

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高移動度酸化物半導体材料の開発

氏 名 筈井 重和

(論文内容の要旨)

液晶テレビ、パソコン、携帯電話などのディスプレイを駆動する半導体にはシリコンが用いられるが、近年、このシリコンに代わる新しい材料として酸化物半導体が注目されている。シリコンは材料の性質上、高精細表示と大面積均一性を同時に満足することが難しいが、酸化物半導体を用いることでこれらの両立が可能となる。

2013年には、インジウム、ガリウム、亜鉛から構成されるアモルファス酸化物(a-IGZO)が上市され、酸化物半導体のディスプレイ TFT への適用が始まった。現在は更なる高性能動画表示を目的に、移動度向上などの開発競争が進んでいる。

本論文では、a-IGZO よりもさらに高い移動度を有する酸化物半導体として、多結晶グレード(p-IZO; 構成元素: インジウム、亜鉛)と、非晶質グレード(a-ITZO; 構成元素: インジウム、錫、亜鉛)の2種類の材料を提案し、導電メカニズムを詳細に調べ、実用に向けての可能性を示した。

最初に、p-IZO は多結晶構造を有するため、LTPS と同様に結晶粒界による移動度のバラつきが懸念された。本論文では、p-IZO に粒界散乱モデル(seto モデル)を適用し、アニールによる結晶成長で粒界ポテンシャルが 100 meV まで深くなることを示した。p-IZO TFT の伝達特性の評価からは移動度、チャネルサイズによらず $20\text{cm}^2/\text{Vs}$ 前後の値を示した。バラツキが少なかった原因として、酸化物半導体は、結晶・非晶質の構造起因による移動度の違いが少なく、均一性に対して有利に作用すると結論した。TFT への実用化にあたっては、スパッタチャンバー内の水分を適切に管理することの重要性を、四重極質量分析計の残留ガス評価と TFT 特性との関係から示した。

一方の a-ITZO は非晶質構造のため粒界の懸念はなく、a-IGZO と同様、In5s 軌道によって伝導帯バンドが形成される。a-IGZO の場合、Ga₂O₃ のバンドギャップは 4.6eV と、In₂O₃ の 3.4eV と比較して 1eV 以上も広いため、Ga₂O₃ の添加により、In5s の軌道の重なりは減少すると考えられる。一方、SnO₂ のバンドギャップは 3.75eV 程度であり、In₂O₃ に近い。よって、a-ITZO は SnO₂ を添加しても In₂O₃ の軌道の重なりは維持されるため、高移動度を示すと考えた。本論文では a-ITZO と a-IGZO のホール効果の温度依存性を比較・議論することで、この仮説を検証した。

実用プロセスに関しては、チャネルを安定化させるためのアニール処理は、電極との接触抵抗の原因となるので不要なことを示した。伝送線解析(TLM 解析)から、接触抵抗は $2 \times 10^4 \Omega$ 、サイズは $2 \mu\text{m}$ と導出され、電極のコンタクトホールのサイズと関連付けられた。さらに、高移動度の酸化物半導体は、有機 EL や周辺回路など、負荷の大きい使い方が予測されるが、発熱解析を行って、移動度の高い ITZO が IGZO より有利なことを示した。

(論文審査結果の要旨)

酸化物半導体は、次世代の情報機器素子を実現できる材料として注目されている。本論文では、 a-InGaZnO よりもさらに高い移動度を有する酸化物半導体として、多結晶グレード (p-IZO ; 構成元素: インジウム、亜鉛) と、非晶質グレード (a-ITZO ; 構成元素: インジウム、錫、亜鉛) の2種類の材料を提案し、導電メカニズムを詳細に調べ、実用化に向けての可能性を示した。

p-IZO は多結晶構造を有するため、低温多結晶シリコン (LTPS) と同様に結晶粒界による移動度のバラつきが懸念された。本論文では、 p-IZO に粒界散乱モデル (seto モデル) を適用し、アニールによる結晶成長で粒界ポテンシャルが 100 meV まで深くなることを示した。 p-IZO TFT の伝達特性の評価からは移動度、チャンネルサイズによらず $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 前後の値を示した。バラツキが少なかった原因として、酸化物半導体は、結晶・非晶質の構造起因による移動度の違いが少なく、均一性に対して有利に作用すると結論した。薄膜トランジスタ (TFT) への実用化にあたっては、スパッタチャンバー内の水分を適切に管理することの重要性を、四重極質量分析計の残留ガス評価と TFT 特性との関係から示した。

一方の a-ITZO は非晶質構造のため粒界の懸念はなく、 a-IGZO と同様、 In5s 軌道によって伝導帯バンドが形成される。 a-IGZO の場合、 Ga2O3 のバンドギャップは 4.6 eV と、 In2O3 の 3.4 eV と比較して 1 eV 以上も広いため、 Ga2O3 の添加により、 In5s の軌道の重なりは減少すると考えられる。一方、 SnO2 のバンドギャップは 3.75 eV 程度であり、 In2O3 に近い。よって、 a-ITZO は SnO2 を添加しても In2O3 の軌道の重なりは維持されるため、高移動度を示すと考えた。本論文では a-ITZO と a-IGZO のホール効果の温度依存性を比較・議論することで、この仮説を検証した。

実用プロセスに関しては、チャンネルを安定化させるためのアニール処理は、電極との接触抵抗増加の原因となるので不要なことを示した。伝送線解析 (TLM 解析) から、接触抵抗は $2 \times 10^4 \Omega$ 、サイズは $2 \mu\text{m}$ と導出され、電極のコンタクトホールのサイズと関連付けられた。さらに、高移動度の酸化物半導体は、有機 EL や周辺回路など、負荷の大きい使い方が予測されるが、発熱解析を行って、移動度の高い ITZO が IGZO より有利なことを示した。

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低温形成や高性能化に向けて、新しい手法を考案し、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。