

論文内容の要旨

博士論文題目 非晶質酸化物半導体における信頼性解析と三次元集積デバイス応用に向けた機能性の開拓

氏名 高橋 崇典

(論文内容の要旨)

本研究では、省エネルギーな半導体デバイスの開発に向けて、酸化物半導体と電界効果トランジスタを研究対象とし、高電界下における非晶質酸化物半導体 (AOS) を用いた薄膜トランジスタ (TFT) の信頼性劣化機構を理解すること、次世代の三次元集積デバイスへの応用を見据えた AOS 材料の機能性開拓を行うことを目的とした。

第二章と第三章では、AOS-TFT の信頼性劣化現象について議論した。本研究では、AOS-TFT におけるホットキャリア効果に着目し、エミッション顕微鏡を用いて観測した発光現象と電気的特性の関係性を評価した。第二章では、典型的な In-Ga-Zn-O (IGZO) を用いた TFT においてホットキャリア劣化現象が存在することを光学的、電気的に初めて明確にした。第三章では、IGZO よりも高い移動度を有する AOS-TFT において、ホットキャリアが発生した際に、ON 電流の低下等の新たな劣化現象を引き起こすこと示した。本研究で扱った AOS-TFT のホットキャリア効果と信頼性劣化現象の理解は、素子設計、TFT の動作条件決定、高移動度化/高信頼性を指向する AOS 材料の設計に貢献することが期待される。

第四章と第五章では、AOS の三次元集積デバイス応用に向けて AOS 材料に対する特性要求や成膜手法について議論した。本研究では、三次元集積デバイスとして HfO_2 系材料を用いた強誘電体メモリに着目し、AOS 材料の物性と熱処理温度や雰囲気、成膜手法の関係性を考慮し、三元系 AOS の材料探索を行った。本研究では、ディスプレイ応用時とは異なる新たな視点から AOS 材料に対する特性要求を明示し、これまでありふれた AOS 材料であった三元系 In-Ga-O (IGO) に新たな機能性を見出すことに成功した。三元系 IGO を用いた強誘電体デバイスからは明瞭なヒステリシス特性が得られ、IGO を原子層堆積法によって成膜した場合においても非晶質相と電気的特性の良好な熱的安定性を有することを実証した。

本研究で得られた以上の知見は高性能かつ高信頼性な酸化物半導体材料の開発や素子設計に指針を与えるものであり、酸化物半導体の物性や機能性に立脚する次世代半導体デバイスの実現に貢献することが期待される。

(論文審査結果の要旨)

本論文は非晶質酸化物半導体 (AOS) を用いた薄膜トランジスタ (TFT) の信頼性劣化現象の解析と三次元集積デバイス応用に向けた材料と成膜技術の開発を行ったものである。

第二章と第三章では、AOS-TFT におけるホットキャリア効果を研究対象として、信頼性劣化への影響について議論している。第二章では In-Ga-Zn-O を用いた TFT を高ドレイン電圧印加によって動作させた際に、ドレイン電極端からの発光現象を伴うこと、電気的特性の評価からドレイン領域近傍に電位障壁が形成し局所的な空乏化が誘引されることを示し、AOS-TFT においてはホットキャリア現象が潜在的な劣化現象として位置づくことを明確化することに成功している。第三章では、高移動度 AOS-TFT のホットキャリア効果に着目し、交流ゲート電圧ストレス試験後に従来の AOS-TFT とは異なる新たな信頼性劣化挙動が発現することを示した。本ストレス条件下ではドレイン/ソースの電極両端から発光現象が確認されており、高移動度 AOS-TFT の場合はホットキャリア劣化現象が顕在化する可能性があることを議論した。本論文では、AOS-TFT におけるホットキャリア効果を直接観測することに初めて成功し、劣化現象との因果関係を明らかにしている点が大きく評価できる。

第四章と第五章では、AOS を三次元集積デバイスに応用に向けて、AOS に対する特性要求や技術要求を提示し、概念実証を行っている。第四章では、強誘電体電界効果トランジスタ (FeFET) に AOS に実装することを想定し、原子層堆積 (ALD) 法による成膜が容易な三元系材料を用いることを提示し、高温熱処理プロセスに対する非晶質相や電気的特性の安定性の観点から、材料組成を系統的に探索し In-Ga-O (IGO) が有望な材料系に成り得ることを見出している。また、第五章では三次元集積デバイス応用に向けて AOS 材料を従来のスパッタ法ではなく、ALD 法を用いた成膜プロセスの開発に取り組んでいる。第五章で明らかにした高温熱処理耐性を有する IGO を ALD 法によって成膜し、スパッタ法と同等の非晶質相と電気的特性の熱的安定性を有することを実証した。本論文では、従来のディスプレイ応用時とは異なる新たな視点から AOS 材料と成膜技術の開発を行っており、AOS の三次元集積デバイス応用を進展させる上で基盤となる知見を示している点が大きく評価できる。

以上の知見は AOS-TFT の信頼性向上や AOS の三次元集積デバイス応用に向けた素子設計や材料開発の発展に貢献することが期待され、工学的に高い価値を有すると考えられる。よって審査員一同は、本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。