

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 飯田 隆吾

論文題目 逆磁気光学効果により誘起された反強磁性体の超高速スピンドYNAMIX

本論文はフェムト秒パルス光により、半強磁性体のスピン歳差運動を高い自由度で制御しようとするものである。

従来の光によるスピン歳差運動の励起は、光による強磁性体あるいは半強磁性体の加熱によるものがほとんどであった。近年、フェムト秒パルス光を用い、逆磁気効果により発生した有効磁場パルスによる、非熱的なスピン歳差運動の励起が報告され始めている。ここでは主に円偏光が用いられ、逆ファラデー効果により現象が解釈されてきた。本研究は逆ファラデー効果に加えて、逆コットンムートン効果も利用し、より高い自由度でスピン歳差運動を制御しようとしている。逆ファラデー効果は円偏光のみにより引き起こされるが、逆コットンムートン効果は円偏光と直線偏光の両方で励起され、よりスピン歳差運動の制御の自由度が高まると期待され、この研究ははじめられた。

本論文は、7章から構成されている。以下に各章の内容を要約する。

第1章では、序論として本研究の背景目的、及び構成について述べている。

第2章では、本論文の理論的基盤となる、磁気光学効果とその逆過程である逆磁気光学効果について説明している。逆磁気光学効果によりスピン歳差運動が誘起される。磁気光学効果はスピン歳差運動の観測に用いる。

第3章では、半強磁性体結晶である DyFeO_3 において、逆ファラデー効果と逆コットンムートン効果を分離することを試みた。Pump光としてパルス長 120 fs、波長 600~1500 nm、のパルス光を照射し、これによるスピン歳差運動を波長 800 nm、パルス長 120 fsのprobe光を用い、ファラデー効果により観測した。スピン歳差運動の、pump偏光依存性、pump波長依存性、結晶厚さ（相互作用長）依存性、probe偏光依存性、温度依存性を測定し、理論と照合することにより、900 nm以上の波長域では逆コットンムートン効果が大きく、それ以下の波長域では逆ファラデー効果が大きいことを明らかにした。

第4章では、従来知られていなかった円偏光による逆コットンムートン効果をCoOにおいて測定し、直線偏光も含めてより完全に逆コットンムートン効果によるスピン歳差運動について考察した。これまでは、逆ファラデー効果は円偏光、逆コットンムートン効果は直線偏光により起こるといった思い込みがあった。実際には逆コットンムートン効果は円偏光でも起こる。ここでは結晶内のスピンの方向[117]に対して、pump光の電場ベクトルの方向を[001], [010], [100]の3方向すべてに変化させ、偏光と励起されたスピン歳差運動の振幅と位相の関係について測定した。その結果、確かに直線偏光だけでなく円偏光でも逆コットンムートン効果を起こすことができることを実証した。これまでhelicityに依存しない円偏光励起のスピン歳差運動は全て熱由来であると考えられてきたのに対して、この結

果は反例を与えたものとしても価値がある。

第5章では、3副格子を持つ反強磁性体 YMnO_3 のスピンスピン歳差運動がpump光の偏光状態に応じて3次的に励起されることを示した。3副格子系のスピンスピン歳差運動のモードを考察した結果、pump光がz方向に伝搬する場合、直線偏光によりxおよびy方向のスピンスピン振動成分が、円偏光によりz方向のスピンスピン振動成分が励起できることを示した。これにより、励起光パルスの偏光状態により、ベクトル的なスピンスピン振動の制御が可能であることが明らかになった。さらに応用として時間差をつけたxおよびy偏光ダブル光パルスにより円運動磁化変化を励起できることを示した。

第6章では、磁性体の対称性から理論的に予測されるスピンスピン歳差運動の励起状態について考察した。逆磁気光学効果における角運動量保存則、結晶の回転対称性と角運動量保存則を考察し、角運動量のウムクラップ過程を考慮した角運動量保存則を検証した。

第7章では、本研究の成果をまとめた後、今後の展望について述べている。

以上のように、本論文では反強磁性体をフェムト秒光パルスで励起したスピンスピン歳差運動に対して、逆ファラデー効果と逆コットンムートン効果の分離を行うことが可能であることを示し、次いでこれまで知られていなかった円偏光による逆コットンムートン効果を実験的に計測し、より一般的な逆コットンムートン効果の偏光依存性を示した。さらに3副格子を持つ反強磁性体に対して、逆コットンムートン効果によりベクトル的なスピンスピン振動制御が可能であることを示した。これにより、これまで詳細には明らかにされていなかった逆コットンムートン効果によるスピンスピン振動制御に関して有益な知見を与えたといえる。このため本研究の成果は今後の物理工学の発展に大きく寄与することが期待される。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認められる。