

論文内容の要旨

博士論文題目 Development of top-gate oxide semiconductor thin film transistor and degradation analysis under negative bias stress and light irradiation

氏 名 武田 悠二郎

(論文内容の要旨)

代表的なアモルファス酸化物半導体 In-Ga-Zn-O を用いた薄膜トランジスタ (IGZO-TFTs) は、高い電子移動度と低いオフリーク電流等の優れた特徴を活かして、様々なディスプレイデバイスに採用されている。特に、トップゲート型 IGZO-TFTs は、従来のバックチャネルエッチ型に比べて高精細化や高周波数化に有利なため、近年高性能ディスプレイのバックプレーンに採用が広がっている。

本論文では、第二章においてトップゲート型高移動度 IGZO-TFTs を作製した。単膜の Hall 効果測定結果より、高移動度を実現するプロセス開発に取り組んだ。作製した IGZO-TFTs は移動度 $32 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を達成し、エンハンスモードで動作した。移動度は従来の IGZO-TFTs と比較して約 4 倍の値を示した。ゲート電圧信頼性試験 ($V_g = \pm 30 \text{ V}$, 試験温度 60°C) におけるしきい値電圧 (V_{th}) 変動量から、OLED のバックプレーンとして適用可能あることを実証した。作製した高移動度トップゲート型 IGZO-TFT バックプレーンを用いて、12.3 型超ワイドフレキシブル OLED ディスプレイを試作し、エージングテストにおいて 1,000 時間後も良好に動作することが実証された。

本論文の第三章では、トップゲート型 IGZO-TFTs における光照射が誘引する信頼性劣化現象とそのメカニズムに焦点を当てて分析を行い、劣化の原因解明と改善方法の提案を行った。トップゲート型 IGZO-TFTs の光誘起劣化メカニズムを分析するため、ディスプレイ駆動時のストレスを想定して、高温で負のゲート電圧を印加し、光照射を行う NBTI ストレス試験を実施した。また、信頼性劣化現象を理解するために、素子構造/形状が異なる IGZO-TFTs も評価対象とした。更に、デバイスシミュレーションを用いて考案したメカニズムの検証を行った。一般的な NBTI ストレスでは V_{th} は負電圧側シフトすることが知られているが、本研究で用いたトップゲート型 IGZO-TFTs は 正シフトを含む特異な劣化現象を示すことを発見した。各種電気的特性とデバイスシミュレーションの結果から、前述の劣化現象は、TGI/IGZO 界面のホールトラップによるサブトランジスター形成による V_{th} の負シフト、IGZO/BGI 界面における電子トラップによる V_{th} の正シフト、チャネル端の n^- 領域におけるゲート変調によるドレイン電流の三要素に分離できることを明らかにした。

更に、NBTI ストレス中のチャネルと絶縁膜の界面に電荷がトラップされる現象による TFT 特性の劣化を低減するため、ゲートをトップ側とボトム側に配置するデュアルゲート構造 IGZO-TFT を作製して、信頼性を評価した。その結果、デュアルゲート構造では特異な劣化現象は発現せず、NBTI ストレスに対する特性劣化が大幅に改善されることを見出した。

本研究で得られた以上の知見は、高性能・高信頼性酸化物 TFT の開発や素子設計に重要な指針を与えるものであり、次世代高性能ディスプレイ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)

本研究は、本論文は In-Ga-Zn-O を用いたトップゲート型薄膜トランジスタ (IGZO-TFTs) の高性能化と信頼性劣化現象のメカニズムの解明を行ったものである。

第二章では、自発光ディスプレイへの応用に向けた、高移動度トップゲート型 IGZO-TFTs の実用性を示した。トップゲート構造は、従来 IGZO-TFTs に採用されてきたバックチャネルエッチ (BCE) 構造に比べて寄生容量が小さく、信頼性が高いことで知られる。本論文では、トップゲート構造を IGZO-TFTs に適用することで IGZO-TFTs の高性能化に成功している。

トップゲート型 IGZO-TFTs の作製には、単膜評価可能なマイクロ PCD やホール測定を活用することで、成膜条件やアニール温度等のプロセス開発の効率化を実現している。最終的に、単膜評価結果と TFT デバイス特性との整合を取ることで今後の研究の指針にもつながる成果である。作製した TFT をバックプレーンに適用した 12.3 型フレキシブル OLED ディスプレイの作製、車載ディスプレイを想定したデモンストレーションを実施した。これらの結果は、今後の IGZO-TFTs の進化において非常に有用な研究指標を示している。

第三章では、トップゲート型 IGZO-TFTs における光誘起信頼性劣化メカニズムを解明している。トップゲート構造におけるキャリア濃度がチャネル部と電極部の中間に当たる n-領域が存在することにより、初期特性が安定して得られやすいメリットを有する一方で、信頼性における光劣化の原因となっていることを証明した。更にバックチャネル側の固定電荷と TGI/IGZO 界面におけるホールのトラップによる影響を考案し、負バイアス印加時に光照射を行った場合の IGZO-TFTs の劣化メカニズムの解明に初めて成功した。

トップゲート構造は、従来の BCE 構造と違い、構造起因の劣化メカニズムはこれまで研究が進められてこなかった。しかしながら、本研究においては第二章で作製したトップゲート型 TFT を用いて、トップゲート型 IGZO-TFTs の信頼性を更に改善するために、デバイス設計の指針を与えることが期待される。

更に本論文では、考案したメカニズムを実証するため、ダブルゲート構造を適用したデバイスにおいて劣化が大きく改善することを示すことで、考案した信頼性劣化メカニズムをサポートする実験的裏付けと劣化現象の抑制に成功している。

以上を要するに本論文は、高性能トップゲート IGZO-TFT の作製の手法を示し、デバイス評価とシミュレーションから信頼性劣化メカニズムを明らかにしたものである。これらの成果は良好な酸化物 TFT を作製する指針を与え、その実用化に大きく貢献したと判断できる。従って審査員一同は、本論文が博士(工学)の学位論文としての価値あるものと認めた。