



物理学の普遍性とナノスケール磁性（物性物理学）

物理学は宇宙の様々な現象を統一的に理解する学問です。中でも物質の性質を探究する分野は「物性」物理学と呼ばれています。物質を構成する電子の間にはたらく静電気力（クーロン力）は磁石の源となり、磁石が織りなす多彩な現象は磁性と呼ばれます。人類が磁石の不思議さに触れたのは、古代ギリシア時代に遡ると言われていますが、磁性に対する本質的な理解は、20世紀初頭における量子力学や相対性理論の誕生を待つ必要がありました。このように磁性の物理は大変古い歴史を持ちますが、今なお物性物理学の中心的な話題として、多くの研究者を魅了し続けています。

磁石の起源は何だろう？

磁石の作る磁力線と円運動をする電子が作り出す磁力線

磁性・スピン物性は、電子のスピン角運動量の持つ性質が反映されます

なぜナノスケール？

砂利道は
・大きなタイヤにとっては平坦な道
・小さなタイヤにとってはガタガタ道

ナノスケールにして初めて現れる・見える現象がある

磁石になる元素はFe(鉄)、Co(コバルト)、Ni(ニッケル)ですが、ナノサイズの粒子にすることで、Pd(パラジウム)も磁石としての性質を持ちます。

T. Shinohara, T. Taniyama et al., Phys. Rev. Lett. 91, 197201 (2003).

数ある磁性研究の中でも、私たちの研究室では「ナノスケール磁性研究」に取り組んでいます。ナノスケール磁性研究では、通常我々が目にする（マクロな）サイズの物質では発現しない、ミクロなサイズの物質に特有の現象に迫ります。そのためには、物質中の電子の環境を人工的にコントロールし、ナノスケール磁性の物理に迫るための舞台を、思いのままに設計する必要があります。こうした手法は物性物理学の域に留まらず、未知の磁性体や新機能の創出を通して工学的な研究の基礎を提供することにも繋がります。「スピントロニクス」と呼ばれるこのような研究領域は、物性物理学と工学とが両輪となって、協奏曲のように掛け合いながら凄まじい勢いで発展を遂げています。

物と物を合わせる

磁性体： 強磁性体 (Fe, Co, Ni), 反強磁性体 (NiO), 常磁性体 (Pd, Pt)
超伝導体： Nb, Al, 酸化物, Fe系
半導体： Si, GaAs, Ge
強誘電体： BaTiO₃, KH₂PO₄

物の性質 = A固有の物性+B固有の物性

➡ **+C (新しい物性)**

： 環境効果, 界面効果, 近接効果, 量子効果
大きさ, 形状, 組合せ方, 外場・・・

マルチフェロイクスの概念

交差相関

複数の強秩序が共存

磁石の中を伝播する波動（スピン波）

反強磁性

次に、我々が進めている研究の一例として、「界面マルチフェロイクス」という現象について説明します。磁石は一般的に金属（電気をよく通す物質）中に多く見られます。一方で、誘電性（電荷をため込む性質）は絶縁体（電気を通さない物質）中に多く見られます。これらの物質は相反する電氣的性質を示しますが、ごく稀にこれらの性質が一つの物質の中で共存することがあります。このような物質をマルチフェロイクスと呼んでいます。上図に示すとおり、マルチフェロイクスでは、磁化と磁場、誘電分極と電場がそれぞれ対応することに加えて、磁化と電場、電気分極と磁場が対応します。これは磁化と電気分極の間に相関があることが原因です。この相関の発現機構を明らかにするために、私たちはこの発現の場を物質の界面を利用して創出し、磁化と誘電分極の間の相関のメカニズムの解明を目指しています。これにより、電気で磁化を操作するための原理や、スピンの波が伝播する様子を切り替える原理を提案しています。

このように我々は、自らの手で自在に物質の設計をすることで、新しい現象の発現とその起源の解明を目指して研究を進めています。皆さんも私たちと一緒に最先端物性物理学の扉を開いてみませんか？

学生の研究紹介

菊田智弘

私は現在、超伝導と界面マルチフェロイクスに関する研究を行っています。超伝導とは特定の金属などを極低温へ冷却した時に電気抵抗が急激に0になる現象のことを指します。電気抵抗が0になるので、超伝導を組み込んだデバイスはジュール熱によるエネルギー散逸が無くなり、省エネルギー化が期待されます。私はこの超伝導の研究を通して超伝導デバイスの発展に貢献することを目指して研究しています。

久田 優一

私は、人工反強磁性体に関する研究を行っています。人工反強磁性体と、強磁性体 (FM) / 非磁性体 (NM) / 強磁性体 (FM) から構成されています。二つの強磁性層間に働く磁気的な結合により、強磁性体の磁化の相対配置が平行or反平行になることが知られています。私は、この磁気的な結合を電界で制御することで、新たな低消費電力磁気メモリデバイスの創製を目指して研究しています。

平行配置 ↔ 反平行配置

電界によって、二つの強磁性体の磁化の相対位置を、**平行⇔反平行**と切り替える。

大橋 裕生

近年スピンを利用した次世代の情報輸送技術が、電流を利用したものに比べ、必要なエネルギーが少ないという点から注目を集めています。私は強磁性マンガン酸化物LSMOの低エネルギー励起状態であるスピン波がどのように伝播するかについて調べています。また、圧電性基板PMN-PT上にLSMO薄膜を成膜し、電界によってスピン波を制御することで、新たな情報デバイスの材料としての可能性を見出すことを目指しています。



2024年度 J研メンバー