

論文内容の要旨

博士論文題目 酸化物半導体薄膜トランジスタの
発熱・発光と劣化現象との関係

氏名 木瀬 香保利

次世代のディスプレイを実現するために、酸化物半導体を用いた薄膜トランジスタ (TAOS TFT) の高信頼性化に関する研究を行った。本研究では、非晶質 InGaZnOx (*a*-IGZO) TFT を用いて、熱や高いエネルギーを持った電子によって引き起こされる発熱劣化現象やホットキャリア劣化現象に着目し、そのメカニズムの究明と対策について検討した。

本論文は第 1 章「序論」から第 5 章「結果の総括」までの全 5 章で構成される。

第 2 章では TAOS TFT の信頼性を向上させるため、熱抑制 TFT 構造を提案した。デバイスシミュレーションと熱解析を行い、3 種類の TFT (標準, ワイド, マルチ電極型 TFT) を比較した。これらの 3 つの形状のうち、定電圧駆動条件下では、多電極型 TFT が、電極間のドレイン電界の分散によって自己発熱を抑制する最も効果的な形状であることがわかった。これらの 3 種類の TFT の結果から、コルビノディスクのような曲線を有する構造が自己発熱を抑制するのに適していると考えた。そこで、電界を分散させる形状かつ作製工程が少ないという利点から、熱抑制構造用の U 字型 TFT を提案し、デバイスシミュレーションと熱解析を実施した。

第 3 章では *a*-IGZO TFT のインパクトイオン化と信頼性劣化解析を調査するため、発光解析を行った。*a*-IGZO TFT でのインパクトイオン化現象の発生を明らかにすることを目的とし、伝達特性におけるキック電流の調査とエミッション顕微鏡による発光解析を行った。さらに、異なる発光条件下での長期間のストレス試験を行い発光輝度の信頼性劣化への影響を調査した。

第 4 章では *a*-IGZO TFT の各波長における発光強度について調査を行った。本章ではホットキャリアと発光の関係について議論するため、各電圧条件における発光波長の分布を調査した。さまざまな電圧条件 TFT を動作させ、発光強度を解析したところ ホットエレクトロンのエネルギー分布は、Maxwell - Boltzmann 分布として記述されることがわかった。さらに発光波長の発光強度分布から *a*-IGZO TFT におけるホットエレクトロンの電子温度を実験的に求めた。これらの分析から、酸化物薄膜トランジスタのホットエレクトロン発光を初めて観測し、信頼性との関係を明らかにすることができた。

第 5 章では得られた結果の総括と今後の課題について述べた。本研究により、次世代のディスプレイの高信頼性化に関する有用な知見を得ることができた。

(論文審査結果の要旨)

本研究では、次世代の高性能ディスプレイの実現に向けて、電界効果移動度に優れる透明酸化物半導体に着目し、この材料をチャンネルに使用した薄膜トランジスタ (TFT) の高信頼性化に関する研究を行った。特に、自己発熱やキャリアの高いエネルギーに起因する信頼性劣化の評価技術の確立と劣化メカニズムの究明を行った。以下に、その主要な結果を示す。

実駆動電圧を想定してパルス電圧を印加し、駆動電圧と発熱の関係を調査した。この結果、パルスの立ち下がり時間が発熱に影響することが分かった。これは、立ち下がりではトラップに捕獲され電子が影響するためであると考えた。このことから、駆動パルス電圧条件の最適化が、発熱劣化を抑制するのに効果的であるといえる。

さらに、素子構造の観点から自己発熱を抑制する構造を検討した。ノーマル型、ワイド型、マルチ電極型の3種類のTFTを比較することで、発熱の抑制には電界の分散が必要であることを明らかにした。このような形状依存性の結果は、TAOSに限らず半導体素子に広く適用でき、半導体素子の発熱劣化現象に有効な知見を示すことができた。

また、IGZO TFTに電圧を印加することで、チャンネルから可視領域の微弱な発光が生じることを初めて観測した。この発光は、ドレイン電界に依存していることから、チャンネルに対して平行方向の電界に影響されることがわかった。また、発光するゲート電圧条件でキルク電流を観測したことから、発光がインパクトイオン化現象に由来していることを示唆する結果が得られた。

さらに、発光強度の分光分析を行い、IGZO TFTにおける発光スペクトルを初めて観測した。ゲート電圧の変化に対する各波長の発光量とキルク電流の比較を行い、発光がインパクトイオン化由来であることを実験的にも明らかにした。また、発光の原因を制動輻射によるものと仮定することで、IGZO TFTのインパクトイオン化で発生した発光がMaxwell-Boltzmann分布に従うことを示した。

また、上記で得られた各ゲート・ドレイン電圧条件下におけるスペクトルの傾きから、電子温度を実験的に決定することができた。さらに、これまで得られたキルク電流と電子温度の結果から、IGZO TFTでインパクトイオン化が顕著に発生する電子温度がおよそ1800 Kから3800 Kであることがわかった。

以上、本論文は、次世代ディスプレイの高信頼化に対し有益な知見を提供するものであり、学術的、産業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。