

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	小田 研人
論文題目	スピン輸送現象を利用した反強磁性体磁化の検出		
(論文内容の要旨)			
<p>近年では原子単位で磁気モーメントをもつものの、全体として自発磁化を持たない反強磁性体が注目を集めている。反強磁性体は漏れ磁場がないことや共鳴周波数がテラヘルツ領域にあることなどの特徴をもつ。そのため、磁場擾乱に強い磁気メモリやテラヘルツ発信器への応用が期待できる。反面、全体として自発磁化を持たないために、磁気モーメント方向の電氣的な検出は、困難であると考えられてきた。本研究では、スピンホール磁気抵抗効果(SMR)を利用して反強磁性体の磁気構造の情報を得ることを目的とした。</p> <p>重金属W/Mn<sub>3</sub>Irおよび重金属Pt/Mn<sub>3</sub>Ir構造の薄膜を用いた。これらの薄膜はスパッタリング法により積層されたあと、220°Cで30分間加熱処理された。そしてフォトリソグラフィとArイオンミリングによって素子加工し、抵抗値の磁場印加角度依存性を測定した。SMRは、磁場とスピン分極方向が変化する際に抵抗変化として観測されるはずである。Pt/Mn<sub>3</sub>Irは磁場とスピン分極方向が相対角度をもつ磁場回転面でのみ抵抗変化が得られ、この抵抗変化はSMRに起因すると判断される。一方、W/Mn<sub>3</sub>Irではどの面で磁場を回転させても抵抗変化が得られた。これは、WとMn<sub>3</sub>Irの抵抗率は同程度であり、電流は双方の層を流れるため、W/Mn<sub>3</sub>Irの電気抵抗変化には、SMRと異方性磁気抵抗効果(AMR)が含まれるためと解釈される。</p> <p>SMRの温度依存性を調査すれば、磁気転移温度(<math>T_N</math>)の検出が期待できる。そこで、本実験では、Pt/CoO/Pt三層膜構造の磁気抵抗効果の温度依存性を調査した。作製した素子の抵抗値の面内磁場角度依存性を10 K毎に測定した。その結果、CoOが反強磁性のときは負のSMRが得られた。その抵抗変化の振幅を温度に対してプロットした結果、温度の上昇に対して減少した。この温度依存性をべき乗則でフィッティングすることで<math>T_N \sim 290</math> Kが得られ、CoOのネール温度とほぼ一致した。したがって、SMRを介した<math>T_N</math>の検出が可能であることを示した。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は「CoOのネール温度前後におけるスピホール磁気抵抗効果の温度依存性」及び「重金属/ノンコリニア反強磁性体二層膜の磁気抵抗効果」の2つの内容で構成されている。

「CoOのネール温度前後におけるスピホール磁気抵抗効果の温度依存性」では、Pt/CoO/Pt試料のスピホール磁気抵抗効果を介した磁気転移温度を調査した。まず、MgO(001)基板上にスパッタリング法によってPt(4 nm)/CoO(10 nm)/Pt(4 nm)薄膜を単結晶成長させた。その薄膜の結晶構造は反射高速電子線回折画像により確認された。次に薄膜をホールクロス上に細線加工した。この素子を用いて、ホール抵抗の磁場(24 T)印加角度依存性を200 K-320 Kの10 K毎に測定した。ホール抵抗値の磁場印加角度依存性は負の磁気抵抗効果が得られたため、その抵抗変化は反強磁性CoOの磁化に起因するといえる。得られた抵抗変化の振幅を温度毎にプロットした結果、温度上昇とともに減少した。これをスピ副格子の熱揺らぎを表現したフィッティング式で解析した結果、得られた磁気転移温度は290 Kとなり、バルクCoOの磁気転移温度と一致した。したがって、磁気転移温度をスピホール磁気抵抗効果を介した電氣的検出に成功し、その検出手法を確立した。

「重金属/ノンコリニア反強磁性体二層膜の磁気抵抗効果」では、W/Mn<sub>3</sub>Ir及びPt/Mn<sub>3</sub>Irの電気輸送測定からカイラル磁性に起因した磁気抵抗効果を調査した。熱酸化シリコン上にW(6 nm)/Mn<sub>3</sub>Ir(10 nm)及びPt(6 nm)/Mn<sub>3</sub>Ir(10 nm)の薄膜はスパッタリング法により製膜した後、Wの性質を考慮に入れながら比較的低温にて、加熱処理することでMn<sub>3</sub>Irの結晶化に成功した。その結果、前者はMn<sub>3</sub>Irの超格子ピークに由来する(110)ピークが観測された一方、後者はそのピークが抑制された。これらの薄膜は電気輸送測定のために素子加工し、それぞれ試料抵抗の磁場印加角度依存性を測定した。得られた抵抗変化をMn<sub>3</sub>Irのnet momentとNéel vectorに分割して解析した。その結果、Pt/Mn<sub>3</sub>Irの場合、Mn<sub>3</sub>Irの抵抗がPtの抵抗より十分に大きいため電流は主にPt層中を流れ、SMRを介してnet momentを電氣的に検出したことが明らかになった。一方、W/Mn<sub>3</sub>Irの場合、WとMn<sub>3</sub>Irの抵抗率は同程度であり、電流は双方の層を流れる。そのため、W/Mn<sub>3</sub>Irの電気抵抗変化には、SMRと異方性磁気抵抗効果(AMR)が含まれる。したがって、SMRを介したnet moment、AMRを介したNéel vectorの電氣的検出が可能となる。さらにW/Mn<sub>3</sub>Irの場合のみ、得られる抵抗変化量が磁場回転面に対して互いに非相関な成分がみられた。これは、規則化したMn<sub>3</sub>Irのカイラル磁気構造に起因すると推察できる。

本研究では、スピホール磁気抵抗効果を介した磁気転移温度の検出手法を確立し、ノンコリニア反強磁性体の磁気抵抗効果に関する新たな知見が得られた。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2年1月17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、合格と認められた。