

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	水野 隼翔
論文題目	強磁性金属薄膜を用いた磁性の電界効果		
(論文内容の要旨)			
<p>強磁性金属薄膜における磁性の電界効果について行われたものである。ゲート電極/絶縁体/強磁性体というデバイス構造を用いることで、外部電界により磁気特性を制御することが可能である。本論文では「垂直磁気異方性」と「異常ホール効果」に着目し、それぞれの電界変調の機構について研究を行った。</p> <p>本論文の1つ目の研究課題は「電界による界面垂直磁気異方性及びg因子の変調」である。本研究において、電界の印加が界面における軌道磁気モーメントと垂直磁気異方性との関係に与える影響を明らかにすることを目的とした。試料はPt/Co/MgO膜を用いた。ホモダイナミック検波を利用した強磁性共鳴(FMR)法により、界面の物性が顕著に現れる数原子層のCo超薄膜に対して、明瞭なFMRスペクトルを得ることができた。解析の結果、界面では垂直磁気異方性が発現し、同時にg因子の異方性(面直方向と面内方向の差分)が増大していることを確認した。磁気共鳴中のg因子は軌道磁気モーメントの値を反映するため、本結果は、界面における電子軌道の偏りと垂直磁気異方性の発現が結びついていることを意味している。</p> <p>次に、ゲート電圧を印加した状態でFMRを測定し、電界により膜面直方向の異方性磁場とg因子の異方性が共に変化していることを明らかにした。本結果は、軌道磁気モーメントの異方性の変化が垂直磁気異方性の電界変調における起源であることを意味している。さらに、界面に元々存在する「内的な」軌道磁気モーメントの異方性と、外部電界の印加によって生じる「外的な」軌道の異方性に誘起されるそれぞれの磁気異方性を比較した。Brunoモデルの枠組みにおいて、「外的な」軌道異方性に対する磁気異方性への変換効率Aが、「内的な」軌道異方性における同値よりも4倍小さくなるという結果を得た。両係数の違いは、変換効率Aそのもの、あるいはスピン軌道相互作用定数が電界に対して変調され得ることを示唆している。</p> <p>2つ目の研究課題は「遍歴強磁性体SrRuO₃における異常ホール効果の電界変調」である。本研究では、強磁性金属SrRuO₃薄膜において、電界の印加に対する異常ホール効果の応答を調査し、内因性機構の寄与を明らかにすることを目的とした。パルスレーザー堆積法により作製されたGdScO₃ sub./SrRuO₃(4 nm)/BaTiO₃(1 nm)をホール素子形状に加工した後、ゲート電圧を印加するためのHfO₂(50 nm)を原子層堆積法により積層し、ホール効果測定を行った。126.4 Kにおいて、電界の印加によって異常ホール抵抗率の符号が反転することを初めて示した。SrRuO₃の磁化方向は電界によって反転しないため、観測された異常ホール抵抗率の電界変調は、化学ポテンシャルの変化に伴って、占有状態におけるベリー曲率の積分値が変化したためと考えられる。</p> <p>また、BaTiO₃層のないSrRuO₃単層膜においては、電界の印加による異常ホール抵抗率の変調が見受けられなかった。SrRuO₃層の上部にBaTiO₃層を接合した場合、結晶構造を崩さない状態でRu-O-Ru結合角が変化することが分かっており、これは、ヘテロ構造化による酸素配位環境の変調に伴ってバンド構造が変化し、ベリー曲率に影響を及ぼしたことを示唆している。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は「電界による界面垂直磁気異方性及びg因子の変調」及び「遍歴強磁性体SrRuO₃における異常ホール効果の電界変調」の2つの内容で構成されている。

「電界による界面垂直磁気異方性及びg因子の変調」では、ホモダイナミック検波を利用した強磁性共鳴(FMR)法により、ゲート電圧の印加下における、Pt/Co/MgO試料の軌道磁気モーメントと垂直磁気異方性との関係を調査した。その結果、磁気特性の電界変調に由来するFMRスペクトルの明瞭な変化を測定し、電界によって異方性磁場及びg因子が共に変化していることが分かった。本試料における飽和磁化は電界によってほとんど変化しないため、本結果は、界面における軌道磁気モーメントの異方性の変化が、垂直磁気異方性に対する電界変調の起源であることを意味している。さらに、膜厚依存性と電界依存性の比較から、軌道磁気モーメントの異方性と磁気異方性との比例係数そのものが変調されていることを示唆する結果を得た。また、2次の磁気異方性エネルギーも電界によって変化し得ることが分かった。以上の結果は、デバイス応用も期待されている磁性の効率的な電界制御に対して重要な指針を与えるものである。加えて、軌道磁気モーメントと異方性磁場を実験室にて簡便に評価できる本手法は、電界を用いた、磁性を効率良く変調できる材料を探索する際の評価技術となることが期待される。

「遍歴強磁性体SrRuO₃における異常ホール効果の電界変調」では、強磁性金属SrRuO₃薄膜において、電界の印加に対する異常ホール効果の応答及びその機構を調査した。その結果、SrRuO₃/BaTiO₃二層膜における異常ホール抵抗率の符号が、電界の印加によって反転することを初めて示した。磁化容易軸方向や縦抵抗率の電界依存性から、測定した異常ホール抵抗率の電界変調が、バンド構造に由来した内因性機構に起因することを示した。また、SrRuO₃単層膜との比較から、ヘテロ接合による酸素配位環境の変化がベリイ曲率に影響を及ぼすことを示唆する結果を得た。今後、ヘテロ構造を駆使したバンド構造の制御と外部電界の印加によって、より効率的な電子輸送の外場変調が期待できる。

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31年1月18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