

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：81406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560429

研究課題名(和文) 多次元フォトニック結晶構造を有する反強磁性結合体の超高速空間光変調素子への応用

研究課題名(英文) Magneto-optical photonic crystals consisted of antiferromagnetically coupled films for next generation spatial light modulators

研究代表者

山根 治起 (YAMANE, HARUKI)

秋田県産業技術センター・その他部局等・研究員

研究者番号：80370237

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、高性能空間光変調素子の実現に必要な基盤技術の確立を目的として、短波長磁気光学材料、および、多次元の磁性フォトニック結晶に関する検討を実施した。遷移-貴金属系磁性薄膜の研究では、[CoPt/ZnO/Ag]積層膜が、大きな磁気光学特性と良好な垂直磁気特性の両立が可能であることを見出した。さらに、反強磁性結合を有する垂直磁化膜への2次元周期のナノ構造の付与と、光干渉用の誘電体層とを組み合わせることで、3次元的な磁性フォトニック結晶を作製した。本積層ナノ構造体における磁気光学性能の向上が、磁気光学効果の非相反性と、光干渉層部でのキャビティ効果によって説明可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Magneto-optical (MO) properties of stacked structures consisting of CoPt thin film and noble metal underlayers were investigated. An ideal square out-of-plane hysteresis loop with a large Kerr rotation was obtained in the [CoPt/ZnO/Ag] stacked films. Moreover, the influence of two-dimensional array structures on MO properties was investigated in perpendicular antiferromagnetically coupled CoPt stacked-films with ZnO optical interference layers. For the sample with a 50-nm ZnO layer, the anti-dot lattice with 200-nm diameter hole exhibited an increase in the residual Kerr rotation angle due to antiparallel magnetization alignment of the CoPt layers. On the other hand, the MO figure of merit for the anti-dot lattice was enhanced by inserting a 100-nm ZnO interference layer. This MO improvement is attributed to the effects of MO optical retardation and optical interference inside the stacked-films.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：(分科)電気電子工学、(細目)電子デバイス・電子機器

キーワード：光デバイス・光回路 空間光変調素子 磁気光学効果 フォトニック結晶 反強磁性結合 垂直磁化膜
キャビティ効果

1. 研究開始当初の背景

次世代の大容量光ディスクとして期待されているホログラム光情報記録システム、あるいは、光の並列性・高速性を活かすことで情報の飛躍的な演算処理能力の向上が期待できる光情報処理システムの実現においては、その基幹部品である空間光変調素子の高性能化が不可欠である。空間光変調素子は、光の強度、位相あるいは偏光等を変化させる光制御素子を二次元的に複数個配置したものであり、液晶素子あるいはデジタルマイクロミラーデバイスを用いたものが既に実用化されている。しかしながら、これらの素子の動作速度はマイクロ秒程度であるなど、応答速度の高速化、素子の微細化、安定性向上など更なる性能向上が求められており、現在も研究が進められている。

例えば、高速駆動に関しては、光通信で使用されている光アイソレータ(磁性ガーネット)をマトリックス状に複数個配置した磁気光学式・空間光変調素子(井上光輝, 日本磁気学会誌 3, p.142, 2008)が提案されている。この場合、10 ナノ秒程度の高速動作が確認されているものの、磁性ガーネットは1 μm 以下の可視光領域に強い吸収帯を持つため、ブルーレイディスクで想定される405 nmの短波長光を用いる大容量光ディスクへの応用は不可能であり、現時点においても、実用化には至っていない。一方、可視光領域での利用を目的とした、新たな磁気光学式・空間光変調素子(青島賢一 他, NHK 技研 R&D, No.110, p.10, 2008)が提案され、スピン注入方式による素子駆動も確認されているが、その偏光角は0.1 度程度と実用化には、大幅な性能向上が必要であった。

これに対して、申請者は、短波長光アイソレータ材料に係る研究により、可視光領域での透明性と強磁性とを両立する希薄磁性透明酸化物の開発に成功していた(科学技術振興機構、平成 21 年度・地域イノベーション創出総合支援事業)。また、短波長領域で大きな磁気光学特性を有する Fe-Pt 規則合金など、遷移金属-貴金属材料に関して高密度磁気記録の実現を目的に研究を実施していた。その際、これら材料を用いた周期積層ナノ構造体(一次元・磁性フォトニック結晶)においては、光の局在化によって可視光領域においても磁気光学性能を約7 倍に向上させることに成功し、科学技術振興機構の平成 22 年度・研究成果最適展開支援事業の支援を受け研究を進めていた。

このような学術的および技術的な研究背景を鑑み、本研究では、可視光領域において実用的な磁気光学性能の実現を目的として、反強磁性結合を有する遷移-貴金属薄膜に二次元の微細加工を施すことで、三次元的な周期ナノ構造を有する、多次元の磁性フォトニック結晶に関する研究課題を提案したものである。磁性ガーネットを用いた一次元の磁性フォトニック結晶、および、磁性ナノドッ

