

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	畑 拓志
論文題目	ナノ構造体におけるスピン波伝播の研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本研究は、マイクロマグネティクスシミュレーションによりスピン波のダイナミクスを解明することを目的として行われたものである。本論文では大別して2つの事項について報告を行っている。</p> <p>1つ目の研究課題は「垂直磁化膜におけるスピン波による磁壁移動」である。従来より電流誘起の磁壁移動現象についての研究がされてきたが、近年になり新しい手法である、スピン波誘起による磁壁移動の研究がさかんになってきた。スピン波が伝播する際には電流が流れないため、ジュール熱損失のない低消費電力のデバイスを開発することが可能となる。スピン波による磁壁移動は、面内磁化膜の系において理論およびシミュレーションにより研究されてきた。一方、デバイス応用の観点から有利である垂直磁化膜におけるスピン波誘起磁壁移動現象は、まだ研究が行われていなかった。本研究では、垂直磁化膜におけるスピン波誘起磁壁移動現象について調査を行った。計算で用いる試料の大きさは $3072 \times w \times 1.4 \text{ nm}^3$ とした。細線幅wは18 nm から72 nmまでの範囲で、3 nm刻みで変化させた。材料定数は、垂直磁化Co/Niに典型的な値を利用し、面直方向に磁気異方性を設定した。シミュレーションの結果、30 GHz以上の周波数において磁壁が移動することがわかった。磁壁がスピン波励起源に近づく (負方向) 場合と、遠ざかる (正方向) 場合があった。磁化配列の時間発展を調べた結果、正方向に移動する場合は磁壁面が振動する一方、負方向に移動する場合は振動しないことがわかった。スピン波の減衰を調べるため、スピン波振幅の位置依存性を求めた。その結果、磁壁が正方向に移動する場合は磁壁においてスピン波の吸収が起こり、負方向に移動する場合は磁壁でのスピン波の吸収が起こらないことが確認された。このように、磁壁が正方向に移動する場合と負方向に移動する場合は異なるメカニズムに基づいていることが明らかとなった。</p> <p>2つ目の研究課題は「スピン波におけるスネルの法則の実証」である。屈折の法則 (スネルの法則) は波の伝播における最も重要な法則の1つである。スピン波は「波」としての性質を持つので、干渉や屈折など波としての現象が現れるはずである。先行研究では、異なる結晶磁気異方性をもつ界面や、異なる物質間での界面において、スピン波の屈折が理論的に研究された。一方、スピン波の波数は、膜厚を変化させることで容易に変化させることができる。本研究では、膜厚の異なる系におけるスピン波の屈折を調査し、スネルの法則と合致するか確認を行った。計算で用いる試料の大きさは幅50 μm、長さ60 μmとした。試料の幅は平面波を再現できる程度に広く設定した。試料右側の膜厚を60 nm、試料左側の膜厚を30 nmとした。材料定数は、面内磁化膜であるパーマロイ (FeNi合金)に典型的な値を利用し、磁気異方性の設定はゼロとした。シミュレーションの結果、スピン波の波長や位相速度が膜厚の異なる界面において変化し、入射角と屈折角の関係はスネルの法則と合致することがわかった。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、「垂直磁化膜におけるスピン波による磁壁移動」および「スピン波におけるスネルの法則」の2つの内容で構成されている。

まず、「垂直磁化膜におけるスピン波による磁壁移動」では、垂直磁気異方性を持つ強磁性体細線における、スピン波誘起による磁壁移動現象がシミュレーションにより調査されている。はじめに磁壁移動距離の周波数依存性が調査され、周波数に依存して磁壁が負方向に移動する場合と正方向に移動する場合があることが明らかとなった。幅広い周波数帯で磁壁が負の方向に移動し、特定の周波数で共鳴的に磁壁が正の方向に移動する。磁化配列の時間発展を調べた結果、正方向に移動する場合は磁壁面が振動する一方、負方向に移動する場合は振動しない。細線幅、周波数、および磁壁移動距離の関係性を調べた結果、磁壁の振動における節の数 n が同じ場合、細線幅 w が大きくなると共鳴周波数が小さくなる。また、細線幅 w が大きくなると、さらに大きな n の振動が観測された。これらの振る舞いは、自由端条件の弦の振動によく似ている点が興味深い。次に、スピン波の減衰を調べるため、スピン波振幅の位置依存性を求めた。その結果、磁壁が正方向に移動する場合は磁壁においてスピン波の吸収が起り、負方向に移動する場合は磁壁でのスピン波の吸収が起らないことが確認された。このように、磁壁が正方向に移動する場合と負方向に移動する場合では異なるメカニズムに基づいていることが明らかとなった。本研究においては、周波数の違いにより容易に異なる種類の磁壁移動が誘起されることが解明された。

次に「スピン波におけるスネルの法則」では膜厚の異なる系においてシミュレーションにより調査が行われている。材料の異なる界面や、磁気異方性の異なる界面でのスピン波の屈折は先行研究で行われていたが、本論文ではより容易に実験が可能な膜厚の異なる系で調査が行われた。はじめにスピン波の波数と周波数の関係(分散関係)を調査したところ、シミュレーション結果は理論値と一致しており、シミュレーションが正しく行われていることを示した。次に入射角がゼロの場合について調査したところ、スピン波の波数や位相速度が膜厚の異なる界面において変化した。最後に入射角がゼロでない場合について調査したところ、入射角と屈折角の関係はスネルの法則と合致した。この研究結果により、波の持つ最も重要な性質のひとつである屈折について、スピン波の場合でも成り立っていることが明らかとなった。

スピン波は、基礎物理の観点からは干渉や屈折、デバイス応用の観点からは論理回路やメモリなど、多彩な側面を持っている。本研究の成果は、スピン波についての新たな一面を明らかにし、基礎、応用の両方の発展に少なからず貢献するものであると考える。

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、平成27年1月13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。

要旨公表可能日： 年 月 日以降