

論文審査の結果の要旨

氏名 細田 雅之

本論文は、ペロブスカイト酸化物の $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ ヘテロ接合において、 LaTiO_3 の数単位格子層の挿入およびゲート電極の採用により、伝導性界面におけるキャリア濃度およびキャリア移動度を広範に制御できることを実証した研究成果を述べたものである。本文は英文で記され、全7章からなる。

第1章は序論であり、ペロブスカイト酸化物およびそのヘテロ界面に関する従来の物性研究を概観し、界面に特有の性質として発現する特性を利用した新規デバイスの可能性など本研究の背景を説明したうえで、本研究の目的を述べている。

第2章では、本研究で扱うヘテロ界面における物理現象および物質に関する基礎事項を説明している。本来絶縁体である酸化物 LaAlO_3 と SrTiO_3 のヘテロ界面において導電層が生じる機構、および界面におけるキャリア密度の制御方法に関する基本的アイデアが従来の研究に言及しつつ示されており、さらに有効な制御方法を確立することにより、多彩な応用へ発展しうることを述べている。

第3章では、本研究で用いた実験方法を述べている。酸化物単結晶薄膜を積層する有効な手段としてパルスレーザー堆積法を用いた。試料の電子物性の評価には、電界効果トランジスタ構造における電気伝導特性の測定および軟X線光電子分光測定が用いられ、これらの評価に用いられる装置の機構および原理、また実験結果の解析手法について述べている。

第4章では、 $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ ヘテロ界面のキャリア密度を増加させる方法として、界面に数単位格子の LaTiO_3 層を電子ドープ中間層として挿入することが有効であることを述べている。 LaTiO_3 層の厚さおよび試料背面のゲート電圧がキャリア密度および移動度を与える変化を精密に測定し、軟X線光電子分光測定による界面近傍の伝導帯下端エネルギー見積もりと併せて、移動度の大きな低下を伴うことなくキャリア密度を増加させうることを示した。

第5章では、 LaAlO_3 層上に Au によるトップゲート膜を形成することで、さらに界面キャリア密度の制御性が向上することを述べている。Au トップゲート膜を有する電界効果トランジスタ構造において、ドレイン電流のゲート電圧依存性およびホール効果測定、さらに LaAlO_3 絶縁層の容量測定の結果から、ゲート電圧により界面キャリア密度が2桁にわたり良好に制御できることを実証した。

第6章では、前記トップゲート型電界効果トランジスタの低温動作における特性について述べている。低温におけるキャリア密度の変調によって量子輸送現象が発現しうることを論じ、実際にゲート電圧によりキャリア密度変調を実現することにより、キャリア輸送特性に現れる局在・反局在効果を制御できることを示した。

第7章は結論であり、本研究により学術上意義のある新規な知見が得られたことを総括的に述べている。

遷移金属酸化物は多彩な物性を示すことから新奇な機能をもつデバイスへの応用が期待されているが、ヘテロ界面の物性やその制御法に関しては未だ十分に解明されているとはいえない。とくに界面における電子密度の制御は界面の特異な物性の発現とその利用に極めて重要であり、有効な制御方法の確立が期待されている。本研究ではヘテロ界面の高移動度の電子伝導および多彩な電子状態とで特徴付けられる $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ ヘテロ界面を対象として、界面キャリア密度の有効な制御方法を確立した。

本研究によって確立した手法においては、ヘテロ界面に挿入する中間ドープ層の厚さやゲート電圧によって、界面キャリア密度および移動度を広い範囲で連続的に制御できる点

で優れている。他の酸化物の組み合わせによるヘテロ界面にも適用できる一般的な手法と考えられ、今後の酸化物ヘテロ界面の物性研究においても貢献しうるものと期待できる。

なお、本論文の第4章はクリストファー・ベル、疋田育之、ハロルド・ファン、蓑原誠人、組頭広志、尾嶋正治との、第5章及び第6章はクリストファー・ベル、疋田育之、ハロルド・ファンとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断される。

以上、本論文は、物質科学へ大きく寄与するものであり、よって、博士（科学）の学位を授与できると認められる。

以上 1715 字