

## 論文審査の結果の要旨

氏名 久保田 雄也

磁気光学効果は偏光光をプローブとして磁性を物理的に理解できる重要な効果である。しかしながら、一般的に磁気光学効果は小さく、強磁性体薄膜の磁性を研究するための十分な信号強度が得られないという困難があった。これに対して、軟 X 線領域の内殻共鳴吸収エネルギー近傍における磁気光学効果では、巨大な信号が期待でき元素選択的な測定も可能である。本論文では、磁気光学効果の中で、磁気円二色性(MCD)と磁気光学カー効果(MOKE)に注目し、軟 X 線放射光を用いた高感度測定手法の開発と、それを用いた磁性薄膜での研究結果について報告している。

放射光はエネルギー可変な X 線源として普及しており、これを用いた MCD 測定は強磁性を調べる有用な方法として確立してきた。本研究では、SPRING-8 の BL07LSU 軟 X 線偏光可変アンジュレータービームラインにおいて、交流偏光変調を利用した MCD および MOKE 測定手法を開発し、高感度かつ高速測定を可能とした。そして、この手法を用いた鉄薄膜での MOKE スペクトル測定では、共鳴散乱の量子干渉として解釈できるスペクトル構造をみいだした。

本論文は 8 つの章から構成されている。第 1 章は序論であり、本研究の背景として、これまで行われてきた軟 X 線 MCD 測定と MOKE 測定を概観している。そして、強磁性体層を含む多層膜における磁性研究の重要性を指摘した後に、本研究の目的が述べられている。続く第 2 章においては、本研究で取り扱う MCD および MOKE の原理について詳述している。第 3 章は実験方法の説明であり、放射光の発生、光電子分光および磁気光学効果の実験装置と測定方法が述べられている。

続く第 4 章から第 7 章までに、本論文の主要な成果が述べられている。第 4 章は、トポロジカル絶縁体  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  薄膜と絶縁体フェリ磁性体  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  薄膜との二層膜における界面磁気相互作用に関する研究結果である。鉄の L 吸収端 MCD 測定結果は、界面における  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  の鉄電子状態がバルクとは異なっていることを示していることから、界面では  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  膜との間に磁気的な相互作用があると結論した。第 5 章では、鉄薄膜における L 吸収端共鳴 MOKE の研究について記述されている。得られた L 吸収端近傍のカー回転角スペクトルでは、最大回転角は  $10^\circ$  以上となり、スペクトル形状は経験的光学パラメータを用いた古典電磁気計算の結果と定性的に一致する。そして、これでは

説明できない  $L_3$  吸収端での鋭い構造が共鳴弾性散乱の干渉効果であることを共鳴軟 X 線散乱理論に基づく量子計算によって明らかにした。第 6 章では、軟 X 線の交流偏光変調化とそれを用いた測定手法の開発、および、FePt 合金薄膜と  $Y_3Fe_5O_{12}$  薄膜での鉄 L 吸収端 MCD 測定結果が述べられている。どちらの試料でもこれまで報告されてきた最高精度に匹敵するスペクトルを得ることができ、開発された手法の高い性能が確認された。第 7 章では、交流偏光変調法を用いて、鉄薄膜の L 吸収端近傍における誘電率テンソルの非対角項スペクトルを測定した結果が述べられている。交流偏光変調された軟 X 線を用いた MOKE 測定では、カー回転角と楕円率の両方のスペクトルが同時測定可能である。さらに、この測定から誘電率テンソルの非対角項を求めることができる。この手法では、第 5 章で述べられた従来の MOKE 測定に比べて 1/30 以下の時間で同等の精度のスペクトルを得ることができる。実際、鉄薄膜のスペクトルを短時間で精度よく測定し、誘電率テンソルを求めた。この測定法により、今後、軟 X 線領域での新しい磁性研究の発展が期待できる。第 8 章は、本論文で明らかにされた研究成果とその意義及び将来展望がまとめられている。

以上のように、論文提出者は、軟 X 線領域での新規な磁気光学効果測定手法を開発し、それを用いて薄膜強磁性を研究した。開発された交流偏光変調の軟 X 線共鳴 MOKE 測定手法は、高感度で元素選択的な方法であり、今後の多層膜や化合物磁性における研究の発展に大きな寄与が期待できる。その手法開発の意義は大きい。また、鉄 L 殻吸収端の共鳴スペクトルに量子干渉に起因する構造を見いだしたことも重要な成果である。この結果の理解のためには、今後の理論研究の発展を待つ必要があるものの、新規な高感度測定手法を用いて、新しい磁性研究を開拓したことは高く評価できる。本研究の物性物理学としての価値と独創性は十分であると認められた。したがって、本論文は、博士（理学）の学位論文としてふさわしい内容をもつものと認定し、審査員全員で学位を授与できると認めた。なお、本論文の第 4 - 7 章は共同研究者との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験、結果の解析、考察を行ったものであり、本論文が示す研究成果に関して論文提出者の寄与が十分であると判断した。