

# 論文審査の結果の要旨

氏名 大槻 匠

強磁性/反強磁性界面を有する系は、一方向磁気異方性が生じる交換バイアス効果を示すことが知られている。本研究では、強磁性層として希薄磁性半導体を用いることで、交換バイアス効果の起源に関する問題を取り扱っている。

本論文は5章からなっている。

第1章は序論であり、交換バイアス効果の説明と現象論的な解釈について述べている。特に、過去の研究から予想されている非補償スピンの存在と、その結果生じるであろう磁化曲線の垂直シフト、同現象の観測に際しての実験上の問題点について詳しく触れている。さらに、本論文で希薄磁性半導体( $\text{Co}:\text{TiO}_2$ )を強磁性層に用いる意義について説明している。

第2章は実験手法に関する説明である。薄膜作成法であるパルスレーザー蒸着法(PLD)、薄膜評価方法である反射高速電子線回折(RHEED)、X線回折(XRD)、二次イオン質量分析(SIMS)、原子間力顕微鏡(AFM)、超伝導磁束量子干渉計(SQUID)について、それらの原理と、どのような情報が得られるかについて概説している。

第3章は、 $\text{SrTiO}_3(100)$ 単結晶基板上に作製した  $\text{Co}:\text{TiO}_2/\text{LaTiO}_3$  二層膜の結晶成長と、RHEED、XRD、SIMS による構造評価について述べている。薄膜成長時の RHEED 振動、製膜直後の RHEED パターン観測から、各層とも layer-by-layer 成長しており、膜表面は原子レベルで平坦であることを明らかにしている。また XRD 測定から、上記二層膜はアナターゼ型  $\text{Co}:\text{TiO}_2$ /ペロブスカイト型  $\text{LaTiO}_3$  が、それぞれ単相かつ c 軸配向のヘテロエピタキシャル成長していることを述べている。さらに、SIMS により各構成元素の膜面に垂直方向の分布を調べ、Co の  $\text{LaTiO}_3$  層への顕著な拡散はなく、界面近傍における混合原子層形成の可能性は低いことを確認している。以上の結果を総合して、界面近傍の不純物相が交換バイアスの起源ではないと結論している。

第4章は、 $\text{Co}:\text{TiO}_2/\text{LaTiO}_3$  二層膜の交換バイアス効果に対する冷却時の磁場強度、温度、各膜厚、界面の凹凸および磁場の印加方向による影響を系統的に調べている。磁場強度に対する依存性から、磁化曲線の横方向(磁場方向)のシフトに加えて、縦方向(磁化方向)へのシフトを観察し、両シフト量は磁場強度に比例することを見出している。これは、反強磁性体内に新たに誘起されたスピンの、磁場中冷却によって frozen-in され磁化反転しなくなったものと推論している。また、両シフト量は正の相関を示すこと、Co を添加しない  $\text{TiO}_2$  では磁化曲線のシフトが見られないこと、 $\text{LaTiO}_3$  のネール点以下で交換バイアスが急激に増加することから、界面における相互作用が交換バイアス効果を支配していると結論している。

一方、各層の膜厚を変化させると、シフト量は強磁性層の膜厚に依存しないが、反強磁性層の膜厚が 10-20 nm 以下になると交換バイアスが減少することを見出している。また、基板の平坦化処理の有無による相違を調べ、平坦化処理を行った基板上の二層膜では平坦化処理を行っていないものに比べ交換バイアスが大きく減少することを述べている。これは、 $\text{LaTiO}_3$  表面の非補償スピンの量が平坦化処理基板上では少なくなり、その結果磁化シフト量が減少したと解釈している。また、

界面の状態により交換バイアスの大きさが制御可能であることを指摘している。さらに、反強磁性層の膜厚に対する依存性を、近年提唱されているスピングラスモデルを用いて説明している。すなわち、界面での組成変化や凹凸などに起因して界面近傍のスピンは **frustrated** な状態にあり、その影響が  $\text{LaTiO}_3$  の磁気構造に影響することでシフト量が減少すると解釈している。スピングラス層の厚さは、最大で約 2.2 nm 程度であると算出している。

第5章は結論と要約である。

以上のように、本論文は、強磁性層に希薄磁性半導体を用いることで、交換バイアス効果における垂直シフトの原因を詳細に調べ、新たな磁気構造モデルを提案している。これらの研究は理学の発展に大きく寄与する成果であり、博士（理学）に値する。なお、本論文は長谷川哲也博士との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験、解析、及び考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。