

論文審査の結果の要旨

氏名 山本 真吾

本論文では、物質の磁気ダイナミクスをフェムト秒領域にせまる極めて高い時間分解能で観測する実験手法の開発に成功し、その有効性をいくつかの例で示した成果が述べられている。

磁化の反転や磁壁の移動、消磁、スピン波、スピン歳差運動などの磁気ダイナミクスや角運動量の移行は、磁気・スピントロニクスデバイス等の開発・改良に重要であるばかりでなく、物性物理学の基礎として重要な研究テーマである。とくに、スピン軌道相互作用や交換相互作用など、電子系や格子系とスピンの相互作用に関してはフェムト秒にいたる時間領域での観測手法が必要となってくる。本研究では、放射光、高次高調波レーザー、および自由電子レーザーを利用し、極端紫外から軟 X 線領域のパルス光を用いた時間分解能の高い磁気光学カー効果 (MOKE、Magneto-Optical Kerr Effect) 測定システムを構築し、とくに従来から測定が困難であった薄膜・界面系のいくつかの試料の測定を試みた。その結果、本手法は可視光を用いた MOKE 法には無い優れた長所を持つことを実証した。今後、本成果はさまざまな磁性体・スピントロニクス薄膜・界面物質系に応用される汎用性の高い実験手法となると期待できる。

本論文は 7 章から構成されている。第 1 章では本研究の背景として、磁気ダイナミクスに関する従来の研究を概観して、その中から生まれた問題意識および本研究の目的が述べられている。第 2 章では、磁気光学カー効果に関する理論および実験手法のレビューを行い、とくに、本研究のテーマである共鳴 MOKE の原理、軟 X 線領域 MOKE の特徴、および非線形光学現象への拡張に関して述べ、本研究の基盤となる知識と概念を詳述している。第 3 章では、本研究で使用した極端紫外から軟 X 線領域の光源である放射光、高次高調波レーザー、および自由電子レーザーに関して述べられている。実験および解析結果は第 4 章以下に述べられている。第 4 章では、軟 X 線領域での初めての MOKE システムの構築が述べられている。Ni 薄膜を試料とし、その M 吸収端に光

エネルギーを合わせると、共鳴 MOKE 現象が起こり、可視光 MOKE より、数十倍大きな偏光面回転角が観測され、巨大磁気光学応答をはじめて観測することに成功した。第 5 章では、軟 X 線領域 MOKE 測定にサブピコ秒領域の時間分解能を持たせた測定システムの構築と実験結果が報告されている。まず、フェムト秒パルスの軟 X 線自由電子レーザーを使ってサブピコ秒オーダーの磁気ダイナミクスを追跡できることを、フェリ磁性合金 GdFeCo を試料として示した。そこでは、Fe 副格子がレーザー誘起によって 200 fs 秒以下で超高速磁化反転することを発見し、平衡状態での物質定数である補償温度はこの反転現象に無関係であることを示した。また、1 nm 以下の膜厚の Fe 薄膜の消磁が 300 fs 未満で起こることを観測し、マグノン励起が消磁過程に寄与していることを示した。第 6 章では、物質界面や表面など中心対称性を欠く系から選択的に信号が発生する第 2 次高調波発生現象を、自由電子レーザーを用いて軟 X 線領域ではじめて実証した成果が報告されている。これによって、埋もれた界面での磁気ダイナミクス測定への展開が期待できる。第 7 章では本論文で明らかにされた結果とその意義がまとめられており、さらに今後の研究の展望が述べられている。

以上のように、本研究によって線形および非線形の極端紫外から軟 X 線領域での磁気光学効果の測定手法とその有効性が示され、元素選択的に薄膜、界面からの情報をサブピコ秒の時間分解能で追跡できるようになった。これによって、ヘテロ構造を持つスピントロニクス分野でのデバイス開発研究、埋もれた界面における相転移現象、空間・時間反転対称性が破れたマルチフェロイック相の研究といったさまざまな分野で元素選択的な磁化ダイナミクスの測定に威力を発揮すると期待できる。よって、本研究の物性物理学としての価値と独創性は十分と認められ、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、審査員全員で合格と判定した。なお、本論文は、共同研究者らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験の遂行や結果の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した。