸素が電子を捕獲・放出する過程が遅いため、電圧の変動に対する電流応答が遅れ、ヒステリシスが大きくなる。これがヒステリシスの大小と酸素分子の関係である。

吸着した酸素分子が半導体内の電子を奪い酸素イオンに変化する。それにより、半導体のキャリア濃度が減少し、結果として電気抵抗が増加する。この状態で、 CO_2 雰囲気下では、 CO_2 は吸着した酸素イオンと反応して脱離し、電子が伝導帯に放出される。この結果、自由電子の数が増加し、抵抗値が減少する。これにより酸素分子がチャンネル表面により多く付着している TFT の方が感度は高くなる。

よって、60 W でプラズマ照射を施した膜が最も感度が高くなると考えられる。

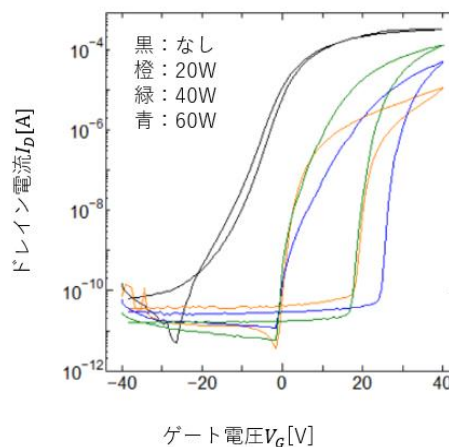


図 2：大気中の Transfer 特性

4. 結論

本研究では In_2O_3 TFT ガスセンサーの高感度化を実現するために TFT に酸素プラズマを照射し表面改質を行った。

酸素プラズマを照射することで表面に付着した酸素分子は多くなることが確認できた。今後は CO_2 雰囲気中でのガスセンシングを行う。

5. 参考文献

- [1] F. Utsuno, *et al.*, Thin Solid Films, Vol. 496, pp. 95-98 (2006).
- [2] A. Nodera, *et al.*, Mater. Sci. Eng. B. Vol. 299, pp. 117034 (2024).
- [3] Y. Hashimoto, *et al.*, IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng. Vol. 125, pp. 379-384 (2004).
- [4] F. Shan, *et al.*, IEEE Trans. Vol. 70, pp. 5678-5684 (2023)