

論文審査の結果の要旨

氏名 芝田 悟朗

近年、遷移金属酸化物の高品質な単結晶薄膜が得られるようになり、基板からの歪み効果や薄膜の膜厚の効果など、バルク試料になかった観点から多くの研究がなされてきた。その中でペロブスカイト構造の $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ は、金属絶縁体転移、巨大磁気抵抗などの多くの興味深い性質があり、薄膜化によってどのように物性が制御できるかの点で重要な研究対象となっている。基板からの歪み効果などがどのように電子軌道や磁気の異方性を引き起こしているのか、という問題についてはこれまで系統的な研究がなかったが、本論文では、自ら構築したベクトル型磁石装置を用いて軟 X 線磁気二色性を測定することにより、電子軌道や磁気の異方性について研究し、基板からの歪み効果の影響を明確に示すことに成功している。

本論文は 8 章からなる。第 1 章は本論文への導入として、磁気異方性、軟 X 線磁気二色性の紹介と、本論文で対象とした $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ について述べられている。

第 2 章では $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ の性質について、特に、輸送磁気特性や相分離、薄膜化した場合の性質などが示されている。続く第 3 章では、本論文で用いた実験手法である軟 X 線磁気二色性、特に X 線磁気円二色性(XMCD)と X 線磁気線二色性(XMLD)を説明している。第 4 章では、実験と解析の手法、特に自ら構築したベクトル型磁石装置について述べられている。また、このような装置を用いた軟 X 線磁気二色性の詳細な測定によって、磁気異方性の解析が可能となることが示されている。

第 5 章では、 $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ 薄膜の XMCD による膜厚に依存した磁気特性が調べられている。XMCD で測定した磁化曲線の解析により、薄膜の厚さの減少に伴い強磁性成分が徐々に減少し、常磁性成分が徐々に増加することが分かった。薄膜の厚さの減少で徐々に磁気的な転移が起こる様子は、金属から絶縁体への転移が急に起きることと非常に対照的である。このような電気的な転移と磁気的な転移の違いは、強磁性金属相と常磁性絶縁体相の間の相分離モデルで説明できる。

第 6 章では、角度依存 XMCD 測定により $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 薄膜の非等方的なスピン密度が研究されている。 SrTiO_3 上の薄膜は面内伸長歪みによりスピン密度が薄膜面内の x^2-y^2 的になる一方、 LaAlO_3 上の薄膜は面内圧縮歪みによりスピン密度が薄膜に面直の $3z^2-r^2$ 的になることが分かった。この結果によって、

歪みを受けた $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 薄膜における磁気異方性とスピン密度の分布の関係が明らかになった。これまでの軟X線磁気二色性の問題点は、表面における占有軌道の違いと非磁性層の形成によって説明がついた。

第7章では、XMLDの測定により $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 薄膜のスピン分極によって引き起こされる非等方的な電荷分布が述べられている。XMLDスペクトルの膜厚依存性から、XMLD強度が薄膜の強磁性成分から生じることが分かった。電荷分布の非等方性を示す電気四重極モーメントは負となり、面内の3d軌道がスピンの方向に少し引きのばされていることが示された。スピンの方向に電子軌道がのびる現象は、基板歪みによる薄膜の磁気異方性と関連することが示された。

最後の第8章で以上の結果がまとめられ、本論文で得られた新しい知見のまとめと今後の展望が述べられている。

以上のように、本論文では $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 薄膜の電荷スピン状態の研究のため、ベクトル型磁石装置という新しい測定装置を構築し、そのXMCDとXMLD実験の結果の詳細な解析から新たな知見を得ている。特に、これらの薄膜に対するこれまでの軟X線磁気二色性の報告が引き起こしていた解釈の混乱を、表面における占有軌道の違いと非磁性層の形成によって説明をつけて解決した点が高く評価される。なお、本論文は吉松 公平、坂井 延寿、Vijay Raj Singh、Virendra Kumar Verma、石上 啓介、原野 貴幸、門野 利治、竹田 幸治、岡根 哲夫、斎藤 祐児、山上 浩志、澤 彰仁、組頭 広志、尾嶋 正治、小出 常晴、藤森 淳、北村 未歩、簗原 誠人、高橋 文雄、坂本 祥哉、野中 洋亮、池田 啓祐、池 震棟、古瀬 充穂、淵野 修一郎、岡野 眞、藤平 潤一、内田 公、渡邊 和訓、藤平 秀幸、藤平 誠一、田中 新、合計32名の各氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって計画し実験と解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。