

「新しいコバルト酸化物における多段磁気抵抗効果の発見」

応用物理学科の石渡晋太郎博士研究員と寺崎一郎教授は、石井史之研究員 (JST-ERATO)、永長直人教授 (東大工)、棕田秀和准教授 (阪大基礎工)、北岡良雄教授 (阪大基礎工)、齋藤高志助教 (京大化研)、高野幹夫教授 (京大化研)らとの共同研究で、新しい層状コバルト酸化物 $\text{SrCo}_6\text{O}_{11}$ が一軸性の巨大な多段磁気抵抗効果を示すことを発見しました。

強磁性的な金属は、スピンの依存したバンド構造をもつため、磁場で電気抵抗を変化させることができます (磁気抵抗効果)。一般的に、この変化はあまり大きくないのですが、強磁性層が常磁性層を介して反強磁性的にカップルした図1のような多層膜において、負の巨大磁気抵抗 (GMR) 効果 (注1) が発見されて以来、スピンを利用した新しい電子材料の研究開発が盛んに行われてきました。現在、このGMRの原理は、ハードディスクの磁気ヘッド材料に生かされています。一方、マンガン酸化物などの (多層膜ではない) バルクの試料においてもGMR効果が見つかっており、秩序の競合によるミクロスコピックな電子相分離 (注2) といった新しい物理概念が生まれつつあります。ただし、どちらも基本的に反強磁性 $\uparrow\downarrow$ (高抵抗) \rightarrow 強磁性 $\uparrow\uparrow$ (低抵抗) という二段階の抵抗のスイッチングであるという点では、よく似た現象だと言えます。

今回石渡らが発見した現象は、新規コバルト酸化物 $\text{SrCo}_6\text{O}_{11}$ に対して、特定の方向に磁場をかけると電気抵抗が階段状に減少する、という新しいタイプのGMR効果です (図2)。 $\text{SrCo}_6\text{O}_{11}$ の単結晶は高野研究室 (京大化研) に設置された高圧装置を用いて初めて合成されました。多層膜におけるGMRは、磁場によって人工的な磁気ドメインの向きを反転させることで制御されますが、 $\text{SrCo}_6\text{O}_{11}$ のそれは磁場誘起の逐次相転移であり、動作メカニズムが本質的に異なっています。最も注目すべきところは、強い一軸異方性や拮抗した複数の磁気秩序などの、スピン系のもつ豊かな個性が電子伝導にそのまま反映されているという点です。つまり、特定の方向 (c 軸) に磁場をかけた場合にのみ (一軸性)、図3で示したように磁気秩序が段階的に変化し、それに応じて電気抵抗が減少する (多段負磁気抵抗) というわけです。このように $\text{SrCo}_6\text{O}_{11}$ は、スピンの自由度が原子層レベルで制御されたまったく新しい磁気抵抗材料だと言えます。

コバルト酸化物は、私の所属していた寺崎研究室において最も重要な研究対象の一つに位置づけられており、高い熱電特性、超伝導、室温強磁性など実に多彩な物性を示す非常に魅力的な物質です。本研究が、コバルト酸化物のもつ新たな側面を切り開くと同時に、スピンの個性が生かされた新しい電子材料開発への足がかりになることを期待しています。

本研究成果は、平成19年5月25日付けの米国科学誌「Physical Review Letters」に発表されました。

注1) 巨大磁気抵抗効果 (Giant Magnetoresistance: GMR) は、1988年に図1のようなFe/Cr人工格子で発見されました。ある程度の磁場をかけることで、反強磁性的(反平行)だったFe強磁性層間のスピンの強磁性的(平行)に揃うと、伝導電子が受けるスピン依存散乱の割合が大きく低下し、電気抵抗が大幅に減少します。

注2) ある組成をもったマンガン酸化物では、低温で電子の内部自由度が絡み合った複数の電子相が競合・共存しています。この競合状態に(磁場などの)わずかな外場が加わると、一つの相(金属相)が安定化され、電気抵抗などの物性が劇的に変化します。

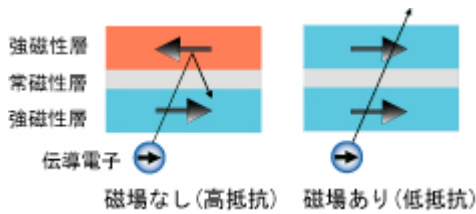


図1 多層膜における巨大磁気抵抗効果のイメージ

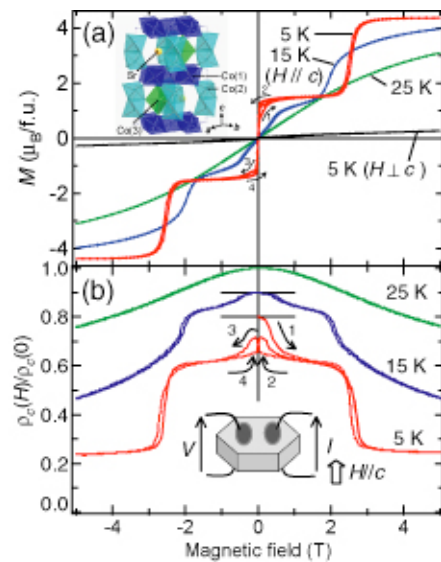


図2 SrCo₆O₁₁における(a)1/3磁化プラトーと(b)一軸性二段磁気抵抗効果

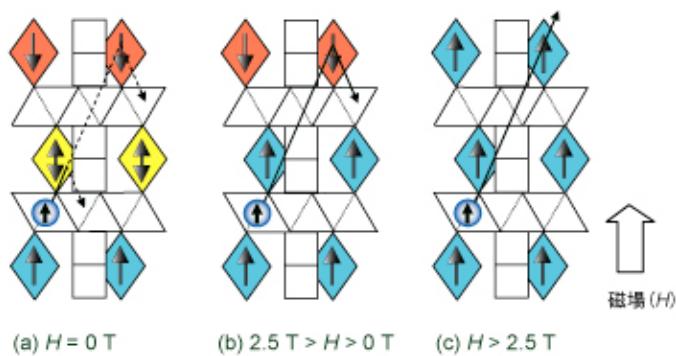


図3 SrCo₆O₁₁における一軸性二段磁気抵抗効果のイメージ