

氏名（本籍）	Soumyaranjan Ratha（インド）
専攻分野の名称	博士（理工学）
学位記番号	理博 第 10 号
学位授与の日付	令和 6 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理工学研究科 総合理工学専攻
学位論文題目 （英文）	Study on development of BiFeO ₃ -based multiferroic thin films with excellent magnetic properties and investigation on their magnetic device applicability （磁気特性に優れた BiFeO ₃ 系強磁性・強誘電薄膜の探索・作製とその磁気デバイス適用性の検討に関する研究）
論文審査委員	（主査）教授 吉村 哲 （副査）教授 齋藤 嘉一 （副査）教授 林 滋生 （副査）教授 大口 健一

論文内容の要旨

Society 5.0 や IoT 社会の発展には、超大容量情報記録、立体映像表示、高感度センシングなどを実現できる次世代磁気デバイスの社会実装が必要不可欠である。そして、それらを低消費電力で稼働させることが、環境負荷の低減の観点からも必要不可欠である。しかしながら、現在提案されているいずれの次世代磁気デバイスにおいても、実装後に確実に要求される高集積化に伴い消費電力が極めて大きくなることが懸念される。このような問題を根本的に解決するためには、全く新しい低消費電力型の駆動方式を用い、その方式に適した機能を有する材料を用いることが効果的であると考えられる。

強磁性・強誘電材料は、電場もしくは磁場による磁化および電気分極の方向制御が可能とされていることから、磁気デバイスに本材料を適用することにより、電界印加磁化反転により低消費電力駆動が可能になる。本材料を上記の次世代磁気デバイスに用いるためには、大きな飽和磁化(M_s)、大きな垂直磁気異方性(K_u)、大きな磁気 Kerr 回転角(θ_k)、小さな反転磁界(保磁力)(H_c)などの高い機能性を有することが必須であるが、現行の強磁性・強誘電材料薄膜のそれらの値はまだまだ十分でないことが現状である。

本論文は、上記の磁気特性が優れている強磁性・強誘電材料薄膜を探索作製し、その薄膜のデバイスへの適用性を検討したものであり、6章から構成されている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、現在提案されている上記の次世代磁気デバイスの問題点、そしてそれをBiFeO₃系強磁性・強誘電材料薄膜を用いて解決する方法を説明し、その材料開発および薄膜作製方法に関する先行研究および研究グループの過去の結果を説明したうえで、本研究の目的と意義を述べている。

第2章では、BiFeO₃系強磁性・強誘電薄膜の作製装置の概要および作製方法や成膜条件、BiFeO₃系強磁性・強誘電薄膜の構造もしくは特性評価装置の概要および評価方法や評価条件、BiFeO₃系強磁性・強誘電薄膜の微細加工装置の概要および加工方法や加工条件、について述べている。

第3章では、(Bi,L)(Fe,Co)O₃ (L = La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er) 薄膜を作製し、それらのM_s, K_u, θ_kを評価している。その中で、Ndで置換した薄膜において140 emu/cm³程度が得られていること、また、Euで置換した薄膜において、1 kOeを大きく下回るH_cが得られていること、更に、Laで置換した薄膜において0.67°が得られていること、を示している。そして、(Bi,L)(Fe,Co)O₃薄膜における磁性の起源は、Fe³⁺に対して置換されたCoが磁気モーメントの小さいCo²⁺となって格子に入ることによってフェリ磁性化することであるが、そのCoの磁性に各ランタノイド元素が及ぼす効果が異なるものと考察している。

第4章では、磁気特性の観点から、情報記録、映像表示、センシング、の各磁気デバイスへの適性が認められる、(Bi,Nd)(Fe,Co)O₃, (Bi,La)(Fe,Co)O₃, (Bi,Eu)(Fe,Co)O₃の各薄膜において、粒径は100 nm以下、磁区サイズは200 nm以下、電界誘起による最小磁区幅は300 nm以下、キュリー温度は420°C以上、であったことから、これらの薄膜は高集積化に適用できる微細磁気特性を有していると結論付けている。

第5章では、(Bi,Eu)(Fe,Co)O₃薄膜において、CHF₃とO₂との混合ガスでのリアクティブイオンエッチング(RIE)では、酸素空孔の発生を抑制する、つまり磁気特性や電気特性の劣化を抑制することができることを示しており、また、Arイオンの加速電圧を小さくしたドライエッチングでは、磁気特性の顕著な劣化を引き起こすことなくRIEより速いエッチング速度を実現できることを示している。これらのことから、BiFeO₃系強磁性・強誘電薄膜において、微細素子加工条件を正しく選定すれば、高集積デバイス形成も可能であることを結論付けている。

第6章では、本研究によって得られた主要な知見と今後の展開について述べている。

論文審査結果の要旨

博士論文公開審査会において、申請者が本論文について約45分の口頭発表をした後、約30分の口頭試問を実施して最終試験とした。口頭試問の内容は、以下のように要約される。

(1) リアクティブイオンエッチングやドライエッチングにより変化した保磁力について、そ

もそも磁化曲線においてどのような変化が生じたのか、そしてその磁化曲線の測定方法の詳細について、説明が求められた。

(2) BiFeO₃系薄膜の配向制御を行うための、Ta と Pt のからなる 2 層構造の下地層について、Ta 層の役割に関する説明が求められた。また、BiFeO₃系薄膜の長周期構造に関する質問がなされた。

(3) 本研究で探索作製された薄膜が、他の材料に対してどのような強みがあり、各次世代磁気デバイスにどのように使用されるか、説明が求められた。

(4) 本研究で探索作製された薄膜が、高集積・低消費電力な各次世代磁気デバイスに適用可能な磁気特性を満足しているか、そして満足していないなら今後どのようにして満足させるか、についての質問がなされた。

(5) BiFeO₃系薄膜の磁区サイズ、磁壁幅、分域サイズと、それらの相関に関する質問がなされた。

以上の試問に対しての回答は、いずれも慎重かつ的確であったこのため、総合的に判断して、最終試験結果を合格とした。