The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	酸化物界面の制御による物性開拓
Author(s)	松野, 丈夫
Citation	大阪大学低温センターだより. 2019, 169, p. 7-8
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/76734
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

酸化物界面の制御による物性開拓

理学研究科物理学専攻　松野 丈夫
E-mail: jmatsuno@phys.sci.osaka-u.ac.jp

2018年4月に理学研究科物理学専攻の教授に着任いたしました松野丈夫（まつのじょうぶ）と申します。強相関酸化物薄膜・界面を舞台とした物性開拓をテーマとしており、研究の主力となるスパッタ法やパルスレーザー堆積法による薄膜合成装置がようやく立ち上がったところです。今後は少しずつ低温実験も始めていきますので、低温センターにもお世話になります。私自身も微力ではありますが低温センターの運営に貢献できるよう努めていく所存です。今回、「談話室」執筆の機会をいただきましたので、自己紹介としてこれまで行ってきた研究の概要を紹介させていただきます。

強相関酸化物は超伝導や磁性などの多彩な物性を示す物質群として長らく研究されてきました。一方で、近年はスピン-軌道相互作用がトポロジカル絶縁体やスピントロニクスの観点から注目されています。では、電子相関とスピン-軌道相互作用がともに重要となるような系はあるのでしょうか？イリジウム（Ir）酸化物に代表される$5d$電子系がその答です。そこでは電子相関とスピン-軌道相互作用が同程度のエネルギースケールを持ち、両者の競合・協奏が期待されます。その著しい特徴に由来する多彩な物理を薄膜作製技術により引き出すのが研究のねらいです。

① スピン-軌道モット絶縁体とその近傍の次元性誘起相転移 [1]

酸化物薄膜の技術を用いると原子レベルで制御された界面構造を作り込むことができます。一例として、ペロブスカイトと呼ばれる構造を持つイリジウム酸化物$SrIrO_3$とチタン酸化物$SrTiO_3$を1原子層ずつ積層した超格子試料の透過電子顕微鏡像を図 1 に示します。重い原子が明るくなるモードで測定していますので、重いイリジウムと軽いチタンが交互に積層している様子が見て取れます。このような薄膜合成技術を活用することにより、図2のような次元性制御が可能になります。つまり、$SrIrO_3$（緑色）をm層、$SrTiO_3$（水色）を1層という組み合わせを繰り返す超格子構造では、Irが2次元的に配列する$m = 1$から3次元的に配列する$m = \infty$まで次元性を制御することが可能です（$SrTiO_3$はバンド絶縁体でここではブロック層としてはたらいています）。バルクでもRuddlesden-Popper系列$Sr_{m+1}Ir_mO_{3m+1}$と呼ばれる結晶構造で次元性制御が実現できることはよく知られていますが、$m = 3$や$m = 4$の合成は難しいとされています。1 層ずつ積層する超格子薄膜ではその困難がありません。実際に、我々は超格子を用いて$m = 1$のスピン-軌道モット絶縁体と$m = \infty$の半金属との間に次元性制御による相転移が$m = 3$ で生じることを発見しました。電子相関とスピン-軌道相互作用が共存する系の相図を

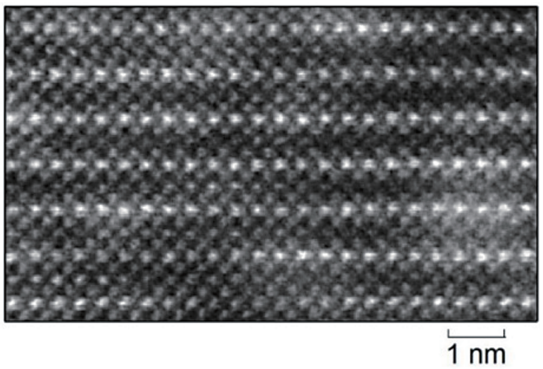

図 1 ：$SrTiO_3$と$SrIrO_3$を一層ずつ交互に積層した試料の透過電子顕微鏡像。

明らかにしたとも言えます。

② 界面での反転対称性の破れを利用した磁気スキルミオン生成 [2, 3]

