

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	林 大寿
論文題目	人工反強磁性体における混成マグノンに関する研究		
(論文内容の要旨)			
マグノンを利用した情報処理技術はエネルギー効率の高さから、次世代の高周波帯域技術への応用が期待されている。しかし従来の強磁性体を基盤とするマグノンデバイスには、外部磁場や漏れ磁場の影響を受けやすく、デバイスの安定性や集積化が困難であるという課題が存在した。この課題を克服するために、人工反強磁性体 (synthetic antiferromagnet, SAF) が近年注目を集めている。SAFは正味の磁化を持たず、外部磁場による擾乱に強いという反強磁性体の利点と、GHz帯域の共鳴周波数を持ち、マグノンの励起や検出が容易であるという強磁性体の利点を兼ね備えている。このことからSAFは、次世代マグノンデバイスの基盤材料として期待されている。本研究では、SAF中に励起される音響モードと光学モードのマグノンの結合により生成される混成マグノンに着目し、その基礎特性の解明を目指した。 面内磁化のSAFにおいては、隣接する強磁性層の磁化の歳差運動が同位相である音響モードと、逆位相である光学モードの二種類のモードが存在する。これらのモードは、アンテナから発生する高周波磁場と外部磁場の位置関係を制御することで選択的に励起することができる。特に、外部磁場をマグノンの伝播方向から45° 傾けて印加することで、音響モードと光学モードが動的な双極子相互作用により結合し、混成マグノンが形成されることが明らかにされていた。まず、混成マグノンの伝播特性を評価するために、ヘテロダインMOKE測定を用いてSAF中のマグノンの強度と位相を取得した。この測定では、極カー効果を用いて面直方向の磁化振動を検出することで、SAF中の混成マグノンの挙動を高い精度で観測した。さらに、得られた強度と位相をフーリエ変換することで、混成マグノンの分散関係を導出した。本研究では結合により発生した反交差ギャップを定量的に評価し、結合効率を示すCooperativityパラメータCを求めた ($C=8.4\pm1.3$)。この値は、SAF中の混成マグノンが強結合の条件を満たしていることを示している。 混成マグノンの非線形応答をヘテロダインMOKE測定によって詳細に調査した。励起強度が閾値を超えると、マグノンの共鳴周波数が低周波数側にシフトし、その強度の減少が確認された。さらに、励起強度が閾値を超えると、入力マイクロ波の二倍の周波数のマグノンが生成され始めることが確認された。したがって、入力マイクロ波の二倍の周波数のマグノンが生成されたことが基本波マグノン強度減少の原因であると結論付けられた。			

これらの研究成果は、人工反強磁性体を基盤としたマグノンデバイスの動作範囲や性能設計に関する重要な知見を提供するものである。混成マグノンの伝播特性や非線形応答の詳細を解明することで、マグノンを利用した情報処理技術の応用に向けた基礎的な理解が大きく進展することが期待される。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、人工反強磁性体 (SAF) 中に生成される音響モードと光学モードのマグノンの結合により形成される混成マグノンの特性に関するものである。具体的には、「混成マグノンの伝播特性の評価」と「混成マグノンの非線形応答の解析」の二つを主題としている。

「混成マグノンの伝播特性の評価」では、ヘテロダインMOKE測定を用いてマグノンの強度と位相を空間的に取得し、その伝播特性を明らかにした。その結果、導出された分散関係を用いて結合強度と散逸を解析することで、混成マグノンが強結合の条件を満たしていることを示した。この研究によって得られ結果は、マグノンの動的挙動やエネルギー伝播特性を理解するために重要である。

「混成マグノンの非線形応答の解析」では、マグノンの励起強度を連続的に変化させ、その周波数特性や伝播特性がどのように変化するかを、ヘテロダインMOKE測定を用いて調査した。その結果、励起強度が閾値を超えると共鳴周波数のシフト、入力マイクロ波と同じ周波数のマグノンの励起強度の低下、及び分散関係の形状変化が確認された。また、スペクトラムアナライザを用いた測定では、高い励起強度において入力マイクロ波の二倍の周波数のマグノンが励起され始めることを確認し、それが入力マイクロ波と同じ周波数のマグノンの励起強度の低下を引き起こしていると結論付けた。これらの結果は、混成マグノンの基礎特性に関する理解を深めるとともに、マグノンを情報媒体として活用するデバイスの設計指針を提供するものである。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和7年1月14日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公表可能日： 年 月 日以降