

審査の結果の要旨

論文提出者氏名： 西野 隆太郎

イオン液体などの電界質をゲート絶縁層に採用した電気二重層トランジスタは、電界質/チャンネル界面に形成される電気二重層が従来の固体ゲート方式に比べて数十倍の電荷密度を誘起することから、遷移金属酸化物の物性制御の手法として適用されてきた。しかしながらその報告のほとんどは単一化合物の物性制御であり、2つの異種材料で構成されたヘテロ界面に誘起される物性を電気二重層で制御した例は限られている。酸化物ヘテロ界面では、単一化合物には見られない界面特有の現象に由来した物性が報告されており、電界効果によるこれら界面物性の制御が期待されている。本論文では酸化物ヘテロ構造を対象に、(I) 強誘電体/金属と (II) 常磁性半金属/反強磁性絶縁体の2つの界面構造をとりあげ、それぞれの系に誘起される強誘電性及び界面強磁性の電界制御を実現している。(I) に関しては、強誘電体 PbTiO_3 と強磁性金属 SrRuO_3 の界面について、電気二重層ゲートを用いた強誘電体の電気分極値の測定法を新たに開発することで、界面のスクリーニング長に起因した脱分極場による強誘電性の抑制を定量的に明らかにしている。(II) に関しては、常磁性半金属 CaIrO_3 と反強磁性絶縁体 CaMnO_3 のヘテロ界面について、界面強磁性に由来した異常ホール効果の電場制御性を調べることで、その磁気伝導特性の起源を明らかにしている。本論文は6章で構成されており、以下にその概要を述べる。

第1章では、本研究で対象としている強誘電体/金属界面に生ずる脱分極場、酸化物ヘテロ界面の電荷移動と界面強磁性についての理論的扱いと実験的な先行研究について概観した後、本研究で用いた電気二重層ゲートを用いた物性制御の動作原理と適用例を述べている。

第2章では、本研究での実験手法として、薄膜作製、構造解析、化学組成分析、磁気輸送測定の実験原理について述べている。

第3章では、パルスレーザー堆積法により強誘電体 PbTiO_3 と強磁性金属 SrRuO_3 のヘテロ構造を作製し、 PbTiO_3 薄膜の残留分極値の膜厚依存性から脱分極場が強誘電性に及ぼす影響を議論している。イオン液体/強誘電体界面に形成される電気二重層を利用して強誘電体の分極反転を実現するとともに、その残留分極値を定量的に評価する手法を開発した。イオン液体の高い絶縁性が分極値測定の障害となるリーク電流を抑制することで、最小で膜厚2.6nmまでの PbTiO_3 薄膜の残留分極値を電氣的に評価することに初めて成功している。また、得られた分極値の膜厚依存性とランダウモデルを用いた計算値を比較することで、ランダウモデルでは強誘電性の消失が予想される膜厚領域であっても、強誘電性が維持されることを見出している。

第4章では、 $\text{CaIrO}_3/\text{CaMnO}_3$ ヘテロ界面に発現した異常ホール効果について調べている。走査透過型電子顕微鏡と電子エネルギー損失分光測定から、常磁性金属である CaIrO_3 から反

強磁性絶縁体 CaMnO_3 へと電荷移動が生じ、二重交換相互作用によって CaMnO_3 に誘起される強磁性が異常ホール効果の起源であることを見出している。また、異常ホール効果の大きさが CaIrO_3 層のキャリア密度変化（フェルミ準位の変化）に敏感であることから、ヘテロ界面における異常ホール効果は、 CaIrO_3 が持つトポロジカル半金属としての線形分散なバンド構造に起因した内因性異常ホール効果である可能性が高いことを指摘している。

第5章では、電気二重層トランジスタ構造を用いて、 $\text{CaIrO}_3/\text{CaMnO}_3$ ヘテロ界面に見られる異常ホール効果の電界制御性を調べることでその起源を検証している。電界効果により CaIrO_3 のフェルミ準位をバンド交差点に近づけることで異常ホール伝導度が増大する傾向を明らかにした。観測された異常ホール伝導度の増大はフェルミ準位が CaIrO_3 のバンド交差点に近づくことでベリー曲率が増大したことに起因していると考えられ、第4章の結果と合わせてヘテロ界面における異常ホール効果が CaIrO_3 層のバンド構造を強く反映した内因性効果であると結論づけている。

第6章では本研究で得られた成果について総括するとともに、今後の展望について述べている。

以上をまとめると本論文では、電気二重層ゲートを用いた電界制御手法を用いて、酸化物ヘテロ界面における (I) 脱分極場による強誘電性への影響及び (II) 電荷移動に起因した界面強磁性と異常ホール効果の起源を解明することに成功している。今回得られた成果は、様々な酸化物ヘテロ界面系での新規物性探索やその起源の解明に電気二重層ゲートを用いた電界制御が有用であることを示しており、物性科学・物理工学の発展に大きく寄与すると期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。