

論文審査の結果の要旨

氏名 渋谷 圭介

本論文は7章からなり、第1章では研究の背景と物性研究における本論文の位置付けについて述べられている。第2章では、使用した実験装置および試料の評価方法について記述している。第3章ではエピタキシャル絶縁層、第4章ではアモルファス絶縁層の作製および絶縁性の評価についての報告がなされている。第5章ではアモルファス絶縁層を用いたデバイス構造の作製およびその評価について述べられている。絶縁層堆積時の作製条件により界面電子状態が大きく変化することが報告されており、そのデバイス特性への影響についても議論されている。第6章ではエピタキシャル絶縁層を使用したデバイスについて述べられている。エピタキシャル絶縁層を用いることでデバイスの特性が大きく改善したことが報告されている。第7章では、上記の研究結果の総括が行われている。

遷移金属酸化物は多種多様な電子物性を有するが、高品質なデバイスの応用例は少ない。その原因の一つは、酸化物ヘテロ界面の電子状態制御が困難である点にある。そこで、高性能なデバイスを実現するには酸化物ヘテロ界面での電子状態の理解が必要不可欠である。そのような見地から、本論文では単結晶 SrTiO_3 ベースの電界効果トランジスタ (FET) 構造を作製し、主に輸送特性の観点からエピタキシャルおよびアモルファス CaHfO_3 と SrTiO_3 単結晶基板とのヘテロ界面についての研究を行っている。 SrTiO_3 は、遷移金属酸化物との格子ミスマッチが小さく高品質な単結晶が入手可能であることから、遷移金属酸化物薄膜の作製用基板として広く用いられてきた。さらに、酸化物エレクトロニクスデバイスの観点からも SrTiO_3 は n 型半導体として注目を集めている。詳細な物理特性は第1章で述べられている。ヘテロ構造を構築するには材料の薄膜化が必要不可欠である。本論文では高品質な酸化物薄膜を作製する手法の一つであるパルスレーザー堆積法 (PLD 法) を使用しており、第2章では装置の詳細について説明されている。また、試料の評価装置・測定手順についても述べられている。

急峻なエピタキシャル界面を構築するには、できるだけ格子ミスマッチの小さな材料を選択することが望ましい。第3章では SrTiO_3 基板上に絶縁層として CaHfO_3 を用いた理由が示されており、さらに結晶性・絶縁特性・表面平坦性・バンドオフセットの観点から議論がなされている。本来、絶縁体であるべき基板-絶縁層界面が導電性を有することについても報告されている。高温成長が原因で界面に格子欠陥が生じていることが懸念されるため、絶縁層に室温で堆積させたアモルファス層を用いることで界面輸送特性に対する成膜温度の寄与を除外することができる。しかしながら、室温作製した界面においても導電性が残ることが第4章で報告されている。そして、その界面導電性がレーザーによってアブレーションされた高エネルギーの粒子が基板表面にもたらすダメージ

に起因するということが示されており、薄膜成長時に使用するレーザーエネルギー密度が界面電子状態に大きく影響することが指摘されている。

第5章では、アモルファス絶縁層を用いた FET の作製プロセスについて記述されている。アモルファス層の使用により室温でのデバイス構築が可能である。低レーザーエネルギー密度で作製した FET はエンハンスメント型の良好な動作を示すことが報告されている。室温での電界効果移動度は $0.4\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度であった。トランジスタ特性の温度依存性からその動作原理は浅いトラップ準位からの電子の熱励起であることが解明された。また、非常に大きなトラップ準位が存在することが示されている。トラップ準位の低減を目指し、急峻な界面を実現するために、第6章ではエピタキシャル絶縁層を用いたデバイスの構築に取り組んでいる。エピタキシャル層を使用した FET は室温の電界効果移動度 $2\text{cm}^2/\text{Vs}$ とアモルファス FET に比べて改善し、50K では $35\text{cm}^2/\text{Vs}$ まで上昇したことが報告されている。この結果はエピタキシャル層の使用によってトラップ準位の低減に成功し、さらに電界効果によって金属-絶縁体転移を観察したことを意味している。

本論文では、酸化物半導体-絶縁体における界面電子状態を電気測定によって評価し、ヘテロ接合の作製条件を制御することで格子欠陥の少ない界面構造の作製に成功している。さらに、エピタキシャル絶縁層を使用することでより急峻な界面の構築を達成し、作製したデバイスを用いて電界効果による酸化物の金属-絶縁体転移を明瞭に観測している。酸化物ヘテロ界面の電子状態制御を行った本論文は、今後の酸化物ヘテロ構造の研究・酸化物ヘテロデバイスの開発に非常に有為なものであると言える。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。