

学位被授与者氏名	安 鎮庸 (AHN JINYONG)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第2号
学位授与年月日	平成14年3月25日
論文題目	Study of magneto-optical properties in the four-element DMS CdMnCoTe films
論文題目 (英訳または和訳)	四元系希薄磁性半導体 CdMnCoTe 薄膜の磁気光特性に関する研究
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 今村正明 同審査委員 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 石塚 浩 同審査委員 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 師岡正美 同審査委員 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 内田一徳
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (英文)	<p>The pseudobinary semiconductor $Cd_{1-x}Mn_xTe$ with a fraction x of the group II elemental sites substituted by Mn^{2+} ions is known as a typical diluted magnetic semiconductor (DMS). The presence of Mn in the DMS lattice leads to a spin-spin exchange interaction between the localized magnetic moments due to 3d electrons of Mn^{2+} ions and the band electrons. For $Cd_{1-x}Mn_xTe$, a large exciton Zeeman splitting is observed, and this gives rise to a Faraday rotation at room temperature.</p> <p>The DMS $Cd_{1-x}Mn_xTe$ was studied for this reason. Except for the CdMnTe, there are some studies on other DMS materials. A DMS CdCoTe, which includes Co ions is one of such materials. However, the CdCoTe does not exhibit a Faraday rotation at room temperature, although it has the Faraday rotation at low temperatures.</p> <p>In this study, the four-element CdMnCoTe, which has two transition metal ions of Mn and Co is investigated for its magneto-optical properties. The four-element DMS CdMnCoTe films have been prepared on quartz glass substrates by using MBE equipment. The characteristics of DMS films are evaluated by analyzing the crystallographic property, the optical property and the magneto-optical property.</p> <p>The magneto-optical characteristics of the four-element DMS films are discussed comparing with those of the ternary DMS $Cd_{1-x}Mn_xTe$ on the basis of the data obtained on the Faraday rotation, the energy gap, the lattice constant and the magnetization at room and low temperatures. The origin of large enhancement in the Faraday rotation for the four-element DMS is discussed by referring to the sp-d exchange constant and the magnetic susceptibility.</p> <p>The paper is composed of six chapters. These chapters are shown as follows; The chapter 1 describes an introduction on the background and the purpose of the study. In the chapter 2, a survey is given on the theoretical background of DMS. It is described in terms of the crystallographic, the magnetic and the magneto-optical properties. The Faraday rotation due to a large sp-d exchange interaction is discussed from a viewpoint of magnetic and magneto-optical properties of DMS. In the chapter 3, the condition of experiment, the method of evaporation and the method of measurement are shown. The chapter 4 discusses the ternary and four-element DMS films that are prepared by using MBE, and the characteristics of DMS films evaluated by an X-ray diffraction, an energy dispersion spectrum analysis, an interferometer and a spectrophotometer. The chapter 5 shows on the application of the CdMnCoTe DMS films. In the chapter 6, the conclusion of this study is described.</p>
論文内容の要旨 (和文)	<p>希薄磁性半導体(Diluted Magnetic Semiconductor :DMS)は、閃亜鉛鉱型またはウルツ鉱型の結晶構造を持つIII-VあるいはII-VI族化合物半導体を母体として、その陽イオンの一部を遷移金属イオンで置換したものである。希薄磁性半導体である $Cd_{1-x}Mn_xTe$ は、Mn^{2+}イオンの3d電子とバンド電子とのsp-d交換相互作用による励起子準位の大きなゼーマン分裂のために、室温でファラデー効果を示す材料として知られている。しかしながら、Cr^{2+}、Fe^{2+}、Co^{2+}イオンなど Mn^{2+}以外の遷移金属を含む三元系のDMSは、室温でほとんど</p>

