

磁性誘電体における誘電関数の磁場制御

勝藤 拓郎

早稲田大学理工学部物理学科

1. 研究のねらい 近年、電子の持つ電荷自由度とスピン自由度が強く結合した物質における巨大な磁場効果が盛んに研究されている。絶縁体(誘電体)において「誘電率が磁場で大きく変わる」現象が見つかれば、様々なデバイスへの応用が期待される。さらに、dc 領域の誘電率に留まらず、光学領域の誘電率が磁場で変化すれば、屈折率を磁場で制御することが可能になるため、非接触の光フィルター、スイッチなどへの応用が期待される。本研究では(1)dc 領域でマグネトキャパシタンス(誘電率の磁場依存性)を示す物質の探索 (2)光学領域での誘電関数の磁場依存性の測定システムの開発 (3)光学領域で大きな誘電関数の磁場依存性を示す物質の探索 を行った。

2. 研究成果と考察

フェリ磁性スピネル型 MnV_2O_4 のマグネトキャパシタンス スピネル構造を持つ MnV_2O_4 は、スピネル構造 AB_2O_4 の A サイトにも B サイトにも遷移金属を持つ物質であり、A サイトを $\text{Mn}^{2+}(3d^5)$ 、B サイトを $\text{V}^{3+}(3d^2)$ が占めている。このうち、B サイトの V^{3+} には t_{2g} 軌道の3重縮退に由来する軌道自由度がある。この物質は、56K で A-B サイト間の反強磁性相互作用に由来するフェリ磁性相転移があり、同じような温度で V^{3+} の軌道整列に由来する立方晶から正方晶への構造相転移が起こる。こうした物質の物性を磁場下で測定した結果、(1)構造相転移温度が磁場によって上昇し、磁場誘起の構造相転移が起こること (2)相転移温度より低温の正方晶相で磁場を印加すると、正方晶ドメインの整列に伴う巨大な磁歪が発現すること (3)巨大な磁歪に伴ってマグネトキャパシタンス(~7%)が発現し、磁歪と同様に磁場の方向に対して異方的であることを見出した。

マグネトキャパシタンスの原因は、正方晶の a 軸方向と c 軸方向の誘電率が異なっており、磁場がないときには結晶中でランダムな方向を向いていた正方晶ドメインが磁場によって揃えられることによって、磁場に平行方向と垂直方向の誘電率に差がでるためであると考えられる。

