

(別紙様式1)

平成15年度東北大学21世紀COE特別研究奨励費 研究活動結果報告書

21世紀COE拠点リーダー

鈴木 厚人 殿

(ふりがな) 氏名	にしむら じゅん 西村 潤	所属	資格 (いずれかを囲む)
		物理学専攻	COEフェロー・ <u>博士課程</u>
研究課題名	放射光を用いたゲージ対称性を有する強相関電子物質の探索と物質階層科学との融合		
研究指導者	所属部局	職名	氏名
	大学院理学研究科	教授	村上 洋一

研究活動結果の概要

研究計画調書に記載した研究目的及び実施計画に対し、その結果・実績について具体的に記載すること。

放射光を用いた X 線散乱法は強相関電子物質の電荷スピン軌道の自由度を有する強相関電子を研究する上で非常に重要な役割を担っている。最近の研究により、系統的に物質のサイトを化学的に置換することによる物性の大きな変化が強相関電子を理解する上で非常に重要であることがわかった。しかし、自然に存在する強相関物質を用いるだけではその電子の本質を理解するには不十分である。そこで原子レベルで制御した薄膜エピタキシー技術を用いて化学的な置換を用いず強相関電子を制御することを次の二つの視点で試みた。一つ目は強相関物質の薄膜を格子定数の異なる単結晶基板上に作製することで化学的な置換を行わず格子にひずみを与えることで本質を理解することを試みた。もう一つとしては異なった二つの強相関物質を原子レベルで交互に積層した超格子薄膜を作製することにより、お互いの電子が及ぼす電子間相互作用が積層周期によってどのように変化するか放射光を用いて研究を行った。具体的な研究活動結果を下記に示す。

前者に関して選んだ材料は幾何学的な構造を持つことにより異常な磁気輸送特性を持つパイクロア Mo 酸化物である。この物質の薄膜化により基板から受けた格子ひずみにより、幾何学的な構造を崩すことでバルクでは起こらなかった現象を観測したので報告する(学術論文(1),(2)参照)。パイクロア Mo 酸化物 $RE_2Mo_2O_7$ ($RE=Nd, Sm, Gd, Tb, \dots$) はその幾何学的な構造により格子上のスピンが構造に適した秩序をするためにスピンプラストレーションが起こる。その格子上のスピンからの相互作用を受けた遍歴電子はベリー位相により巨大な仮想磁場を発生し、異常ホール効果という特殊な磁気輸送現象をもたらす。構造の変化は A サイトに異なった原子を置換することにより系統的な情報が得られていることが報告されていた。A サイトに大きなイオン半径を持つ原子を置換するとスピンプラストレーションが大きくなりこの異常ホール効果が大きくなった。この現象が幾何学的な格子の影響を及ぼしているのかどうかを理解するために一つの物質に限定し基板からの格子ひずみを人工的に作ることによりこの異常ホール効果を制御した。本研究は東北大学金属材料研究所の川崎研究室で行った。薄膜作製方法はパルスレーザー堆積法で行った。超高真空チャンパー内で $Sm_2Mo_2O_7$ 焼結体ターゲットに KrF エキシマレーザーを照射することにより半導体レーザーにより加熱した格子整合性の良い単結晶 YSZ(111)基板上に薄膜を堆積した。その結果、酸素分圧、基板温度によって系統的に成長条件を最適化することに成功した。この薄膜は基板からの格子ひずみにより、バルクとは異なる格子を保っていることを XRD 測定により確認した。また、この薄膜の電気抵抗測定、磁気測定、磁気輸送特性を調べた。電気抵抗測定や磁気測定を行うと強磁性金属を示し、バルクと同じ挙動を示すことを確認した。この物質特有の磁気輸送特性を異常ホール効果により調べるとバルクと大きく異なる現象を確認した。格子ひずみによりスピンプラストレーションを抑制することにより、格子を流れる遍歴電子が起こす物質特有の量子位相を抑制し、異常ホール効果を弱めることに成功した。

後者に関して選んだ物質は反強磁性体として知られている二つのペロブスカイト Mn 酸化物 $LaMnO_3$ と $SrMnO_3$ の超格子薄膜 $[(LaMnO_3)_m(SrMnO_3)_n]_n$ (m, n : 整数) である。Mn の電荷が異なる二つの物質をある周期で積層していくとお互いの電子が電子相互作用によりバルクの LSMO では観測できなかった電荷秩序層を形成し、巨大な磁気抵抗効果を実現することに成功したので報告する。また物性との対応を付けるために結晶と電荷の秩序を PF の放射光 X 線を用いて行った(学会発表(4),(7)参照)。超格子薄膜の作成方法は先に述べた方法と同じでさらに RHEED 法による強度振動の観察を行いながら原子レベルで制御した超格子薄膜を作製した。作製した薄膜の結晶構造解析を PF の放射光を用いて行い、ラウエ反射から m, n が予定通り整数になっていることを確認した。このように正確に積層した超格子薄膜の物性を調べた。 $m=1-3$ の時は界面で電荷移動が起こるため $La_{0.5}Sr_{0.5}MnO_3$ バルクと同じ強磁性金属を示すが、 $m=4$ を超えると界面での電荷移動が抑制され電荷秩序が起こっていることを確かめた。そのため他の Mn ペロブスカイトでは観測される電荷整列による巨大な磁気抵抗効果が得られた。この現象は放射光 X 線散乱による電荷秩序実験とも対応が付き超格子薄膜特有の現象を証明することできた。

