

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 井口雄介

近年、物性物理学分野では、相対論的量子論のディラック方程式に由来するスピン軌道相互作用から生じる非自明な物理現象に注目が集まっている。スピンホール効果、トポロジカル絶縁体、磁気誘起強誘電体などがこの例である。本研究では、磁性体中の磁気励起すなわちマグノン励起における相対論効果について研究を行った。特に、空間反転対称性、時間反転対称性が破れた状態において現れる、マグノンやマグノン励起エネルギー付近のマイクロ波における非相反性（波数の正負で透過強度や位相速度などが異なる性質）に着目して研究を行った。

本論文は6章からなる。

第一章は序論である。いくつかの関連する先行研究と本研究開始時点での未開拓な事項がまとめられ、それをもとに本研究の目的が述べられている。

第二章では、本研究では研究に用いた試料の作成方法や、マグノン励起測定のためのマイクロ波を利用した測定装置について述べられている。この測定装置は、研究室の初めての大学院生であった論文提出者が自ら立ち上げたものである。

第三章、第四章、第五章は本論文の中心をなすものであり、本研究で得られた実験結果とその考察が述べられている。

第三章では、鏡映対称が破れていてキラリティーを持つ強磁性体である LiFe_5O_8 におけるマグノンの非相反性について述べられている。フォトリソグラフィーで作製したマイクロ波の微細な蛇行型アンテナを用いることにより比較的高い波数を持つマグノン励起を行い、この物質におけるマグノン伝搬の非相反性を実証している。マグノン励起の非相反性は、過去には薄膜の表面・界面の対称性の破れを利用したものが報告されていたが、バルク結晶のキラリティーによるマグノン励起の非相反性は初めての報告である。この章の結果は、*Phys. Rev. B* 誌に発表済みである。また、この章の結果は、上村宗一郎氏、上野和紀氏、小野瀬佳文氏との共同研究によるものであるが、この章の結果は、論文提出者の寄与が主たるものとして認められている。

第四章では、コニカル磁気構造を持つ磁気誘起強誘電体である $\text{Ba}_2\text{Mg}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ におけるマグノン励起周波数付近のマイクロ波の非相反性について述べられている。この系では、電場によって強誘電分極が制御出来、磁場によって磁化が制御できる系となっている。本研究では、様々な電場磁場による実験を行ってマイクロ波吸収が電気分極と磁化の外積に平行か反平行かで異なる非相反性が現れることを明らかにした。マイクロ波の非相反性が電氣的に制御できる例は本研究が初めての報告である。この章の結果は、*Nature Communications* 誌に掲載されている。また、この章の結果は、新居陽一氏、小野瀬佳文氏との共同研究によるものであるが、この章の結果は、論文提出者の寄与が主たるものとして

認められている。

第五章は、空間反転対称性が破れた結晶構造をもつ反強磁性体 $\text{Ba}_2\text{MnGe}_2\text{O}_7$ におけるマグノン励起周波数付近のマイクロ波の非相反性について述べられている。反強磁性体のマグノン励起は、反強磁磁気構造中の二つの副格子のスピンの同位相で振動する ω_1 モードと反位相で振動する ω_2 モードの二種類が存在する。本研究では、まずこれらの周波数の磁場依存性から反強磁性交換相互作用の大きさや異方性パラメータを導出した。また、 ω_1 モード付近にマイクロ波の非相反性が生じ、 ω_2 モードは非相反性が小さいことを見出した。同時にスピン波近似に基づく理論的な計算も行い、実験結果を説明することが出来ることが述べられている。

第六章では、本研究のまとめが述べられている。

以上を要するに、本論文ではマグノン励起の非相反性の研究を多角的に行った。特に、バルク結晶の空間反転対称性の破れによるマグノン非相反性、マイクロ波非相反性の電場制御、反強磁性マグノンのマイクロ波非相反性といった過去になかった新しい現象の観測に成功しており、関連する新たな知見を得たという点で、物性物理学の進展に寄与するところが大きく、将来の通信工学などの発展にもつながる可能性を秘めている。

したがって、本審査委員会は博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと認定する。