

論文内容の要旨

博士論文題目 アモルファス酸化物半導体 In-Ga-Zn-O 薄膜トランジスタにおける電氣的欠陥が信頼性に与える影響に関する研究

氏名 越智 元隆

(論文内容の要旨)

本論文は、酸化物半導体の長期的な発展を支えるうえで重要になる、薄膜トランジスタ(TFT)の高信頼性化の指導原理として、信頼性を支配する a-IGZO のギャップ内欠陥準位の評価手法を確立し、これらの欠陥が信頼性劣化に与える影響を直接観察して、そのメカニズムを考察するとともに、ESL 型 TFT の信頼性劣化のメカニズムを考察、さらに BCE 型 TFT の性能改善手法の提案を行うものである。これら結果・考察と改善手法を第 3 章、第 4 章、第 5 章で述べ、第 6 章で高信頼性・高性能酸化物半導体 TFT の実現可能性を示している。

第 1 章では研究背景について述べており、a-IGZO の電子状態に及ぼす影響を観察して特性改善を図ることの重要性を示した。第 2 章では半導体の電子状態評価手法を述べ、電氣的評価手法である Deep Level Transient Spectroscopy(DLTS)法を応用した Photo-Induced Transient Spectroscopy(PITS)法について示した。

第 3 章では a-IGZO の TFT 作製プロセス中に誘起されるトラップ準位を評価し、熱処理にともなう電子状態の変化を PITS 評価により直接評価した結果を示した。その電子状態変化の ZnO との類似性により、a-IGZO のギャップ中に亜鉛の熱脱着に誘起されたトラップ準位が形成されることを示した。また、水素化に起因したトラップ準位とその準位の熱処理による変化を述べた。

第 4 章では ESL 型 a-IGZO TFT のチャンネル領域のトラップ準位と Negative Bias Thermal Illumination Stress(NBTIS)ストレス信頼性の相関の把握を目指した。a-IGZO 成膜条件、ESL(SiO_x)成膜条件によって、チャンネル領域に亜鉛欠損、水素関連および亜鉛過剰の欠陥に起因するトラップ準位が形成されることを PITS 評価により示した。これらが NBTIS による TFT 特性変動に与える影響を示した。

第 5 章では BCE プロセスが TFT 特性に与える影響を評価して、BCE 型 a-IGZO TFT の特性改善を目指した。BCE プロセスにより、バックチャンネル最表面に、価電子帯端からギャップ全体に準位が形成されて TFT 特性の S 値劣化を誘発することを示した。NBTIS ストレス試験の初期に平行に V_{th} が変化し、長時間ストレス印加によってハンプ状に変化することを示した。バックチャンネル領域の界面および膜中のトラップ準位による特性劣化メカニズムを明らかにし、保護膜構造およびポスト熱処理による対策を提案した。

第 6 章では先進 a-IGZO の取り組みとして、プロセス適用性拡大および移動度向上を実現した Sn 添加 a-IGZO 膜(a-IGZTO 膜)に関して、その TFT 特性を示し、チャンネル領域のトラップ準位を示した。

第 7 章では得られた結果の総括と成果の意義について述べている。

(論文審査結果の要旨)

本論文は酸化物半導体の高信頼性薄膜トランジスタ (TFT) の実現を目指して、a-IGZO のギャップ内欠陥準位の評価手法の確立と ESL 型 TFT の信頼性劣化のメカニズム考察そして BCE 型 TFT の性能改善手法の提案の3つの課題を設定し、その課題解決と先進 a-IGZO 材料の開発を行うものである。得られた主な成果は次の通りである。

(1) TFT 製造プロセスである熱処理にともなう a-IGZO 膜中の電子状態の変化を PITS 法により調べた。熱処理により ZnO に形成されるトラップ準位と比較して、その類似性を示し、a-IGZO 薄膜からの熱脱着挙動との関連を明らかにした。プリアニリングにより a-IGZO 膜中に亜鉛欠損欠陥が形成されることを見出した。TPYS 分析を用い、a-IGZO 薄膜への水素処理およびその後の熱処理により、サブギャップ準位が形成されることを示した。このことは膜中に取り込まれた水素が熱処理により、Zn-O 結合を切断し、亜鉛欠損の形成に起因することを示しており、a-IGZO 膜中のトラップ準位形成における水素の役割を明らかにした。

(2) ESL 型 a-IGZO TFT のチャネル領域のトラップ準位と NBTIS ストレス信頼性の相関を得るために、PITS 法により、a-IGZO 成膜条件、ESL 成膜条件に基づくトラップ準位を調べた。さらに、ESL の成膜条件により水素に起因したトラップ準位が形成され、NBTIS ストレス試験によるハンプをともなう信頼性の劣化が生じることを示した。デバイスシミュレーションにより、TFT チャネル領域のサブギャップ準位の密度が変化することで、TFT の伝達特性はハンプ形状をともなった変化をすることを明らかにした。これらの結果から、保護膜からの水素拡散を防ぐ手法として樹脂の挿入を提案し、効果を確認した。

(3) BCE 型 a-IGZO TFT では、NBTIS ストレス試験の初期に平行に V_{th} が変化し、その後ハンプ状に変化する。平行の変化は、光照射に関わらずバックチャネル界面の水素の吸着と脱離に起因した正固定電荷(Q_f)により生じ、NBTIS 試験によるゲート酸化膜側の界面のホールトラップと同様に、バックチャネル側の界面に Q_f が入ることによって生じる。ハンプ状の V_{th} の変化は光照射による保護膜からの水素拡散に起因したトラップ準位によって生じることを明らかにした。これらのメカニズムを基にした保護膜への樹脂層の導入とポスト熱処理によるストレス信頼性の改善の効果を確認した。

(4) 先進 a-IGZO の取り組みとして、a-IGZO への Sn 添加により、PAN エッチャント耐性の付与とチャネル領域の電子状態が変化しないことを確認した。高移動度を備えた a-IGZTO TFT のチャネル領域の電子状態を明らかにした。

以上、本論文は、a-IGZO TFT のチャネル領域の欠陥準位の評価手法の確立、ESL 型 TFT および BCE 型 TFT の高信頼性化、さらに先進 a-IGZO の可能性を示すものであり、学術的に寄与するところが大きい。よって、学位論文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。