

In-Ga-O 薄膜トランジスタにおける電気的特性の組成比及び熱処理温度依存性

Effect of annealing temperature and composition ratio on electrical characteristics of In-Ga-O thin-film transistor

奈良先端大¹, °星川 輝¹, 高橋 崇典¹, 上沼 睦典¹, 浦岡 行治¹

NAIST¹, °Hikaru Hoshikawa¹, Takanori Takahashi¹, Mutsunori Uenuma¹, Yukiharu Uraoka¹

E-mail: uenuma@ms.naist.jp, hoshikawa.hikaru.he4@ms.naist.jp

【背景】非晶質酸化物半導体 (AOS) を用いた電界効果トランジスタ (FET) は適度な電子移動度、高耐圧性、極小 OFF 電流等の特徴から、大規模集積回路 (LSI) プロセスやストレージデバイス、三次元集積デバイスへの導入が期待されている^[1]。中でも、LSI における Back end of line (BEOL) 工程への実装が有力視されており、プロセス温度が 450 °C 以下であるため、AOS の作製温度と親和性を有している。一方で、BEOL トランジスタよりも高温熱処理が要求されるデバイスとして、強誘電体メモリが挙げられる。近年、強誘電性 HfO₂ を用いた三次元集積型強誘電体 FET (3D-FeFET) のチャンネルに酸化物半導体を用いることが提案されている。強誘電性 HfO₂ の結晶化温度は典型的に 500 °C 以上であるため、従来のディスプレイや BEOL 向け AOS 材料よりも高い熱処理耐性が要求される。IGZO のような AOS の場合は 600-700 °C で結晶化が進行し、電子移動度が劣化する^[2]。そのため、高温熱処理耐性の観点からは、多結晶酸化物半導体も候補になると考えられる。しかし、代表的な多結晶酸化物半導体である In₂O₃ を用いた場合、高移動度は得られるがキャリア密度の制御性に課題があり、酸素と高い結合エネルギーを持つ元素^[3]を添加する必要がある。そこで本研究グループでは、原子層堆積法におけるプロセスの制御性、電気的特性の熱的安定性の観点から、三元系 In-Ga-O (IGO) に着目した^[4]。前述の IGO の組成比では 600 °C まで非晶質相が維持され 25 cm²/Vs の移動度が確認された。しかし非晶質相の熱的安定性を考慮して組成比が決定されているため、700 °C の熱処理温度では結晶化に伴う移動度の低下が確認されている^[4]。一方でディスプレイ応用に向けて多結晶 IGO (poly-IGO) が開発され、42 cm²/Vs の移動度が得られている^[5]。しかし、FeFET や三次元集積デバイスにおいてはディスプレイ向け材料とは特性要求が大きく異なり、チャンネルの薄膜化や高温プロセス温度に対する耐性を考慮しなければならない。そこで本研究では、高温熱処理耐性を有する poly-IGO の実現に向けて、最適な In:Ga 組成比を探索することを目的とした。

【実験方法】IGO 薄膜の成膜には Co-sputter 法を用い、In₂O₃ と Ga₂O₃ ターゲットの放電電力を調整することで膜中の In :Ga 比率を制御した。IGO 膜の結晶性は X 線回折法を用いて、組成比は XPS と RBS を用いて測定した。熱酸化 SiO₂/低抵抗 Si 基板上に膜厚 10 nm の IGO を成膜し、AlO_x 保護膜を有するトップコンタクト/ボトムゲート型の薄膜トランジスタ (TFT) を作製した。チャンネルのパターニング後に大気雰囲気中で 300-700 °C で熱処理を行った。

【実験結果】Fig.1 に IGO-TFT の伝達特性の Ga 濃度、熱処理温度依存性を示す。IGO チャンネル中の Ga 濃度を 20-37 at% まで変化させた結果、Ga :20 at% では 500 °C 以上で、Ga :37 at% では 700 °C 以上で多結晶であることを確認した。IGO-TFT からは Ga :20 at% では非晶質時に 44.2 cm²/Vs、熱処理温度 700 °C では 38.6 cm²/Vs の電界効果移動度 (μ_{FE}) が得られた。結晶化による μ_{FE} の低下は確認されたが、全ての温度域で 38 cm²/Vs 以上の μ_{FE} を達成した。また、Ga :37 at% では非晶質で 26.5 cm²/Vs、熱処理温度 700 °C で 13.0 cm²/Vs の μ_{FE} が得られ、結晶化に伴う移動度の低下が確認された^[4]。これらの結果より 700 °C の熱処理においても高い移動度を維持できる組成が明らかになった。発表では、熱処理温度や In:Ga 組成比が IGO 膜の結晶性、TFT の電気的特性に及ぼす影響の詳細を報告する。

【参考文献】

- [1] N. Saito et al., IEEE J. Electron Devices Society, **6**, 500 (2018).
- [2] A. Suko et al., Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 35504 (2016).
- [3] K. Nomura et al., J. Appl. Phys. **45**, 4303 (2006).
- [4] T. Takahashi et al., 第 83 回応用物理学会学術講演会, 21p-B203-19, (2022).
- [5] K. Ebata et al., Appl. Phys. Express **5**, 011102 (2012).

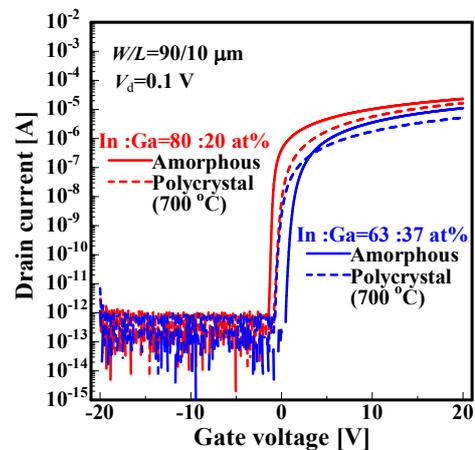


Figure 1 Effects of Ga concentration and annealing temperature on the transfer characteristics of IGO-TFTs.