

# 論文審査の結果の要旨

क्राशिएनपिपारं थान्तिप शिराभिग

氏名 **Krasienapibal Thantip Sirinabhigupta**

強磁性半導体 Co ドープ酸化チタン((Ti,Co)O<sub>2</sub>)は高いキュリー温度 ( $T_C > 600$  K)を持ち、室温で電場による磁性制御ができることから、スピントロニクス材料として注目を集めている。しかし、強磁性発現機構が明らかでないなど、その物性は十分に理解されたとは言いがたい。本論文では、高品質(Ti,Co)O<sub>2</sub>エピタキシャル薄膜を作製し、その磁気物性を詳細かつ多角的に調べ、高  $T_C$  機構を提案するとともに、応用の可能性についても議論している。

本研究は以下の7章より構成されている。

第1章は序論であり、本論文の背景および目的が述べられている。本章では、まずスピントロニクス材料である(Ti,Co)O<sub>2</sub>の物性を他の化合物と比較し概観している。また(Ti,Co)O<sub>2</sub>には、(1) 室温での表面を含む微視的な磁気構造が不明である、(2) 表面に強磁性の劣化した層が存在する、(3) 高い  $T_C$  の起因が明らかになっていない、という3つの課題があることについて言及し、これらの解明を本研究の目的として掲げている。

第2章は実験手法とその原理についての説明である。まず、高品質(Ti,Co)O<sub>2</sub>エピタキシャル薄膜の合成法としてパルスレーザー堆積(PLD)法について詳説している。続いて、薄膜結晶構造の解析手法である反射高速電子線回折、X線回折について記述している。さらに、電気磁気物性の評価手法として、4端子法を用いた抵抗測定、ホール効果測定、超伝導量子干渉磁束計、磁気力顕微鏡(MFM)について解説している。また、密度汎関数法を用いた理論計算(DFT)について述べている。

第3章では PLD 法を用いた TiO<sub>2</sub> バッファ層の作製とバッファ層の利点について述べられている。まず TiO<sub>2</sub> バッファ層の合成条件を最適化し、バッファ層有無のもとで結晶構造と輸送特性を比較している。バッファ層の使用により低温でのエピタキシャル成長が可能になり表面平坦性や結晶性が向上すること、その結果として伝導性が向上することを報告している。

第4章では(Ti,Co)O<sub>2</sub> 薄膜の室温での微視的磁気構造のキャリア密度および Co ドープ量依存性について議論している。様々な Co ドープ量と酸素欠損量を持つ高品質(Ti,Co)O<sub>2</sub> エピタキシャル薄膜を合成し、その表面形態、結晶構造、キャリア密度を観測している。また、得られた(Ti,Co)O<sub>2</sub> 薄膜の室温での磁気ドメインを真空下で MFM 観測し、そのドメインがメイズ型であること、ドメインサイズがキャリア密度および Co ドープ量増加に伴い増大することを明らかにしている。また、その微視的磁気特性が(Ti,Co)O<sub>2</sub> のバルク磁気特性と関連していることを指摘している。さらに、微視的磁気パラメーターのキャリア密度および Co ドープ量依存性についても議論している。

第5章では非磁性 TiO<sub>2</sub> キャップ層による(Ti,Co)O<sub>2</sub> 薄膜の磁気特性変化について述べている。(Ti,Co)O<sub>2</sub> 薄膜は一般に表面に強磁性の劣化した層が存在するという問題点があったが、TiO<sub>2</sub> キャップ層を用いることで劣化層がほぼ消失し、磁気特性が大幅に改善することを明らかにしている。さらに、TiO<sub>2</sub> キャップ層により垂直磁気異方性が増強すること、磁

化の経時劣化が軽減することを述べている。またキャップ層を用いることで、極薄膜でも磁気ドメインが観測できることを見出している。

第6章では(Ti,Co)O<sub>2</sub> 薄膜の  $T_C$  のキャリア密度およびCo ドープ量依存性について議論している。キャリア密度が低い場合にはキャリア密度上昇に伴い  $T_C$  が単調に増大するのに対し、キャリア密度が高くなると  $T_C$  が非単調変化を示すことを見出している。これらの結果から、(Ti,Co)O<sub>2</sub> 薄膜の高  $T_C$  がキャリア媒介機構と磁気ポーラロン機構の共存に由来する可能性を指摘している。また磁気ポーラロン中心となりうるサブ構造を DFT 計算により提案している。

第7章は結論と総括である。

以上のように、本論文は磁性半導体(Ti,Co)O<sub>2</sub> 薄膜の磁気特性を多角的に研究しており、今後の室温スピントロニクスに大きく貢献するものである。これらの研究は理学の展開に大きく寄与する成果であり、博士（理学）に値する。なお本論文は複数の研究者との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与は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。