

論文内容の要旨

博士論文題目

次世代ディスプレイ実現に向けた酸化物半導体薄膜トランジスタの高性能化技術

氏名 藤井 茉美

(論文内容の要旨)

酸化物半導体である非晶質 InGaZnO は、次世代ディスプレイ用駆動回路のスイッチング素子材料として注目されている。その特徴として、従来用いられている非晶質シリコンを用いた薄膜トランジスタと比較して高い電界効果移動度を示す点が挙げられる。一方、低温多結晶シリコン薄膜トランジスタと比較すると、大面積な基板上に作製可能である。また、ワイドバンドギャップ材料であるため透明であり、低温成膜も可能であることから、透明・フレキシブルエレクトロニクスへの応用が期待されている。しかし、この材料を用いたスイッチング素子の特性不安定性が指摘されている。信頼性を確保することはデバイス応用において極めて重要であり、そのメカニズムを解明することが急がれている。そこで本研究は、劣化メカニズム解明とこれに基づいた性能改善手法の提案を目的とした。

非晶質 InGaZnO を用いた薄膜トランジスタに電氣的ストレスを印加した場合の性能劣化現象を理論的・実験的に解析し、特に交流電圧の切り替わり時におけるバンド構造の変化に着目しトラップの生成過程をモデル化した。さらに、電気特性の測定結果とシミュレーションから、劣化に影響を与える駆動条件および欠陥の局在準位分布を明らかにした。これにより、どの欠陥が電氣的ストレスによって増加するのかが明らかとなり、低減すべき欠陥準位が解った。ここで、欠陥の準位やドナー・アクセプターといった欠陥のタイプから欠陥準位は酸素や水素に起因することが予想された。

この結果を基にその改善策として、高圧水蒸気処理を用いた欠陥低減手法を提案した。酸素および水素を用いた活性種を積極的に利用することで、薄膜トランジスタの改質および InGaZnO 薄膜トランジスタの特性改善が可能であると考え、この効果を明らかにした。高圧水蒸気処理により初期電気特性の改善が見られ、ストレス電圧印加によるしきい値電圧の変化量も約35%低減した。さらに、電極部分も含めて全ての構成材料を透明酸化物で作製した薄膜トランジスタに対する特性改善効果も確認することができ、透明エレクトロニクスにおける有用性を示すことができた。次に、微結晶酸化物半導体(InZnO)を用いることでさらなる高性能化を図った。この材料は高移動度が見込めるが、結晶化による均一性の低下と高い結晶化温度が必要であることが課題となる。そこで、ナノサイズの結晶による素子特性の均一性確保を目的とした。また、結晶化手法にはエキシマレーザーを用い、低熱ダメージ手法を目指した。レーザーエネルギー密度を最適化した結果、薄膜トランジスタの移動度とサブスレッショルドスイング値はそれぞれ $37.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ および 0.18 V/dec と高い性能を示した。この時の基板上的温度は 50°C 以下であり、基板への熱ダメージが無い低温プロセスを確立した。

(論文審査結果の要旨)

本論文提出者は、次世代ディスプレイ実現に向けた酸化物半導体薄膜トランジスタの高性能化技術についての研究を行った。酸化物半導体である非晶質 InGaZnO は、次世代ディスプレイ用駆動回路のスイッチング素子材料として注目されている。しかし、一方で、この材料を用いたスイッチング素子の特性不安定性が指摘されている。信頼性を確保することはデバイス応用において極めて重要であり、そのメカニズムを解明することが急がれている。そこで本研究は、劣化メカニズム解明と、これに基づいた性能改善手法の提案を目的とした。非晶質 InGaZnO を用いた薄膜トランジスタに電気的ストレスを印加した場合の性能劣化現象を実験的・理論的に解析した。ストレス電圧依存性、特性の経時変化や回復特性などを詳細に調べた結果、半導体と絶縁膜界面の電子トラップが支配的であることが明らかになった。また、交流ストレスによる素子の劣化について調べた。特に交流電圧の切り替わり時におけるバンド構造の変化に着目してトラップの生成過程をモデル化した。さらに、電気特性の測定結果とシミュレーション結果から、劣化に影響を与える駆動条件および欠陥の局在準位分布を明らかにした。これにより、どの欠陥が電気的ストレスによって増加するのかが明らかとなり、低減すべき欠陥準位を突き止めた。ここで、欠陥の準位やドナー・アクセプタといった欠陥のタイプから、欠陥準位は、酸素や水素に起因することが予想された。従って、この結果を基に、高圧水蒸気処理を用いた欠陥低減手法を提案した。酸素および水素を用いた活性種を積極的に利用することで、薄膜トランジスタの特性改善が可能であると考え、その効果を明らかにした。高圧水蒸気処理により、初期の電気特性の改善が見られ、電気的ストレス印加によるしきい値電圧の変化量も約 35% 低減した。さらに、電極部分を含む全ての構成材料を透明酸化物で作製した薄膜トランジスタに対する特性改善効果も確認でき、透明エレクトロニクスにおける有用性を示すことができた。また、高圧水蒸気処理によって素子特性が改善するメカニズムを提案した。次に、微結晶酸化物半導体(InZnO)を用いることでさらなる高性能化を図った。この材料には高移動度が見込めるが、結晶化による均一性の低下と高い結晶化温度が必要である点が課題である。そこでナノサイズの結晶による素子特性の均一性保持を目的とした。また、結晶化手法にはエキシマレーザーを用い、低熱ダメージ手法を目指した。レーザーエネルギー密度を最適化した結果、薄膜トランジスタの移動度とサブスレッショルドスイング値はそれぞれ $37.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ および 0.18 V/dec と高い性能を示した。この時の基板上の温度は 50°C 以下であり、基板への熱ダメージが無い低温プロセスを確立した。

以上のように本論文は、酸化物半導体を用いた薄膜トランジスタの信頼性を詳しく解析し、その信頼性向上技術を考案し、それが有効であることを実証しており、学術的に意義深い。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。