

審査の結果の要旨

氏名 原田尚之

本論文は、金属/強磁性絶縁体/強磁性金属構造からなる、スピントラニオントンネル接合の作製と、その特性評価について述べたものである。本研究では、絶縁層に強磁性体を用いることで、透過電子のスピンの向きを一方に偏らせるスピントラニオントンネル接合に着目している。スピントラニオントンネル接合は強磁性絶縁層 (FI) の障壁の高さが電子のスピンの向きに依存することを利用しており、スピントラニオントンネル接合などへの応用が期待される。スピントラニオントンネル接合を透過した電子は原理的にはほぼ100% 上向きスピンを有するはずであるが、これまでに報告されているスピントラニオントンネル接合において、明瞭かつ大きなTMR効果が得られていない。その原因として、(1) 膜厚の減少に伴う強磁性絶縁層の強磁性特性の劣化、(2) 強磁性絶縁体/強磁性金属界面での磁気結合の不在から予想される界面での磁気特性の劣化、(3) トンネル電子の散乱の三つが挙げられる。本研究では、極薄膜でも良好な強磁性特性を示す強磁性絶縁体の開発と、電極/障壁層界面の制御を行うことで、120 %を超える大きく明瞭なTMRの観測に成功している。

第1章では、本研究の背景であるスピントロニクス、特にスピン偏極電流の生成と注入についてのこれまでの研究を概観している。金属から半導体中へのスピンの注入においては、金属と半導体の間の「伝導度ミスマッチ」によって効率的なスピン注入が妨げられる。その有力な解決策としてスピントラニオントンネル接合を挙げており、スピントラニオントンネル接合のこれまでの研究例、特性を向上する上で解決すべき問題点、さらに、素子構造の設計、について述べている。

第2章では、素子の作製と特性評価に用いた実験手法の原理について述べられている。第3章では、原子レベルで平坦かつ良好な磁気特性を示す、強磁性金属層の作製について述べられている。本研究では、レーザーの照射面積を制御することで、析出の無い原子レベルで平坦な表面と、良好な強磁性特性を有する $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ 薄膜の作製に成功している。

第4章では、極薄膜においても良好な強磁性特性を示す、強磁性絶縁体層の開発について述べられている。本研究では強磁性絶縁相の発現に、二重交換相互作用と超交換相互作用が寄与していると考えられている $\text{Pr}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$ に注目した。スピントラニオントンネル効果をとらねトンネル磁気抵抗効果として観測するには、強

磁性絶縁体と強磁性金属の磁化を独立に磁化反転させる必要があり、これら二つの層の保磁力差が十分大きい必要がある。そこで、スピン軌道相互作用の大きなCoでMnを置換することにより $\text{Pr}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{Mn}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_3$ (PCMCO)という物質を作製し、Co量を変化させることで保磁力の制御を行った。PCMCOにおいては、Co置換量が増加するにつれて保磁力は増加し、Co組成 $y=0.3$ においては、4000 Oeを超える大きな保磁力が得られた。

第5章では、スピントラニオントンネル接合の作製とその特性評価について述べられている。低温における伝導特性から、作製したスピントラニオントンネル接合において、理想的なトンネル伝導が起きていることを確認した。このような素子に対して、次にFI層とFM層の磁気結合の評価を行っている。PCMCO($y=0.2$)/LSMO積層構造の磁化の印加磁場依存性(M-H曲線)において、界面での強磁性的な磁気結合に由来すると思われる一段のヒステリシスが得られた。このことからPCMCO($y=0.2$)層とLSMO層が界面においても良好な強磁性特性を示していることが確認された。PCMCO($y=0.2$)層とLSMO層を独立に磁化反転させるために、非磁性体である SrTiO_3 (STO)の挿入を行い、M-H曲線の変化を調べた。その結果2分子層のSTOによって磁気結合が切れることが分かった。このように磁気結合を制御することで、120 %を超える大きなTMRが観測された。

多結晶Au極から、FI層へ電流を注入した場合に比べて、エピタキシャルLNO電極から電流を注入した場合にはより大きなTMRが得られた。この原因として、電子のトンネル過程の違いが考えられる。電子のトンネル過程について詳細に調べるために、非弾性電子トンネル分光(IETS)を行った。その結果、エピタキシャルLNO電極を用いることによって、多結晶Au電極を用いた場合に観測されていた、障壁中のフォノンおよび磁気的な散乱に由来するピークが大幅に減少することが分かった。以上の結果は、スピントラニオントンネル接合において、効率的にスピンを生成し、検出するためには、界面の制御が重要であることを示している。

第6章では、本論文のまとめが、第7章では、本論文の展望が述べられている。

本論文は、偏極スピンを生成するデバイスであるスピントラニオントンネル接合の作製に関する論文である。適切な材料選択と界面制御により、120 %を超える大きく明瞭なトンネル磁気抵抗効果を示すスピントラニオントンネル接合の作製に成功した。効率的に偏極スピンを生成し、検出するには界面の制御が重要であることが明らかになった。この知見は今後のスピントロニクス研究において重要な指針になると考えられる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。