界面を上手に使うことで次元性だけでなく対称性を制御することも可能です。図3のように、$SrIrO_3$（緑糸）と$SrRuO_3$（薄茶色）の二種類の酸化物からなる界面構造を考えてみましょう。$SrIrO_3$は先ほど示したように強いスピン-軌道相互作用を持ち、$SrRuO_3$は良く知られた強磁性金属です。ここでは、界面で必然的に生じる反転対称性の破れと強いスピン-軌道相互作用によりDzyaloshinskii–Moriya相互作用（反対称交換相互作用）が期待されます。これは強磁性体のスピンをひねる役割を持ちますので、磁気スキルミオンと呼ばれる渦状のスピン構造が生まれる可能性があります。その検証のため、我々は$SrIrO_3$を2層、$SrRuO_3$をm層積み重ねた界面構造を作製しました。トポロジカルホール効果と呼ばれる輸送現象の測定により、強磁性体$SrRuO_3$が薄いとき（$m \leq 6$）にのみ磁気スキルミオンが存在し、またそれらが電界により制御できることを示しました。

薄膜を用いた研究は一般に応用指向と思われがちです。それに対してここでお伝えしたかったのは、薄膜を用いた自在な物質設計により物理の根幹にかかわる次元性や対称性の制御が可能になることです。すなわち、酸化物薄膜は基礎研究の強力なツールでもあります。大阪大学でもこのスタンスを保ちつつ、酸化物界面での新たな物性開拓を目指していきます。強相関酸化物の多彩な物性と、薄膜技術の組み合わせにはまだまだ大きな可能性が秘められているはずです。最後となりましたが、本稿でご紹介した研究は前職の理化学研究所で行われたもので、共同研究に参加された皆様に感謝いたします。

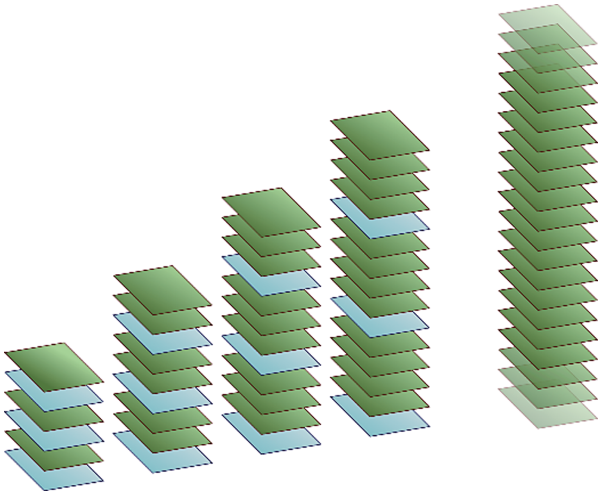

図2：異種物質の積層による連続的次元性制御。1 層の$SrTiO_3$（水色）をブロック層として、挟まれた$SrIrO_3$（緑色）の層数mを変化させる。

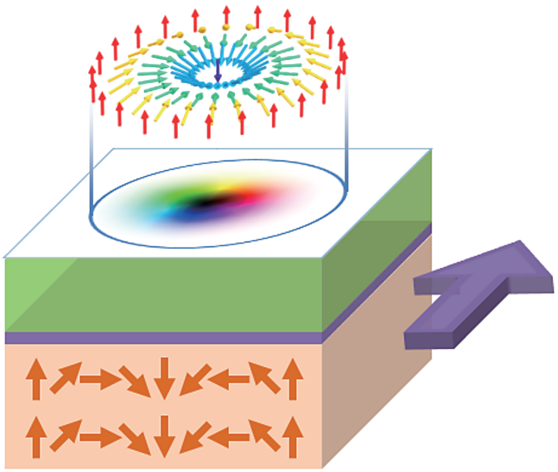

図3：界面の反転対称性の破れに由来する磁気スキルミオン生成。反対称交換相互作用を特徴づけるベクトルが面内に発生してスピンに「ひねり」を加える。

参考文献

[1] J. Matsuno *et al*., Physical Review Letters **114**, 247209 (2015).

[2] J. Matsuno *et al*.: Science Advances **2**, e1600304 (2016).

[3] Y. Ohuchi, J. Matsuno *et al*., Nature Communications **9**, 213 (2018).