	<p>ドファラデー効果を示さず、Mn^{2+}イオを含む CdMnTe DMS においても、実用的観点からはそのファラデー効果が十分に大きいとは言えない。</p> <p>本研究では、ファラデー回転の性能を上げるべく分子線エピタキシー法により CdMnTe をベースとした四元系の CdMnCoTe 薄膜を石英ガラス基板上に作成し、三元系の CdMnTe DMS と比較しつつ、この四元系 DMS 薄膜の特性を結晶性、磁気特性、磁気光学特性について評価した。その中で、CdMnTe、CdCoTe 及び CdMnCoTe 薄膜の磁気光学特性の温度依存性を議論し、室温及び低温における CdTe、CdMnTe 及び CdMnCoTe 薄膜の光学的バンドギャップ、格子定数及び磁化率の検討から、CdMnCoTe 薄膜の大きなファラデー回転の原因が主に Mn^{2+} と Co^{2+} それぞれの局在スピン間相互作用にあると結論付けた。</p> <p>本論文は第 1 章から第 6 章までの 6 部構成となっている。以下に各章の概要を述べる。第 1 章は序論であり、本研究の背景と研究の目的及び概要について述べる。第 2 章では本研究の位置づけ、また背景を示すために、これまで知られてきた希薄磁性半導体の物性について述べる。特に、この物質の特徴である sp-d 交換相互作用に起因する磁気光学特性及びその磁気光学特性と磁氣的性質との関係について述べる。第 3 章では、試料作成及び実験方法について、薄膜の蒸着条件及び特性測定方法を詳しく述べる。第 4 章では、MBE 法により作成した三元系 DMS 及び四元系 DMS 薄膜の X 線回折、分光光度計及びエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDS) による、結晶性、透過率及び膜の組成の測定結果と考察を述べる。第 5 章では、CdMnCoTe 薄膜の実用性について述べる。第 6 章では、本研究の結論について述べる。</p>
論文審査結果	<p>これまでの希薄磁性半導体 (DMS) 薄膜では、特に遷移金属磁性元素 Mn を含む三元系 DMSCdMnTe において室温での磁気光効果が確認されているものの、実用的観点からはその磁気光効果は大きさが充分ではなく、特性の向上が望まれていた。本研究は、第 2 の遷移金属磁性元素として Co を加えることで、これまで CdMnTe の室温生起磁気光効果の原因として確認されているバンド電子と Mn イオン間の sp-d 相互作用に加えて、CdMnCoTe では Mn^{2+} イオンと Co^{2+} イオンの局在スピン間相互作用による室温生起磁気光効果が新たに発生し、その相乗効果によりファラデー回転特性が大幅に向上することを初めて示したものである。この実験的研究により、これまで実用性が乏しいとされた DMS 薄膜は、磁気光デバイスへの応用に道が開ける可能性が出てきた。本研究は、応用的観点から独創性を有する極めて意義の高い研究として価値を認めることが出来る。</p> <p>[学位論文公聴会]</p> <p>(1) 学位論文公聴会日時：平成 14 年 3 月 6 日 (水) 15 時～16 時発表、16 時～16 時 30 質疑応答</p> <p>(2) 学位論文公聴会出席者：25 名</p> <p>論文公聴会では、研究の背景と目的、薄膜作成法と特性測定法、磁気特性及び磁気光特性とそれらに対する考察結果及び結論について発表者により説明が行われた後、質疑応答を行った。次の工学的及び技術的諸点について質問及び意見があった。</p> <p>(1) MBE 装置のクヌーゼン・セル (K-cell) 及び電子銃 (E-gun) 蒸発源使用による薄膜の膜厚制御精度について</p> <p>(2) 超高真空蒸着 MBE 装置における不純物コンタミネーションの程度について</p> <p>(3) 膜内元素の活性化エネルギー等に関連する膜作成時の基板温度 (300°C) 設定理由について</p> <p>(4) 四元系薄膜の高性能化したファラデー回転と従来の三元系薄膜のファラデー回転を比較する際の 600nm～800nm 範囲波長 (可視～近赤外) の選択理由について</p> <p>(5) DMS 薄膜が応用可能な光 CT (Optical Current Transformer) や光アイソレータ (Optical Isolator) 等応用デバイスについて</p> <p>(6) 錯体の配位子場における磁場印加時の縮退準位の分裂と DMS の Cd 位置に置換された Mn^{2+} イオンによる光吸収との関連について</p> <p>(7) 高融点金属元素 Co の蒸発源として電子銃 (E-gun) を使う必要のある四元系薄</p>

膜 CdMnCoTe の場合で、エピタキシャル成長が難しい理由について

- (8) DMS 薄膜の反射、吸収及び透過特性の波長依存性と各波長におけるそれらの比率について
- (9) 常磁性であり結晶磁気異方性や成長誘導磁気異方性を示さない DMS-CdMnCoTe 薄膜の、垂直光入射の空間光型磁気光デバイス応用での磁気光効果と、磁気異方性等が重要な因子となる導波路型薄膜磁気光デバイス応用の面内入射での磁気光効果との、相互の関係・比較について
- (10) 執筆論文の英文推敲を求める意見

これらの質問・意見について、一部学位審査主査からのコメントがあったが、発表者により一通り回答がなされた。

学位審査委員会は、語学力に関して、論文提出者が学位論文を英語で執筆しており、その英語能力は一定の水準にあると判断した。また、学位審査委員会は、公聴会後の最終試験において、論文提出者が学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていると判断した。

[総合判定]

学位審査委員会は、論文審査結果、学位論文公聴会結果及び最終試験結果を総合評価して、本論文が博士(工学)の学位に適格であると判定した。

なお、学位審査委員会は、本論文提出者がこの(課程博士)学位論文審査を一つの節目とし、ここまでの研究努力と成果を基に、自律した研究者として活発な研究活動を今後継続的に実施できるよう、益々研鑽を積むことを期待するものである。