



Title	Probing the Interfacial Dzyaloshinskii-Moriya Interaction in SrRuO ₃ -SrIrO ₃ Bilayers via Magnetic Droplet Nucleation Models
Author(s)	Frischmuth, Karl Erik
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/103240
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Karl Erik Frischmuth)	
Title	Probing the Interfacial Dzyaloshinskii–Moriya Interaction in SrRuO ₃ –SrIrO ₃ Bilayers via Magnetic Droplet Nucleation Models (磁気液滴核形成モデルに基づくSrRuO ₃ –SrIrO ₃ 二層膜における界面Dzyaloshinskii–Moriya相互作用の検出)
<p>Topologically protected spin structures have the potential to create high-density, robust data storage devices and are therefore a focal point in modern spintronics and the data-driven technologies. Transition metal oxides and their exotic phases are prominent candidates for this field, as many topologically non-trivial structures, such as skyrmions and incommensurate spin textures, can be realized under their strong spin-orbit coupling (SOC) paired with broken space-inversion symmetry. Identifying key materials and ways to maximize their potential for hosting spin structures is therefore critical for furthering this area of spintronics. However, a commonly used tool for investigating such candidates, the topological Hall effect (THE), and its correspondence to actual topological structures is often contested. THE typically appears as a peak- or hump-like addition to the anomalous Hall effect (AHE) in transport measurements, stemming from chiral spin structures. However, very similar signals can arise from other sources, such as overlapping AHE signals from different phases, challenging the reliability of THE as a probing tool.</p> <p>A well-studied though still debated candidate system from the perovskite oxides is SrRuO₃ (SRO) interfaced with SrIrO₃ (SIO), typically grown on SrTiO₃ (STO). Ultrathin bilayers as well as SIO/SRO superlattices have been investigated intensively over the last decade with conflicting conclusions: while multiple papers reported THE signals or imaging of skyrmionic bubbles, others found false or manufactured THE-like signals and an absence of skyrmionic phases [1–9].</p> <p>Yet in both cases, an important factor has not been measured directly in many of these kinds of systems: the coupling strength D of the Dzyaloshinskii–Moriya interaction (DMI). This property, arising from SOC under broken space-inversion symmetry, is responsible for stabilizing skyrmions and related spin textures. In many cases, the presence of spin textures is therefore used to infer about the DMI, whereas ideally D should be measured directly to then predict the formation of said textures. This work aims to address this issue by investigating D first, before discussing the existence of skyrmions and thus (true) THE in SIO/SRO bilayers. In order to achieve this, various SIO(2)/SRO(t)/STO and one SRO/STO samples were prepared using pulsed-laser deposition (PLD) and investigated using both the magnetic full- and half-droplet nucleation previously investigated in other magnetic thin film systems [10–12]. Through low-temperature transport measurements under tilted fields, the DMI was quantitatively extracted and compared to that of the uncapped single-layer system. The analysis indicates a clear and significant difference in the DMI between the bi- and single-layer system, suggesting a critical role of the SIO/SRO interface-driven SOC in modifying chiral spin textures. While the approach provides qualitative insight into the interfacial DMI, the quantitative accuracy remains limited, emphasizing the need for complementary methods in future studies.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Karl Erik Frischmuth)			
論文審査担当者	(職)		氏 名
	主 査	教授	松野 丈夫
	副 査	教授	大岩 顕
	副 査	准教授	近藤 浩太
	副 査	准教授	塩貝 純一
	副 査	助教	上田 浩平

論文審査の結果の要旨

スキルミオンを代表とするトポロジカルに保護されたスピン構造は、高密度で高信頼性を有する情報記録デバイスの基盤要素として、現代のスピン트로ニクスにおいて注目されている。従来は金属系材料での研究が先行してきたが、近年は遷移金属酸化物系への展開が進んでいる。両者に共通して、強いスピンー軌道相互作用と界面における空間反転対称性の破れにより生じる界面 Dzyaloshinskii-Moriya (DM) 相互作用は、薄膜におけるスキルミオン形成の重要な要件である。酸化物は原子レベルで制御されたエピタキシャル界面を容易に形成できることから、現象の微視的理解に適しており、そこでのスキルミオンの安定化条件を探り、その特性を最大限に引き出す手法を確立することは、スピン트로ニクス分野の発展において重要な課題である。

酸化物系におけるスキルミオン研究では、ペロブスカイト型 SrRuO_3 (SRO) と SrIrO_3 (SIO) との界面系が中心的な対象となってきた。SIO/SRO 二層膜や超格子では、異常ホール効果 (AHE) 信号に重畳して観測されるトポロジカルホール効果 (THE) がスキルミオンの評価に広く用いられ、この 10 年間で THE の検出やスキルミオン様磁区の実空間観察が報告されている。しかし、複数の磁性相に由来する AHE 信号の重なりなど、スキルミオン以外の機構によっても THE 類似の信号が生じ得ることから、スキルミオン相の不在を示す報告もある。この状況を打開するには、スキルミオン安定化を決定づける界面 DM 相互作用の THE に依存しない実験的評価が重要であるが、これまでの研究例は極めて限られており、本質的な課題として残されてきた。

Frischmuth 氏は、この課題に対し、SIO/SRO 二層膜における界面 DM 相互作用の大きさを輸送特性に基づき定量評価することを試み、SRO 単層膜との比較を行った。試料はパルスレーザ堆積法により $\text{SrTiO}_3(001)$ 基板上に作製した $\text{SIO}(2 \text{ 単位格子})/\text{SRO}(t \text{ 単位格子})$ 二層膜と、比較のための SRO 単層膜である。低温下で傾斜磁場を印加した輸送測定を行い、これまで金属系で用いられてきた磁気液滴核形成モデルを本系に適用することで DM 相互作用の大きさを評価した。その結果、二層膜と単層膜とで DM 相互作用に明確な差があることが示され、SIO/SRO 界面における DM 相互作用の増強がキラルスピン構造の形成に大きな役割を果たすことが明らかとなった。本手法は界面 DM 相互作用に関する有用な知見を与える一方で、定量精度には限界があることも判明し、将来的には補完的手法との併用が必要であることが示された。

本研究は、酸化物ヘテロ構造における界面 DM 相互作用を実験的に評価し、その物理的役割を明らかにした点で、酸化物スピン트로ニクスの基盤強化に資する成果である。特に、SIO/SRO 界面で観測された DM 相互作用の増強は、スキルミオン形成の予測や新規デバイス設計に向けた重要な知見を提供する。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。