

論文審査の結果の要旨

氏名 上野 和紀

本論文は、題目「ペロブスカイト型酸化物を用いた電界効果トランジスタの開発」に表現されるように、ペロブスカイト構造をもつ典型的な酸化物である SrTiO_3 , KTaO_3 の単結晶をチャンネル領域として用いた電界効果トランジスタ(FET)を、アモルファス Al_2O_3 薄膜を絶縁膜として構築し、電界効果キャリアドーピングを試みた研究である。論文は全五章からなる。

序言では研究の背景と目的が述べられている。まず、ペロブスカイト酸化物をチャンネルとした FET に関する従来の研究と期待される展開について述べている。これまでの FET 研究の対象は薄膜であったのに対し、本論文の研究はバルク単結晶をチャンネルとして用いる点で新しいパラダイムであることを強調している。

第一章では電界効果トランジスタを用いた材料のキャリア濃度制御の原理を述べ、以後の章で必要となるいくつかの関係、パラメータを従来の半導体理論を用いて導出している。特に、理想的な半導体・絶縁体界面を仮定した場合、電界により誘起したキャリアがチャンネル領域にどのように分布するかを従来の二次元電子雲や量子井戸の研究で開発された理論をもちいて解析し、外部電界によりどの程度までキャリア濃度を制御できるかの可能性を明らかにしている。たとえば、実際に研究された $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SrTiO}_3$ の系でのキャリア濃度の計算を行い、理想的な界面とバンド構造をもつ場合、キャリアは半導体・絶縁体界面から 10nm 以上の深さまで広がり、キャリア濃度にして $10^{19}\text{-}10^{20}/\text{cm}^3$ 程度(ペロブスカイト一格子あたり 0.01-0.001 個)のキャリアを実用的なゲート電圧により誘起できることを示している。

第二章では FET を作製するための手法を詳細に記述し、あわせて測定手法、条件について述べている。特にアモルファス Al_2O_3 絶縁膜の成膜手法と特性の関係について詳細な記述と議論がなされた。まず FET 作製のためには Al_2O_3 の絶縁特性と、アモルファス膜/単結晶の界面の欠陥をいかに減らすかが重要である、という問題意識が述べられる。EB 蒸着、rf マグネトロンスパッタ成膜したアモルファス Al_2O_3 膜の絶縁特性、界面特性を比較検討した結果、スパッタ成膜した Al_2O_3 がもっとも良い絶縁特性を示すことが明らかとなった。絶縁特性を保つためには成膜後の高温プロセスを避け、かなりゆっくりとしたスパッタリング条件を用いる必要がある。最後に FET 作製の手法として、金属薄板マスクを用いたパターン作製の長所が強調されている。

第三章では第二章で記述された手法をもちいて SrTiO_3 単結晶の上に作製した FET の

電流電圧特性が記述され、移動度のキャリア濃度依存性、温度依存性、界面の物性などに関する議論がなされている。室温では、n 型 FET 動作が確認され、高ドレイン電圧でのドレイン電流の飽和など FET の典型的な電流電圧が得られた。デバイスとしての on-off 電流比は 100 以上、移動度は $0.08 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と従来の SrTiO_3 を用いた FET 研究のどれよりも高いものであり、アモルファス Al_2O_3 /単結晶 SrTiO_3 の界面はきわめて良好なものであるといえる。

第四章では第二章で述べられた手法を物質横断的に展開し、 KTaO_3 単結晶上に FET を作製した。 KTaO_3 は SrTiO_3 と類似した物性を持ちながら移動度は 5 倍程度高いとされる。

室温での電流電圧測定の結果、予想通り高い移動度と典型的な n 型移動度を示すことが明らかとなった。また、移動度は SrTiO_3 と同様、大きなキャリア濃度依存性を示した。 KTaO_3 単結晶での FET 作製には、 SrTiO_3 と異なり酸素中アニールによる表面処理が必須であった。この結果から未処理の KTaO_3 単結晶表面は空気中のガス分子等により劣化しており、表面処理により劣化した表面層を除去することが FET 実現に必要なことを指摘した。すなわち、良好な FE ドーピングには新しい表面が必須であることが実験的に明らかとなった。

第五章では結論として本論文でなされた研究をまとめ、今後に残された課題、及びに本研究により実現可能となった電界効果ドーピングの強相関電子系への応用の可能性について述べられている。

なお本論文は高木英典、井上公との共同研究であるが論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上、本論文は、 SrTiO_3 , KTaO_3 単結晶への電界効果キャリアドーブを実現する電界効果トランジスタ構築の手法を確立し、ペロブスカイト酸化物材料のデバイス応用への突破口を拓いた。将来の酸化物エレクトロニクスの発展を考えるならば、物質科学研究の発展に寄与するところ大であり、本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。