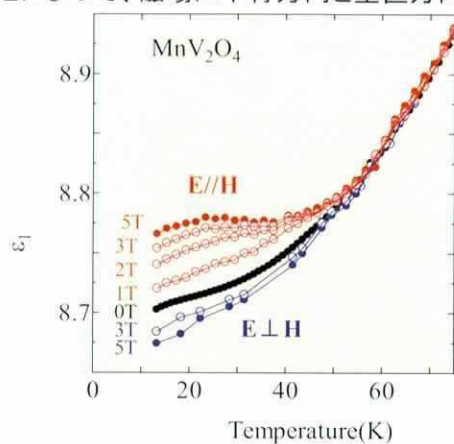


図1. MnV_2O_4 の誘電率の磁場依存性

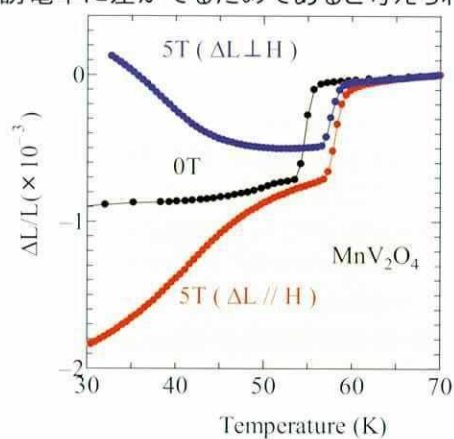


図2. MnV_2O_4 の磁歪

強磁性絶縁体パイロクロア型バナジウム酸化物の誘電関数の温度・磁場依存性

最も典型的な強磁性絶縁体として(1)単純な立方晶であり(2)スピン 1/2 の系である、パイロクロア型 $\text{Yb}_2\text{V}_2\text{O}_7$ を選び、誘電関数の温度依存性と磁場依存性を測定した。その結果、強磁性相転移($T_c=70\text{K}$)とともに、1.5eV 付近のモット励起スペクトルが低エネルギーにシフトしていることが分かった。これは、励起状態(Vにd電子が2個ある状態)のエネルギーが、フント結合により強磁性的な配列をとるほうがエネルギーが低くなるためと考えられる。さらに、磁場によってVスピンを揃えた場合でも同様にモット励起スペクトルが低エネルギーにシフトし、光学伝導度が最大3%変化することが分かった。解析により、パイロクロア型バナジウム酸化物のモット励起のエネルギーは隣り合うスピンの対相関 $\langle S_i \cdot S_j \rangle$ に依存することが明らかになった。

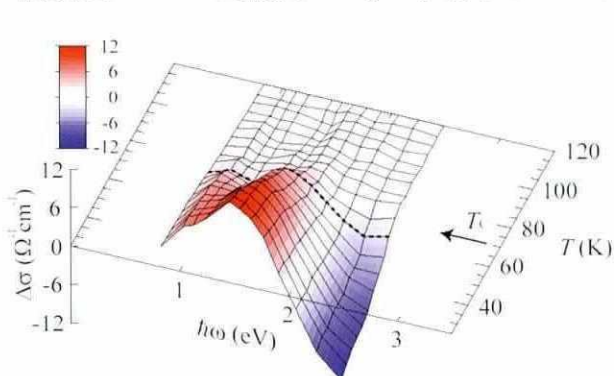


図3. $\text{Yb}_2\text{V}_2\text{O}_7$ の光学伝導度スペクトルの温度依存性

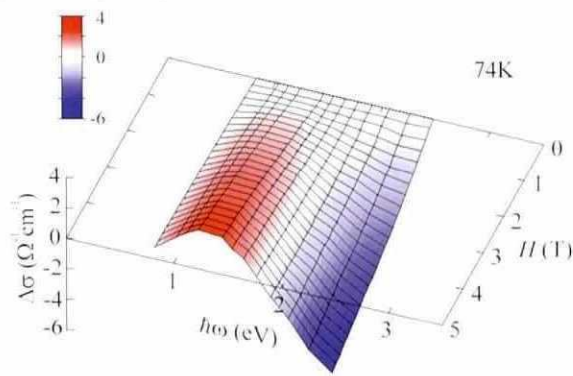


図4. $\text{Yb}_2\text{V}_2\text{O}_7$ の光学伝導度スペクトルの磁場依存性 ($T=74\text{K} > T_c=70\text{K}$)

3. 謝辞 以上の研究は、和久公則(さきがけ研究員、現岡山大学助手)、鈴木健士、足立健太、相川祐樹(早稲田大学)、加藤健一、大坂恵一、高田昌樹(JASRI/Spring-8)の協力の下に行われた。

4. 主な論文

- K. Adachi, T. Suzuki, K. Kato, K. Osaka, M. Takata, and T. Katsufuji, "Magnetic-field switching of crystal structure in an orbital-spin-coupled system: MnV_2O_4 ", Phys. Rev. Lett. 95, 197202 (2005).
- K. Waku, T. Suzuki, T. Nomura, and T. Katsufuji, "Dynamics of the charge-spin interplay in a perovskite manganite", Phys. Rev. B 72, 12418 (2005).
- T. Suzuki, Y. Aikawa, and T. Katsufuji, "Magnetocapacitance in geometrically frustrated magnet ZnFe_2O_4 ", J. Phys. Soc. Jpn. 74, 863-866 (2005).
- K. Waku, T. Suzuki, and T. Katsufuji "Spin-dependent charge dynamics in an orbital-spin-coupled system: $\text{Yb}_2\text{V}_2\text{O}_7$ ", submitted.