

論文内容の要旨

博士論文題目

Study of thallium-zinc-tin-oxide semiconductor toward high mobility, stable thin-film transistors

高移動度・安定な薄膜トランジスタに向けた酸化タリウム・亜鉛・錫半導体の研究

氏名 岸本 克史

(論文内容の要旨)

本論文は、高移動度・安定な薄膜トランジスタに向けた非晶質 Tl-Zn-Sn-O (TlZnSnO) を用いた酸化物半導体に関する研究である。次世代の高移動度材料として有望視されている a-InZnSnO は、大面積、高速駆動 panel に必要な $30 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ 以上の高い電子移動度を有するが、In の価数変化が起因と考えられる信頼性の低下が問題となり、実用化まで至っていないのが現状である。本論文は5つの章から構成されており、それぞれ以下の内容が記載されている。

第1章では、Tl-Zn-Sn-O を研究対象とした背景、目的について記述した。

第2章では、Tlと同じであるがS殻の異なる3B属元素(Al, Ga, In)をZnSnOに導入することによってTlZnSnO材料の高移動度に対する可能性を確認した。AlZnSnO, GaZnSnO, InZnSnO TFTはSi基板上にco-sputtering法を用いて作成された。この結果から、酸化物半導体の縮退電導においてはTFT移動度が3B属のS殻の大きさに依存することが実験的に証明された。

第3章ではa-TlZnSnOの電子の有効質量を第1原理simulationで計算した。また、InZnSnOとTlZnSnOの有効質量を比較することでTlZnSnO TFTの移動度も予測した。この結果、TlはInに比べて約3倍程度、電子有効質量を下げる効果があることが確認され、TlZnSnO TFTの移動度もInZnSnOが最高 $32.0 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ であるのに対して $50 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ 以上の可能性が示された。

第4章ではTlZnSnOの粉末を作成するための最適な焼成工程を探るため、まず、Tl₂O₃と各ZnO, SnO₂, In₂O₃の反応性を確認した。その結果、TlはZn, Sn, Inに対してそれぞれ反応性が異なることが確認された。そこで、TlZnSnO製造のための最適焼成方法としてZTO+Tl₂O₃の2段階焼成が適用された。

第5章では本4章で製造したTlZnSnOをtargetとしてsputter法によりTlZnSnO膜を作製した。様々な雰囲気で作製したTlZnSnO膜の光学的、電気的特性を評価することでTlZnSnOのBand diagramを作製し、欠陥の発生機構について考察を行った。また、今後の研究の方向性、発展性について整理し、高移動度TFTへの可能性とその課題について議論した。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、高移動度・安定な薄膜トランジスタに向けた非晶質 Tl-Zn-Sn-O (TlZnSnO) を用いた酸化物半導体に関する研究である。次世代の高移動度材料として有望視されている *a*-InZnSnO は、大面積、高速駆動 panel に必要な $30 \text{ cm}^2\text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 以上の高い電子移動度を有するが、In の価数変化が起因と考えられる信頼性の低下が問題となり、実用化まで至っていないのが現状である。本研究では、TlZnSnO の高移動度・安定な薄膜トランジスタ適用の可能性について材料解析から出発し、薄膜の基本物性まで評価した。本論文は5つの章から構成されている。

第1章では、Tl-Zn-Sn-O を研究対象とした背景、目的について産業界の動向も意識して記述した。

第2章では、Tl と同じであるがS殻の異なる3B属元素(Al, Ga, In)を ZnSnO に導入することによって TlZnSnO 材料の高移動度に対する可能性を確認した。AlZnSnO, GaZnSnO, InZnSnO TFT は Si 基板上に co-sputtering 法を用いて作成された。細野らの考察である通り、酸化物半導体の縮退電導においては TFT 移動度が 3B 属の S 殻の大きさに依存することが実験的に証明された。この結果により、3B 属で最大の S 殻を持つ Tl の高移動度 TFT に対する可能性が示された。

第3章では *a*-TlZnSnO の電子の有効質量を第1原理 simulation で計算した。また、InZnSnO と TlZnSnO の有効質量を比較することで TlZnSnO TFT の移動度も予測した。この結果、Tl は In に比べて約3倍程度、電子有効質量を下げる効果があることが確認された。また、TlZnSnO TFT の移動度も InZnSnO が最高 $32.0 \text{ cm}^2\text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であるのに対して $50 \text{ cm}^2\text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 以上の可能性が示された。

第4章では TlZnSnO の粉末を作成するための最適な焼成工程を探るため、まず、Tl₂O₃ と各 ZnO, SnO₂, In₂O₃ の反応性を確認した。その結果、Tl は Zn, Sn, In に対してそれぞれ反応性が異なることが確認された。そこで、TlZnSnO 製造のための最適焼成方法として ZTO+ Tl₂O₃ の2段階焼成が適用された。

第5章では本4章で製造した TlZnSnO を target として sputter 法により TlZnSnO 膜を作製した。様々な雰囲気で作製した TlZnSnO 膜の光学的、電気的特性を評価することで TlZnSnO の Band diagram を作製し、高移動度 TFT への可能性とその課題について議論した。

以上のように本論文は、高移動度・安定な薄膜トランジスタに向けて、非晶質 Tl-Zn-Sn-O が大きな可能性を持ってい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。