

学位論文の要約

題目 人工反強磁性体におけるスピン波の研究

氏名 石橋 未央

序論

人工反強磁性体とは、強磁性層/非磁性層/強磁性層からなる人工格子のことであり、薄い非磁性層の膜厚に依存して、二つの強磁性層の磁化は、平行、反平行状態のどちらかを安定状態とする。1986年、Grünbergらによって、Fe/Cr/Fe三層膜において、二つの強磁性層の磁化が非磁性層を介して反平行に結合することが、初めて観測された。その2年後、Fertらが、Fe/Cr多層膜において、40%以上の抵抗比を報告した。この大きな抵抗比は、巨大磁気抵抗効果と呼ばれ、数多くの人工格子に関する研究がなされた。この時代、人工反強磁性体におけるスピン波の研究も盛んになされたが、その多くが、ブリルアン散乱分光を用いた熱マグノンの実験であった。近年、反強磁性体における磁化ダイナミクスが注目を集めると同時に、人工反強磁性体における反強磁性的振る舞いに着目した研究が再び注目を集めている。

そこで、本研究では、ベクトルネットワークアナライザを用いたマイクロ波による測定手法で、二つの磁化が反平行に結合した人工反強磁性体のコヒーレントなスピン波についての詳細を調査している。はじめに、人工反強磁性体内磁化膜中を伝播するスピン波の共鳴周波数の非相反性を観測、及び非相反性の方向をパルス電流で制御することに成功している。次に、人工反強磁性垂直磁化膜におけるスピン波の磁気共鳴を調査し、右偏光と左偏光の二つの共鳴モードを報告している。主論文の内容について、以下に記載する。

1. 人工反強磁性体中を伝播するスピン波の切り替え可能な巨大非相反的周波数シフト

スピン波の非相反性とは、ある方向に伝播するスピン波と、そのスピン波の伝播方向と180度反対方向に伝播するスピン波の性質が異なる現象のことであり、スピン波を用いた論理演算素子など、スピン波の伝播特性を用いた応用研究において、特に重要な性質である。スピン波の非相反性については、主に、スピン波の振幅の非相反性とスピン波の共鳴周波数の非相反性が研究されている。近年では、強磁性薄膜とPtなどの非磁性重金属界面に生じたジャロシンスキー守屋相互作用に由来した共鳴周波数の非相反性の研究が注目を集めている。しかし、強磁性単層膜においてこれまでに報告されているスピン波の共鳴周波数

の非相反性は、すべて界面効果に由来するものであり、強磁性層の膜厚が極めて薄い領域では大きくなるが、強磁性層の膜厚が厚くなるとその効果が小さくなるため、応用には難しい。人工反強磁性面内磁化膜におけるスピン波の共鳴周波数の非相反性は、1986年、Grünbergらによるブリルアン散乱分光法を用いた実験によって、Fe/Cr/Fe三層膜において、初めて報告されており、その後もFe/Cr/Fe, Co/Ru/Co三層膜、及び多層膜など数多くの人工反強磁性体において報告されている。しかし、これらの先行研究における人工反強磁性面内磁化膜のスピン波の実験では、主に、ブリルアン散乱分光法が用いられており、観測されたスピン波は、熱によって励起されたインコヒーレントなスピン波であった。

本研究では、ベクトルネットワークアナライザと微細加工によって作製された Coplanar waveguides を用いて、FeCoB/Ru/FeCoB人工反強磁性面内磁化膜中を伝播するコヒーレントなスピン波を観測し、その詳細を明らかにした。さらに、FeCoB/Ru/FeCoB細線にパルス電流を印加することで、二つの磁化の相対角を反転させ、スピン波の共鳴周波数の非相反性を制御することに成功した。本結果は、スピン波を用いたダイオード素子の開発にもつながり、人工反強磁性体中を伝播するスピン波の応用研究を大きく発展させると考えられる。

2. 人工反強磁性垂直磁化膜におけるスピン波共鳴

強磁性体におけるスピン波とは異なり、Colinearな反強磁性体のスピン波には、異なる回転方向を有した二つの共鳴モードがある。この二つのスピン波の磁化の回転方向をスピン波の偏光と呼び、右偏光と左偏光、これら二つの反強磁性体におけるスピン波の偏光は、既存の振幅と位相に加えた、スピン波の新たな自由度として、注目を集めている。しかしながら、反強磁性体は、強い交換相互作用のため、THz領域に及ぶ高い共鳴周波数を有しており、反強磁性体のスピン波を操作することは難しい。

本研究では、薄いRu層を介して二つのCo/Ni多層膜の磁化が、面直方向を向きながら反平行に結合する、人工反強磁性垂直磁化膜におけるスピン波を、ベクトルネットワークアナライザを用いて調査した。人工反強磁性体は、GHz領域の共鳴周波数を有しているため、電気回路によるマイクロ波を用いた手法で、スピン波を容易に取り扱うことが可能である。反射波測定の結果、二つの磁化が反平行に結合する磁場範囲において、外部磁場の増加に対して、共鳴周波数が大きくなる共鳴モードと、共鳴周波数が小さくなる共鳴モード、傾向の異なる二つの共鳴モードを観測した。本研究では、人工反強磁性垂直磁化膜におけるスピン波の分散関係を磁化の運動方程式に基づいて導出しており、人工反強磁性垂直磁化膜におけるスピン波の理論的な解析手法を提示している。この解析手法に基づき、実験において観測された二つの共鳴モードが右偏光と左偏光の共鳴モードに対応しているということ、明らかにしている。