

(様式 11)

平成 29 年 2 月 14 日

学 位 論 文 審 査 要 旨 (課程博士)

東京農工大学大学院工学府長 殿

審査委員	主査	清水	大雅
	副査	鮫島	俊之
	副査	高木	康博
	副査	白樫	淳一
	副査	田中	洋介



学位申請者	電子情報工学専攻 平成 26 年度入学 学籍番号 14834207
	氏 名 Abdul Wahid Danish
申請学位	博 士 (工学)
論文題目	Study on Preparation and Characterization of Bismuth Substituted Gadolinium Iron Garnet Thin Films by Metal Organic Decomposition Method 有機金属分解法によるビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネット薄膜の製膜と評価に関する研究
論文審査要旨 (2000 字程度)	
<p>平成 29 年 1 月 17 日(月)、上記論文の内容について申請者に発表(公開)を求め、同日、審査委員会を開催し、論文審査・最終試験を行った。</p> <p>申請者は、絶縁性フェリ磁性体であるビスマス置換ガドリニウム鉄ガーネット (Bi:GdIG) 薄膜を磁気光学デバイスへ応用するための製膜法と薄膜の垂直磁気異方性、ファラデー回転角について研究してきた。製膜法として有機金属分解法 (Metal Organic Decomposition; MOD 法) に着目した。MOD 法は酸化物薄膜の製膜法の一つである。酸化物の有機化合物を溶媒に溶かし、基板へのスピコートと熱処理によって薄膜を形成する手法である。Bi:GdIG 薄膜は垂直磁気異方性をもち、特に非晶質・安価のガラス基板上に製膜することで、磁気光学空間光変調器や導波路光アイソレータへ応用することができる。本研究では MOD 法により Bi:GdIG 薄膜を製膜し、X 線回折測定による結晶化の評価、磁化特性・ファラデー回転角の測定を行った。</p> <p>本論文は以下に示す六章より構成された。</p>	

第一章「Introduction」では、ファラデー効果の概要、磁気光学空間光変調器に関する研究、磁性ガーネット薄膜の形成に関する関連研究を説明し、本論文が磁性ガーネット薄膜の形成法、および、磁気光学デバイスへの応用に対して、第四から六章に記載した三つのアプローチから寄与するものであることを述べた。

第二章「Magnetism of Rare-earth iron garnet and mechanism of magnetic anisotropy」では、希土類磁性ガーネットの結晶構造、磁気特性、磁気異方性、および、磁気光学特性とそれらの起源について説明した。

第三章「Principle of Experiment and characterizations」では、磁性ガーネット薄膜を作製するための各種製膜方法を紹介した。本研究で着目した MOD 法について説明し、MOD 法を他の製膜法と比較した場合の利点と欠点について説明した。製膜した磁性ガーネット薄膜を評価するための X 線回折測定、ファラデー効果の測定法、分光反射率・透過率の測定法、磁化測定法について説明した。本研究では、分光反射率・透過率スペクトルの測定を薄膜の膜厚評価のために用いており、測定データと解析結果の比較による膜厚の評価法について詳しく説明している。

第四章「Preparation and Characterization of $\text{Bi}_1\text{Gd}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ thin films by MOD method on (111) GGG substrate」では、MOD 法により $\text{Bi}_1\text{Gd}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 薄膜を非磁性単結晶ガーネット(GGG)基板上に製膜し、製膜条件の違い(熱処理温度、および、熱処理雰囲気中の酸素の有無)がもたらす磁気異方性とファラデー回転角への影響を議論した。単結晶 $\text{Bi}:\text{GdIG}$ 薄膜の製膜に成功し、波長 510 nm で 13.7 deg./ $\square\text{m}$ のファラデー回転角を得た。熱処理雰囲気を酸素を含まない純窒素とした場合、低い温度で結晶化することがわかった。熱処理温度を高くするにしたがって結晶に加わる歪が小さくなるとともに垂直磁気異方性が強くなり、800°C で熱処理した場合に最も大きな垂直磁気異方性を示すことを見出した。

第五章「Preparation and characterization of $\text{Bi}_x\text{Gd}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ films with $x = 1$ to 2.5 by EMOD method on glass substrate」では、Enhanced Metal Organic Decomposition (EMOD)法によって Bi 置換量 x の異なる $\text{Bi}:\text{GdIG}$ 薄膜を製膜し、熱処理温度と Bi 置換量のファラデー回転角に対する影響を議論した。 $\text{Gd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ バッファ層の有無により、 $\text{Bi}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 薄膜のファラデー回転角が増減ことがわかった。波長 533 nm で 27.9 deg./ μm のファラデー回転角が得られることがわかり、バッファ層を挟まずに同じ Bi 置換量 x で製膜した $\text{Bi}:\text{GdIG}$ 薄膜と比較したところ 55 倍の増大であった。また、非磁性単結晶ガーネット(SGGG)基板上に製膜した $\text{Bi}_{2.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 薄膜と比較して 85% の大きさであることがわかった。しかしながら、EMOD 法により製膜した $\text{Bi}:\text{GdIG}$ 薄膜では Bi 置換量 x を増やすにしたがって、薄膜の表面が荒くなることがわかった。

第六章「Preparation of $\text{Bi}_2\text{Gd}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ magnetic garnet thin films using $\text{Gd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ garnet buffer layer on glass substrates by MOD method」では、第五章で明らかになった Bi:GdIG 薄膜時の $\text{Gd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ バッファ層の有効性を MOD 法に応用した。 $\text{Gd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ バッファ層の最適製膜条件を決めるために、膜厚と熱処理条件を変化させて $\text{Bi}_2\text{Gd}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 薄膜を製膜し、X 線回折測定やファラデー回転角を評価した。 $\text{Gd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ バッファ層の膜厚が 286 nm で熱処理温度が 750°C の時、波長 500 nm で $36.3 \text{ deg./}\mu\text{m}$ のファラデー回転角を得た。 $\text{Gd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ バッファ層なしで製膜した場合と比較して 23 倍のファラデー回転角が得られ、薄膜の表面は EMOD 法にて製膜された試料と比較して清浄であった。ファラデー回転角の大きさは SGGG 基板上に製膜した単結晶 $\text{Bi}_2\text{Gd}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 薄膜 ($40.3 \text{ deg./}\mu\text{m}$) の 90.1% の大きさであった。

第七章「Conclusion」では、各章のまとめを述べ、結論とした。

本研究により、MOD 法による Bi:GdIG 薄膜の製膜と垂直磁気異方性、結晶化過程、ファラデー回転角の改善についての道筋が実験的に示された。よって学位論文審査及び最終試験に合格と認める。