

京都大学	博士 ( 理 学 )	氏名	山田 貴大
論文題目	強磁性金属薄膜における電界効果		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は強磁性金属薄膜における磁性の電界効果を主題としており、以下の目的の3つの異なる研究課題で構成されている。</p> <p>1つ目の研究課題は「強磁性金属Coにおける電界効果」である。本研究は、磁気的性質の電界による変化の系統的な調査およびその詳細に関する議論を目的に行われた。本研究では、Ta/Pt下部電極層、HfO<sub>2</sub>/MgOゲート絶縁層、Co/Pt強磁性電極層で構成されたキャパシタンス構造を使用した。電極間にゲート電圧を印加しながら、磁気抵抗効果を利用した電気測定を行った結果、正のゲート電圧の印加(電子数の増加に相当)によって、Coのキュリー温度と垂直磁気異方性が増加することがわかった。さらに、SPring-8のBL25SUにおいて、同構造を用いてX線磁気円二色性(XMCD)測定を行ったところ、スピンと軌道磁気モーメントの両方が正のゲート電圧の印加によって増加することが明らかになった。垂直磁気異方性と軌道磁気モーメントの異方性の変化方向には一致が見られた。同時に、X線吸収分光法(XAS)測定を化学状態の変化を評価するために行ったが、Co層にゲート電圧の印加による酸化還元反応の兆候は確認されなかった。従って、電界の印加により生じた電荷蓄積が磁気的性質を変調させたと考えられる。</p> <p>2つ目の研究課題は「強磁性Ptにおける電界効果」である。本研究の目的は、強磁性金属薄膜における電界効果の微視的起源を実験的な側面から解明することである。本研究では、Pd/Co/Pt/MgOをチャンネルとした電気二重層トランジスタ構造を使用した。Co層との接合界面付近のPt層は近接効果によって強磁性化する。電解質にはイオン液体を用いた。チャンネル脇に作製したサイドゲート電極とチャンネルの間に電位差をつけることで、Pt層に大きな電界を印加することが可能である。SPring-8のBL39XUにおいて、本構造を用いてゲート電圧印加下でXMCD測定を行った結果、スピンと軌道磁気モーメントの両方が有意に変化することがわかった。また、XASスペクトルの変化から見積もられる5dホール数の変化量は小さく、化学反応が磁気的性質の変調に寄与しているとは考えにくい。さらに、スペクトルの変化から電子構造の変化に関して考察を行うと、強磁性Ptにおける電界による磁性の変調には、フェルミ準位の位置の変化と軌道混成の変化が深く関わっていることが明らかになった。実験結果は第一原理計算結果にも支持されており、得られた結論は妥当であると言える。</p> <p>3つ目の研究課題は「超磁性の電氣的制御」である。本研究の目的は、磁化状態の電氣的な制御である。本研究では、イオン液体を含むポリマーフィルムをTa/Cu/Ni/MgO多層膜とPt薄膜で挟んだ電気二重層コンデンサ構造を使用した。Ni層が超常磁性的挙動を示す。超常磁性状態の変化は磁化の緩和時間と測定時間が釣り合うブロッキング温度(ゼロ磁場冷却曲線のピーク温度と定義した)で評価することができる。多層膜とPt薄膜との間にゲート電圧を印加しながら、超電導量子干渉磁束計を用いてゼロ磁場冷却曲線を測定すると、正のゲート電圧の印加によってブロッキング温度が増加が見られた。また、ゲート電圧印加による磁化の変化が非常に大きいことから、電荷蓄積に加えて可逆的な化学反応も磁気的性質の変化に寄与していると考えられる。ブロッキング温度の変化は磁化反転障壁の高さの変化を意味しており、本結果は磁化の安定性が電氣的に制御可能であることを実証している。</p>			

(続紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、「強磁性金属Coにおける電界効果」、「強磁性Ptにおける電界効果」、「超磁性の電氣的制御」の3つの内容で構成されている。

まず、「強磁性金属Coにおける電界効果」では、電気測定とXMCDおよびXAS測定を用いて、MgO/Co/Ptにおけるキュリー温度、磁気異方性、スピンおよび軌道磁気モーメントの電界変調に関して系統的な調査が行われた。その結果、これらすべての磁氣的性質が正のゲート電圧の印加によって増加することが明らかになった。それに加えて、ゲート電圧の印加による化学状態の変化についてもXAS測定を用いて評価がなされており、MgO/Co/Ptにおける磁氣的性質の変調は化学反応ではなく電荷蓄積によって生じていることが示された。交換分裂の大きさがスピン軌道相互作用よりも大きいFeやCoでは、垂直磁気異方性が軌道磁気モーメントの異方性(面直、面内方向成分の差分)に比例するとされる。この関係性に基づけば、垂直磁気異方性が増加する場合には、軌道磁気モーメントの異方性を増加するはずである。本成果はこの予想を満たす。電界による磁気異方性の変調は磁気メモリーへの応用を目指す上で基幹となる技術であり、磁気異方性の変化が軌道磁気モーメントの異方性の変化により生じていると実験的に証明したことは意義があると考えられる。

次に、「強磁性Ptにおける電界効果」である。強磁性近接効果により強磁性化したPtを対象にして、ゲート電圧の印加下でXMCDおよびXASを用いて、スピンおよび軌道磁気モーメントの変化の評価が行われた。その結果、Ptの磁気モーメントがゲート電圧の印加によって有意に変化することが明らかになった。また、XASスペクトルからホール数の変化を見積もることで、ゲート電圧の印加によって生じる化学反応が優位な機構ではないことが証明された。本論文の重要性は、XMCDやXAS等の微視的手法により得られた結果を用いて、電界による磁性の変化の微視的起源に関して踏み込んだ議論を行った点にある。スペクトルの変化から電子構造の変化に関して考察し、強磁性Ptにおける磁性の電界変調にはフェルミ準位の位置の変化と軌道混成の変化が深く関わっていることが示された。結論の妥当性は第一原理計算を用いて評価されている。計算により得た電界によるスペクトルの変化は実験結果を良く再現している。さらに、計算により得た電子構造の電界による変化をそれと組み合わせ、実験結果より導き出した結論の妥当性が証明された。明らかになった微視的機構はCoやFe等の広範囲の強磁性金属における電界効果でも支配的に成り得るものである。実験の側面から微視的機構に関して踏み込んだ議論を行った前例はこれまでになく、本成果は基礎と応用の両面において今後大きな意味を持っていくと考えられる。

最後に、「超磁性の電氣的制御」では、ゲート電圧の印加下でゼロ磁場冷却曲線を測定することでブロッキング温度の変化が評価された。その結果、ブロッキング温度がゲート電圧の印加により大幅に変調することが明らかになった。ブロッキング温度の変化は磁化反転障壁の高さの変化を意味している。本結果は、磁気記録媒体でも重要になる磁化の安定性が電氣的に制御可能であることを示しており、磁性の電界効果の発展に寄与するものであると期待する。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成29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