電子間に強い相互作用を持つ強相関電子酸化物を薄膜により人工的に作製することによりバルクでは存在し得ない現象を観察することができ、電荷スピン軌道の自由度を持つ電子の量子現象をより深く理解することに成功した。

研究発表

(学術雑誌に 15 年度中に発表または掲載決定したもの、
および 15 年度中の学会等での本人の発表)

学術雑誌

- (1)“Fabrication of spin-frustrated $\text{Sm}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ epitaxial films: high throughput optimization using a temperature gradient method”
J. Nishimura, T. Fukumura, M. Ohtani, Y. Taguchi, M. Kawasaki, I. Ohkubo, H. Koinuma, H. Ohguchi, K. Ono, M. Oshima, and Y. Tokura
Appl. Phys. Lett. **82**, 1571, (2003)
- (2)“Magnetic domain structure of growth temperature-gradient $\text{Sm}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ thin film investigated by scanning SQUID microscopy”
T. Y. Kim, J. Nishimura, T. Fukumura, M. Kawasaki, T. Hasegawa, H. Koinuma, Y. Taguchi and Y. Tokura
Physica B **329**, 1046-1048, (2003)
- (3)“Scanning SQUID Microscopy on Composition-Spread NdSrMnO Films under Irradiation”
H. Sugaya, T.Y. Kim, J. Nishimura, T. Fukumura, M. Kawasaki, H. Koinuma Y. Tokura, T. Hasegawa
Physica B **329**, 787-788, (2003)
- (4)High-throughput characterization of linear and nonlinear optical properties in composition-spread $(\text{Sr,Ca})_2\text{CuO}_3$ thin films.
M. Ohtani, T. Makino, K. Yamamoto, Y. Segawa, T. Fukumura, H. Sakurada, J. Nishimura, H. Koinuma, M. Kawasaki
Appl.Surf. Sci. **223** 133-137, (2004)
- (5)Characterization of $\text{LiNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$ composition-spread thin film by the scanning microwave microscope
N. Okazaki, S. Okazaki, H. Higuma, S. Miyashita, Y. Cho, J. Nishimura, T. Fukumura, M. Kawasaki, M. Murakami, Y. Yamamoto, Y. Matsumoto, H. Koinuma, T. Hasegawa
Appl. Surf. Sci. **223**, 196-199, (2004)
- (6)Photo-induced magnetism in perovskite-type Mn oxides investigated by using combinatorial methodology
I. Sugaya, S. Okazaki, T. Hasegawa, N. Okazaki, J. Nishimura, T. Fukumura, M. Kawasaki, H. Koinuma
Appl. Surf. Sci. **223**, 68-72, (2004)
- (7)Synthesis and characterization of composition-spread $(\text{Sr,Ca})_2\text{CuO}_3$ thin films with gigantic third-order optical nonlinearity
M. Ohtani, T. Fukumura, H. Sakurada, J. Nishimura, M. Kawasaki, T. Makino, K. Yamamoto, Y. Segawa
Appl. Phys. Lett. **83** 842-844 (2003)

学会発表

- (1)「ペロブスカイト酸化物電荷不整合界面の分数原子層制御と電子物性」
西村 潤, 大友 明, 大久保敦史, 村上洋一, 川崎雅司
日本物理学会 2003 年秋季大会、岡山大学、9.20-9.23(2003)
- (2)“Atomic-scale interface engineering of valence mismatched perovskite oxides”
J. Nishimura, A. Ohtomo, A. Ohkubo, Y. Murakami and M. Kawasaki
前川特定研究会 東京大学 1/19-21 2004
- (3) “Atomic-scale heterointerface engineering of valence mismatched perovskite oxides”
J. Nishimura, A. Ohtomo, A. Ohkubo, Y. Murakami and M. Kawasaki
FCAM workshop on Nanoscience/nanotechnology, Tohoku Univ. IFCAM, March 3-5,2004
- (4) “Charge distribution of Mn ion in artificial superlattice $[(\text{LaMnO}_3)_m(\text{SrMnO}_3)_n]_n$ ”
H. Nakao, J. Nishimura, S. Kodama, T. Satoh, Y. Murakami, A. Ohtomo, T. Fukumura, M. Kawasaki and T. Koida
IFCAM workshop on Nanoscience/nanotechnology, Tohoku Univ. IFCAM, March 3-5,2004
- (5)“Field effect control of carrier confinement at a polarity discontinuity-engineered perovskite heterointerfaces”
J.Nishimura, A. Ohtomo, A. Ohkubo, Y. Murakami and M. Kawasaki
Annual APS March Meeting 2004, Palais des Congres de Montreal, March 22-26,2004
- (6)「エピタキシャルペロブスカイト酸化物電界効果トランジスタの作製」
西村 潤, 大友 明, 大久保敦史, 村上洋一, 川崎雅司
日本物理学会 59 回年次大会 九州大学 3/27-30(2004)
- (7)「人工超格子 $[(\text{LaMnO}_3)_m(\text{SrMnO}_3)_n]_n$ における Mn の電荷状態の研究」
中尾裕則, 西村 潤, 児玉崇吉, 佐藤直, 村上洋一, 大友 明, 福村知昭, 川崎雅司, 鯉田崇
日本物理学会 59 回年次大会 九州大学 3/27-30(2004)