

酸化インジウム TFT のガスセンシング特性

Gas sensing properties of indium oxide thin-film-transistors

中村圭佑 (電気システム工学科)

Keisuke Nakamura

高機能デバイス研究室 指導教員 相川 慎也 准教授

1. イントロダクション

酸化インジウム半導体を用いた薄膜トランジスタ (TFT) は室温成膜で優れた特性を示すが、TFT 特性が様々な環境条件下で変化することが知られている。Aikawa らの研究結果によると、真空デシケーター内で3か月間保管した酸化インジウム TFT は金属的特性を示し、さらに2週間大気中に放置することで作製直後に見られたスイッチング特性に再び回復したことが確認されている[1]。しかしながら、空気の主成分である窒素または酸素のどちらが影響し、元の挙動を示したのかはわかっていない。このことは、TFT の安定動作のためには抑制しなければならない。その一方で積極的に用いれば低温プロセス作製可能で特定のガスに対してガスセンサーとしての応用が可能である。本研究では、酸素、窒素環境下で TFT を測定し、その挙動変化を解明することを目的とする。

2. TFT の作製プロセスおよび測定方法

本実験では環境変化による電気特性を測定するため簡易な構造で TFT を作製した。SiO₂(200nm)付きシリコン基板をアセトン、IPA の順に浸し3分間超音波洗浄を行った後に UV 照射を4分間し表面をクリーニングした。三元スパッタ装置を用いて TFT チャンネルとしてシャドウマスクを介して、酸化インジウム薄膜をシリコン基板上に100nm になるように製膜時間を調節した。成膜時の条件は、背圧 5.0×10⁻⁴ Pa、電力 50W、O₂ 濃度 25% (Ar 流量:15sccm、O₂ 流量:5sccm)、成膜圧力 0.24 Pa とした。次に電子ビーム蒸着装置を用いて Cu を 70nm 成膜しソース、ドレイン電極とした。ソース、ドレイン電極の形状はマスク蒸着により規定された。シリコン基板裏面を削りゲート電極として Cu 板を Ag ペーストで固定した。作製した TFT の断面構造および測定系を図 1 に示す。

ガス導入測定の手順を下記に示す。下記手順での測定ではドレイン電圧を 40V、ゲート電圧を -40V から 40V にスイープさせ、40V から -40V にスイープを行う動作までを1つの測定とした。また、TFT は光によって特性が変化するため遮光し測定を行った。

[手順1] (窒素導入)

大気圧測定を行った後に、真空ポンプで真空チャンバー内を真空計が約 5.0×10⁻³Pa を示すよう真空環境を整え測定を行う真空環境を保持した状態から窒素ガスを導入し、大気圧下である約 1.0×10⁵Pa を大気圧計が示した段階で測定を開始し、特性に変化がなくなるまで連続で測定を行った。(約 100 回)

[手順2] (酸素導入)

大気圧測定を行った後に、真空ポンプで真空チャンバー内を真空計が約 5.0×10⁻³Pa を示すよう真空環境を整える。真空環境を保持した状態から酸素ガスを導入し、大気圧下である約 1.0×10⁵Pa を大気圧計が示した段階で測定を開始し、特性に変化がなくなるまで連続で測定を行った。(約 100 回)

3. 結果

図 2(a)および(b)に[手順1] (窒素導入時) および[手順2] (酸素導入時) で示した TFT 特性を示す。結果から大気圧下では両特性共にゲート電圧 0V 付近でスイッチング特性の挙動を示した。真空下ではスイッチングせず、金属的特性を示した。窒素、酸素導入時の挙動として図 2 (a)、図 2(b)のガス導入結果共にスイッチング特性を示している。しかし、初期状態である大気圧下の TFT 特性の立ち上がりゲート電圧に近い挙動を示したのは、酸素導入測定であることが図 2(a)、図 2(b)の特性比較から明らかとなった。

4. 考察

酸化インジウム TFT は真空下において酸素の脱着により酸素空孔が形成されることで金属的特性に変化することが知られている[1]。酸素導入時の結果から、真空状態再びスイッチング特性を示す状態に戻ったと考えられる。しかし、窒素の場合、常温下で不活性であるにも関

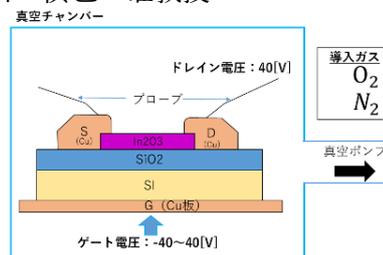


図 1 TFT の断面構造および測定系

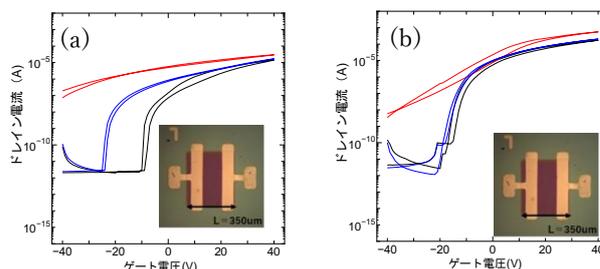


図 2 (a)窒素導入時(黒:大気圧、赤:真空、青:窒素最終測定)、および(b)酸素導入時(黒:大気圧、赤:真空、青:酸素最終測定)の典型的な IV 特性

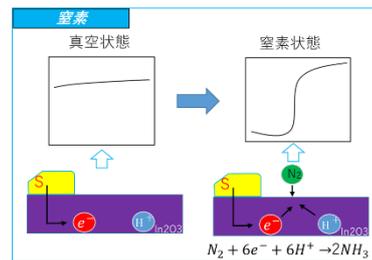


図 3 窒素導入時のアンモニア生成メカニズム

わらず金属的から半導体的挙動に遷移した。これは TFT 作製時に、酸化インジウムチャンネル内部に混入した水素分子の影響が考えられる。図 3 に示すように、真空状態で金属的特性になるメカニズムとして電極からの電子注入が原因として考えられる。電極からチャンネル内部に注入された電子が、測定環境に窒素を導入することで、窒素および水素イオンとともに結合し、アンモニアが生成された結果、TFT が半導体的スイッチング挙動を示したと推測される。このとき In₂O₃ 表面が触媒のような働きをすることで電子移動が生じて、In₂O₃ 薄膜の電子密度が低下した可能性が高い。

5. まとめ

本研究では、簡易構造の酸化インジウム TFT を作製し、ガスセンシング測定を行った。真空状態で金属的特性となった TFT は酸素、窒素の両ガスで再び半導体的スイッチングを示すことを確認できた。しかし、初期状態である大気圧下の TFT 特性の立ち上がりゲート電圧に近い挙動を示したのは酸素導入測定であることが分かった。今後の課題として O₂ 濃度、膜厚、アニール処理の及ぼす影響を行うことで測定条件をさらに検討し、メカニズムの理解につなげる。

6. 参考文献

[1] S. Aikawa, et al. "Suppression of excess oxygen for environmentally stable amorphous In-Si-O thin-film transistors", Appl. Phys. Lett., Vol. 106, 192103 (2015).