

# 論文の内容の要旨

## 論文題目

### Controlling ferroic orders and properties in oxide hetero interfaces by electric double layer gating

(電気二重層ゲートによる酸化物ヘテロ界面の強秩序と物性制御)

氏 名 西野 隆太郎

## 背景と目的

イオン液体などの電界質をゲート絶縁部に採用した電気二重層トランジスタは、従来の固体ゲート方式に比べて数十倍のキャリア密度を変調できることから、物性物理における電界による物性制御・探索の手法として重宝されている。特にキャリア密度を制御することで磁性や伝導性が大きく変調され、超伝導・強磁性・強誘電性などの多彩な物性を示す遷移金属酸化物に適用されてきた。しかしながらその報告のほとんどは単体材料の物性制御であり、2つの異種材料で形成されたヘテロ界面に誘起される物性を電気二重層トランジスタで制御した報告は限られている。一方でペロブスカイト型構造を有する遷移金属酸化物では、多くの材料が同種の結晶構造と高い格子整合性を有するためにコヒーレントなヘテロ界面の作製が容易な上、界面超伝導や界面強磁性など単体材料には見られない物性が報告されており、これら界面物性に関する研究が盛んに行われてきた。

本博士論文では酸化物ヘテロ界面に誘起された物性を電気二重層ゲートで制御することを目的として、強誘電体/金属酸化物と常磁性半金属/反強磁性絶縁体の2つのヘテロ構造を対象に、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の実現を目指した。

## I. 電気二重層による強誘電体/金属酸化物の分極反転と分極値測定

強誘電体 $\text{PbTiO}_3$ と金属酸化物 $\text{SrRuO}_3$ のヘテロ構造を作製し、強誘電性及び界面伝導の制御を行った。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共に、その残留分極値を定量的に評価することに初めて成功した。さらに分極反転に伴う $\text{SrRuO}_3$ 層のキャリア密度変化をHall測定により算出し、分極反転量とそれに伴う $\text{SrRuO}_3$ 層のキャリア密度変化が同程度の大きさになることを定量的に明らかにした。

また、電気二重層を用いた残留分極値の測定法を $\text{PbTiO}_3$ 極薄膜に適用することで、巨大なリー

ク電流のために従来のキャパシタ構造では測定が困難であった膜厚領域での分極値を測定することに成功した。これにより最小で膜厚2.6nmのPbTiO<sub>3</sub>極薄膜の分極値を電氣的に評価し、膜厚低下に伴い脱分極場によって強誘電体の分極がどのように抑制されるのかを実験的に明らかにした。

## II. CaIrO<sub>3</sub>/CaMnO<sub>3</sub>ヘテロ界面における界面強磁性と異常ホール効果

巨視的な磁化をもたない常磁性金属CaIrO<sub>3</sub>と反強磁性絶縁体CaMnO<sub>3</sub>のヘテロ界面において界面強磁性に由来した異常ホール効果が生じることを見出した。界面におけるSTEM-EELS測定からIrサイトからMnサイトへと電荷移動が生じ、Mnサイトが二重交換相互作用を獲得することで磁性が誘起されていることを見出した。界面における異常ホール効果の符号が電子ドープしたCaMnO<sub>3</sub>単体薄膜の異常ホール効果の符号と逆であること、異常ホール効果の大きさがCaIrO<sub>3</sub>層のキャリア密度変化(フェルミ準位位置の変化)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<sub>3</sub>が持つ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明らかにした。

## III. 電気二重層によるCaIrO<sub>3</sub>/CaMnO<sub>3</sub>ヘテロ界面の異常ホール効果の電界制御

電気二重層トランジスタ構造を用いて、CaIrO<sub>3</sub>/CaMnO<sub>3</sub>ヘテロ界面に見られる異常ホール効果の電界制御実験を行い、CaIrO<sub>3</sub>のキャリア密度を制御したときの異常ホール効果の変化を明らかにした。n型p型の伝導タイプに関わらず、フェルミ準位をCaIrO<sub>3</sub>のバンド交差点に近づけると異常ホールの大きさが増大する傾向が見られた。この異常ホール効果の増大はフェルミ準位がCaIrO<sub>3</sub>のバンド交差点に近づくことでバンドの群速度が増大したことに起因していると考えられ、II.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<sub>3</sub>層のバンド構造を強く反映した内因性効果である可能性が強く示唆された。

## 結論

遷移金属酸化物ヘテロ界面に誘起された強誘電性及び強磁性を電気二重層ゲートによって制御した。強誘電体/金属酸化物ヘテロ界面では電気二重層による強誘電体の分極反転・測定を実現し、分極反転に伴う界面の伝導性変化を定量的に評価した。さらに、膜厚10nmを切る極薄膜強誘電体の残留分極値を定量的に評価することに成功し、膜厚低下に伴う強誘電性の変化を実験的に明らかにした。

CaIrO<sub>3</sub>/CaMnO<sub>3</sub>ヘテロ界面においては、界面の電荷移動によって界面強磁性が誘起され異常ホール効果が発現することを見出し、界面にのみ存在する異常ホール効果を電界制御することに成功した。さらに電界効果実験の結果から、異常ホール効果の起源に関する知見を得た。

総じて遷移金属酸化物ヘテロ構造を作製し、界面に誘起される物性を電気二重層ゲートによって制御することに成功し、本手法が界面物性の制御・開拓に有用であることを示した。