

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名： 藤田 貴啓

相対論的量子力学に起因するスピン軌道相互作用は、固体中の量子力学的位相と結びつき、トポロジカル電子相と呼ばれる非自明なバンド構造をもった電子状態を誘起することから、凝縮系物理学の背景にある概念として精力的な研究が行われている。一方で遷移金属酸化物においては、電子相関によるMott転移等の多体効果が古くから研究されてきた。イリジウム酸化物に代表される5*d*遷移金属酸化物では、これら2つの効果が同程度のエネルギースケールを持って競合することで、非従来の電子・磁気相を発現することが期待され、近年注目を集めている。とりわけパイロクロア型イリジウム酸化物 $Ln_2Ir_2O_7$  ( $Ln$ : 希土類元素)においては、結晶構造に由来したall-in-all-out構造と呼ばれる反強磁性磁気秩序が生じ、その時間反転対称性の破れに起因したWeyl半金属や磁壁伝導といった新奇なトポロジカル電子状態の出現が提唱されている。これらの電子相はall-in-all-out秩序に固有の磁気ドメイン構造と結合しており、その制御手法の開拓が望まれる。本論文では、 $Ln_2Ir_2O_7$ を薄膜・ヘテロ界面化することで、磁気秩序と結びついた電子相を観測するにあたり不可欠な磁気ドメイン構造の制御に成功するとともに、特に磁壁伝導状態を人工的に誘起する手法を明らかにしている。本論文は7章で構成されており、以下にその概要を述べる。

第1章では本研究の背景として、電子相関、スピン軌道相互作用、パイロクロア型結晶構造がもたらす磁氣的フラストレーションについて述べ、それらの競合するパイロクロア型イリジウム酸化物において期待される物性及び先行研究を概観している。

第2章では本研究で用いた実験手法として、薄膜合成、結晶構造解析、化学組成分析、磁気輸送測定の原理について述べている。

第3章ではまず $Ln=Eu$ を例に、本研究の特色であるパルスレーザ堆積法と固相反応エピタキシー法を用いた高品質単結晶薄膜作製について詳述している。続いて、all-in-all-out磁気構造に特徴的な、磁場に対して奇関数的な依存性を持った線形磁気抵抗を発見している。線形磁気抵抗の磁場に対する係数は冷却磁場に対して反対称的な依存性を示すことから、線形磁気抵抗がall-in-all-out磁気秩序内の2種類のドメイン構造に由来すること、冷却磁場によって磁気ドメインを制御可能であることを見出している。さらに非磁性である $Eu^{3+}$ の特徴を反映して、固定された磁気ドメイン構造が掃引磁場に対して安定であることが明らかにしている。

第4章では、パイロクロア型イリジウム酸化物薄膜中の磁気ドメイン分布を、微小チャネル素子を用いた磁気輸送測定によって調べている。第3章において得られた線形磁気抵抗と磁気ドメイン構造の知見に基づき、零磁場冷却下で自発的に形成される磁気ドメインの検出を行い、モデルを用いた数値計算との比較から、磁気ドメインが $1\text{-}2\mu\text{m}$ 程度の大きさを持つことを結論している。

第 5 章では、希土類サイトのイオンが持つ磁気的特性が本系の磁気応答に与える影響について調べている。 $Ln=Tb$ における磁気輸送測定から特徴的な磁気抵抗効果を観測し、 $Tb^{3+}$ の形成する有効磁場が  $f d$  相互作用を介して  $Ir^{4+}$  の磁気モーメントに働くことで、 $Ir$  サイトの磁気ドメイン反転が生じることを見出しており、Ising 的な一軸異方性から生じる希土類サイトの all-in-all-out 秩序が、 $Ir$  サイトのドメイン反転に本質的な役割を果たしていることを明らかにしている。さらに様々な冷却磁場条件で磁気輸送測定を詳細に行うことで、先行研究で報告された  $Ln=Nd$  とは  $f d$  相互作用の符号が異なる可能性を議論している。以上は、掃引磁場による磁気ドメイン制御を行う上で本質的な知見である。

第 6 章では、パイロクロア型イリジウム酸化物ヘテロ界面構造における、界面磁壁伝導の制御について述べている。冷却・掃引磁場を組み合わせることで、ヘテロ界面構造における各層のドメイン状態を独立に制御し、界面に誘起される磁壁伝導の検出に成功している。さらに、ヘテロ界面構造を構成する  $Ln_2Ir_2O_7$  の組み合わせを変更することで、磁壁状態の電子相を制御できることを見出している。

第 7 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、本系に特徴的な磁気輸送現象を将来の応用に繋げる上での課題を挙げ、今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文ではパイロクロア型イリジウム酸化物の高品質単結晶薄膜の作製手法を世界に先駆けて確立し、all-in-all-out 型磁気秩序に内在する磁気ドメイン構造と磁気輸送現象の結びつきを明らかにしている。さらに、本研究で用いられているヘテロ界面における磁壁制御の手法は、界面で誘起される新奇な電子相の研究といった基礎物理的な観点、磁壁伝導状態を利用した磁性体メモリの実現といった応用工学的な観点の両面から重要である。

今回得られた成果は、物性科学・物理工学の発展に大きく寄与すると期待され、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。