

# 論文審査の結果の要旨

氏名 シン ビジャイ ラジ

本論文は英語で執筆され、構成は6章から成る。第1章では本研究で取り上げる磁性化合物の基本物性及び研究背景が簡潔にまとめられている。第2章では、本研究で用いた実験法であるX線磁気円二色性(XMCD)について、測定の原理、データ解析法そしてじっさい使用した装置に関する説明がなされている。

化合物薄膜は将来のスピン트로ニクス材料として注目されており、その物質設計のための物理モデル構築が急務となっている。しかしながら、その磁性の起源については未だに多くの議論がなされており、その1つの理由として実際のデバイスでは異なる物質系を組み合わせるために界面/表面が存在し、その効果がスピン伝導及び分光実験のデータ解釈をめぐって障害になるからである。そこで、本論文では3種類の磁性化合物系について、XMCD実験を元にその薄膜の磁性研究を界面/表面層を含めて包括的に行った。そして本論文ではそれぞれの研究の内容を各章ごとに取り上げている。

第3章ではルチル型とアナターゼ型のTiO<sub>2</sub>薄膜にCo原子をドーブしたTiCo<sub>1-x</sub>O<sub>2-δ</sub>の薄膜について、そのXMCD研究がまとめられている。XMCD実験では表面感度の高い全電子収量法とバルク感度の高い全蛍光収量法を用い、薄膜表面と内部のCoイオンの磁気モーメントをそれぞれ選択的に得た。そして表面から深さ5nmの範囲には磁氣的に不活性な層が存在することを明らかにし、さらにTiCo<sub>1-x</sub>O<sub>2-δ</sub>薄膜の強磁性の起源が伝導電子で誘起されたものであることを証明した。XMCD実験は磁性を担う元素の磁気モーメントを直接調べることができる強力な手法であるが、表面/バルク感度の問題が常につきまとう。しかしながら本論文では2種類の検出法を組み合わせることで、SQUIDなどの実験結果と整合性がとれたデータを揃えることに成功した。信頼性の高いデータを収集し、それを元に物理的考察を行った研究は物性科学として意義が高い。

第4章ではマルチフェロイック物質として知られるBiFeO<sub>3</sub>にCo原子をドーブしたBiFe<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>3</sub>薄膜の強磁性の研究がまとめられている。磁性原子が混入した化合物の磁性は、起源として母体物質が関与する内因性のものと、異なる磁性物質が形成する外因性によるものに区別される。本論文ではCo原子のドーブ量に伴うX線吸収とXMCDデータの変化を系統的に調べ、薄膜内部にγ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系のナノ粒子が形成され、それが強磁性を担っていることを明らかにした(外因性起源)。複雑な物質系にも関わらず、分光データの詳細な解析によってその磁性起源に関する実験的証拠をとらえた結果は評価に値する。

第5章ではMgO/Co<sub>2</sub>Mn<sub>β</sub>Si<sub>0.98</sub>/MgOとMgO/Co<sub>2</sub>Mn<sub>β</sub>Ge<sub>0.38</sub>/MgOの2つの磁気トン

ネル接合 (MTJ) 系の XMCD 研究をまとめている。Co<sub>2</sub>Mn<sub>β</sub>Si<sub>0.98</sub> と Co<sub>2</sub>Mn<sub>β</sub>Ge<sub>0.38</sub> はホイスラー合金 X<sub>2</sub>YZ の化学量論比から外れた (off-stoichiometry) 物質であり、その MTJ 系のトンネル磁気抵抗が高いことが知られているが、接合界面での影響も指摘されている。そこで本研究では界面での磁性を調べるために全電子収量法を用いた XMCD 測定を行い、Mn の量 (β) に対する Co 及び Mn のスピン・軌道磁気モーメントの系統的变化を調べることで磁性の起源を議論した。off-stoichiometry 条件におけるホイスラー合金の磁性研究を先駆的に行い、その実験的証拠を捉えたのは物質科学の研究として価値が高い。

第6章では本研究成果が簡潔にまとめられ、それらを元に希薄磁性半導体、マルチフェロイック化合物、ホイスラー合金の磁性研究の展望やスピントロニクス応用への考察が行われている。

以上、本論文について各章を紹介しながらその物理学的価値を解説した。スピントロニクス材料として重要な酸化物薄膜とホイスラー合金薄膜の磁性を物理的に解明するために適切な試料を選択し、界面(表面)とバルクの性質に合わせて実験及び解析方法を工夫し、最終的には重要な実験的証拠を掴んだ。このように本研究は独自性も高く、また当該分野に学術的に優れた寄与をしている。したがって、本論文は、学位論文として十分な水準にあることが審査員全員によって認められ、博士論文として合格であると判定された。なお、本論文の内容の 1 部は Journal of Physics: Condensed Matter 誌にてすでに掲載され、今後も本学位論文から2報の論文投稿が見込まれている。いずれの論文も提出者が第一著者として中心に研究した結果であり、その寄与が十分であると判断される。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。