

(続紙 1)

京都大学	博士 (工 学)	氏名	鎌 田 雄 大
論文題目	酸化亜鉛薄膜トランジスタの電気特性と透明エレクトロニクス応用に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、酸化物半導体を活性層に用いた薄膜トランジスタ (TFT) の解析を通じて、主に透明エレクトロニクス分野の発展に貢献することを目的とし、酸化亜鉛 (ZnO) を用いた TFT (ZnO TFT) の作製と特性解析に取り組み、ZnO TFT の電気伝導や光誘起電流の発生機構、電気特性の向上技術についてまとめた全 7 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、TFT の用途とこれまでの技術の推移について説明し、TFT のディスプレイ用途での有用性について述べている。また、今後の技術展開として透明材料を用いた透明エレクトロニクス応用の可能性に言及し、その中で必要な TFT の要素技術、および材料開発の必要性を説明している。特に、ワイドギャップ材料である ZnO の特長と期待される応用を強調している。</p> <p>第 2 章では、本研究対象である ZnO TFT の活性層である ZnO の薄膜物性を明らかにすること、および TFT を作製した時の薄膜物性とデバイス特性の相関を評価することを目的として、高周波マグネトロンスパッタリング法で ZnO 薄膜を成膜し、成膜パラメータと薄膜物性の関係性を調べている。特に、成膜中の酸素分圧と高周波電力、基板温度や熱処理が薄膜物性に与える影響について、化学量論比・結晶性・光学特性・電気特性・膜密度・結晶粒径の観点から詳細に評価しており、TFT の活性層に用いることができる成膜条件を明確にするとともに、以後の章で述べる TFT 特性を考察する上で重要な基礎データをまとめている。</p> <p>第 3 章では、第 2 章で成膜した ZnO 薄膜を活性層に用いた TFT を作製し、薄膜物性と TFT 特性の相関を調べている。特に、ZnO の化学量論比の違いに着目し、欠陥物理の観点から TFT の電気特性に与える影響を調査している。さらに、これまで酸化物 TFT の特性劣化の主要因と考えられていたチャージトラップの影響が、酸素リッチ条件で作製した ZnO を活性層に用いた場合のみ主要因として寄与することを見出し、亜鉛リッチ条件ではチャージトラップとは異なるメカニズムで特性の劣化が加速することを明らかにした。つまり、酸化物 TFT では化学量論比の僅かな違いで電気特性や特性劣化機構が大きく異なるため、化学量論比の正確な制御が必要であることを示している。</p>			

第4章では、ZnO TFTの透明エレクトロニクス応用の一例として、有機膜の機能と複合させた縦型撮像素子を作製し、その特長と特性について述べている。この素子は、従来の三板式や単板式で問題となっていた小型・軽量化と高解像度化が両立できる新しい概念に基づいており、実際に素子を作製し撮像を行うことで原理実証を行っている。これらの結果は、透明エレクトロニクス分野におけるZnO TFTの有用性を示す重要な成果である。

第5章では、ZnO TFTを含む酸化物TFTの問題点であった可視光照射下での光誘起電流を実験・シミュレーションの双方から解析し、光誘起電流の発生機構を考察している。特に、活性層内の一部の領域を光照射した時に発生するTFTの電気特性の変化に着目し、特性の違いを電荷密度分布やポテンシャル分布の違いから説明している。さらに、光照射による特性の変化をイオン注入で再現しており、ZnO TFTの暗状態の電気伝導機構にも言及している。そのため、単に光照射下で生じる現象の解析にとどまらず、酸化物TFTの電気伝導に関する知見として有用な結果が得られている。光誘起電流を低減できる技術としてデュアルゲート構造の素子を提案し、実際にその低減を達成している。

第6章では、主に暗状態でのZnO TFTの電気伝導機構の解析と積層チャネル構造を用いた高移動度化に関する知見をまとめている。具体的には、伝達特性の測定温度依存性・チャネル長依存性・活性層膜厚依存性を評価することで電気伝導を制限している電流機構を明らかにし、他のTFT材料と比較して酸化物TFTの特徴を指摘している。また、IZOとZnOを積層させた構造のチャネルを用いて、移動度を3倍超に向上することにも成功している。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、研究成果の波及効果および今後の展開について提言を行っている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、酸化亜鉛(ZnO)の透明薄膜トランジスタ(TFT)への応用を目指す観点から、ZnO 薄膜の物性制御を達成し、有機撮像素子への応用を実証するとともに、光感度の要因を明確にして新しい構造によりその低減を図った研究成果をまとめたものであり、主な成果は次のとおりである。

1. TFT への応用に適した ZnO 薄膜の成膜条件を求めるため、成膜時の酸素分圧および熱処理条件を明らかにし、構造が緩和され高いシート抵抗を持つ薄膜を得るための条件を明確にした。
2. Zn 過剰および O 過剰の ZnO 薄膜に対して欠陥準位を測定してその起源を明らかにした。TFT 動作におけるストレス印加時の特性変動を調べ、欠陥が特性変動に及ぼす効果を明確にして、特性変動の少ない TFT 作製の知見を得てそれを実証した。
3. ZnO TFT の可視光透明性を活かした応用として、有機撮像素子の原理を実証し、透明デバイスとしての有用性を明らかにした。
4. ZnO TFT の暗時における特性について、ソース・ドレイン電極がショットキー接合をなすモデルで記述可能であることを、実験、シミュレーションの両面から明確にした。
5. ZnO TFT が禁制帯幅より長波長の光照射に対しても感度を持つ理由について調べ、裾準位を介して生成したキャリアの影響でソース領域のポテンシャルが変化することが主因であることを実験、シミュレーションの両面から明確にした。またデュアルゲート構造を用いソース領域のポテンシャルを制御することで光感度の低減が可能で、透明デバイスとして応用範囲の広いデバイスが得られることを実証した。
6. ZnO 薄膜とゲート絶縁膜の界面に InZnO 薄膜を挟むことにより、ZnO の高抵抗を維持したまま高移動度を持つ TFT を実現した。

以上、本論文は、ZnO TFT の透明デバイスとしての応用に向けた物性制御、デバイス動作の解明、光感度の問題提唱とその解決についてまとめ、有機撮像素子やディスプレイなどの透明エレクトロニクスの進展に繋がる重要な成果を述べたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 2 月 10 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。