トでの表面プラズモン効果を利用した二次元の磁性フォトニック結晶に関しては、磁気光学効果の増大が既に報告されていたが(高山知子 他, 日本応用磁気学会誌 24, p.391, 2000、S.Kahl 他, Appl. Phys. Lett. 84, p.1438, 2004、あるいは、G.X.Du 他, Appl. Phys. Lett., p.081915, 2010)、三次元の磁性フォトニック結晶に関しては、理論計算に留まった状況にあり(Khanikaev 他, Phys. Rev. B 72, p.035123, 2005、あるいは、Z. Wang 他, Appl. Phys. B 81, p.369, 2005)、実験的な検証は行われておらず学術的な観点からも重要な研究課題と言える内容であった。

ここで、高品質な三次元のフォトニック結晶の実現には構造制御が重要であるが、申請者は、高密度磁気記録システムの開発を目的として、イオン照射を使うことで凹凸の無い磁性ナノ構造体の作製に成功していた(第 33 回日本磁気学会学術講演会, 12pC-3, 2009)。さらに、多値記録材料の開発を目的とした反強磁性結合体に関する研究においては、磁気光学効果の新たな増幅現象を見出していた。この材料は、低磁場での磁化の減少にも拘らず磁気光学効果の増大という特異な物理現象を示していた。これは、反強磁性結合体を構成する各磁性層の極性が光の照射面で全て同一であるためであり、ここにフォトニック結晶に関する概念を導入することで更なる特性向上が可能と考えられる。反強磁性結合体の光変調素子への応用については、素子駆動の簡素化による動作速度の向上に関する特許も出願しており、本研究課題は、高い独創性と新規性を有する内容と言える。

2. 研究の目的

本研究では、反強磁性結合を有する垂直磁化積層膜に対して、ナノレベルでの周期的な一次元の積層構造および二次元の微細加工を施すことで、多次元の磁性フォトニック結晶の実現を目的としている。これにより、可視光領域の短波長光に対して実用的な光変調性能と、既存の製品に比較して1000 倍以上の超高速動作とを併せ持つ革新的な空間光変調素子の実現に繋がる基盤技術を確立するものである。

本研究課題は、多次元の磁性フォトニック結晶と反強磁性結合体との組み合わせによる磁気光学性能の向上を目的とした、これまでに無い新たな取組みであると共に、その成果は、次世代の大容量光情報記録や光情報処理システム等の飛躍的な性能向上に繋がるものである。

3. 研究の方法

上述のように、本研究課題では、400nm 程度の短波長光に対して実用的な光変調性能(磁気光学効果)と、既存の製品に比べて1000 倍以上の超高速動作とを合わせ持つ革新的な空間光変調素子の開発を目標としており、以下の3 項目を具体的な研究課題として設

定して研究を実施した。

- (1)短波長磁気光学材料の研究
遷移金属-貴金属材料を中心とした材料開発
- (2)磁性フォトニック結晶の研究
薄膜作製および微細加工技術を用いたナノ構造制御
- (3)空間光変調素子の高速動作実現
設計・評価システムの確立、反強磁性結合体の利用

本研究の遂行に当たっては、申請者がこれまでに磁気記録および磁気光学に関する研究を通して確立してきた磁性薄膜材料開発、微細加工技術、および、磁性評価技術などの既存技術を発展・融合することで、磁性フォトニック結晶に係る基盤技術を確立する。

(1) 短波長磁気光学材料の研究

磁気光学効果を用いた光変調素子では、入射光(直線偏光)の偏光角を照射する磁性体の磁化方向によって変化させることで、その後偏光板を透過する光の強度を制御する。したがって、高性能の光変調素子の開発には、使用する波長の光に対して大きな磁気光学効果を有する材料の開発が不可欠である。例えば、大容量光情報記録装置での使用を想定した場合、ブルーレイディスクで使用されている400 nm程度の短波長光に対して大きな磁気光学効果を有する材料が必要となる。申請者は、これまで高密度垂直磁気記録媒体の開発を目的として、遷移-貴金属合金および多層膜に関する研究開発を実施しており、これらの材料が可視光領域において0.2度以上の比較的大きな磁気光学効果を有することから、短波長磁気光学材料として有望であると考えている。さらに、申請者は、短波長光アイソレータの開発を目的として希薄磁性透明導電膜に関する研究を実施し、可視光領域での透明性と強磁性との両立に成功しており、科学技術振興機構の平成21年度・地域イノベーション創出総合支援事業にも採択されている。本研究では、これらの材料をベースに ± 1 度以上の偏光角を有する新たな短波長磁気光学材料を開発する。

(2) 磁性フォトニック結晶の研究

光変調素子としての実用化を想定した場合、磁気光学効果による偏光角として ± 10 度以上が必要であるが、このような大きな磁気光学効果を単一の材料特性のみで達成することは不可能である。そこで、フォトニック結晶に関する研究により磁気光学効果の増大を図る。申請者は、既に周期積層ナノ構造を有する一次元の磁性フォトニック結晶を作製し、磁気光学性能の向上が可能であることを見出し、科学技術振興機構の平成22年度・研究成果最適展開支援事業にも採択されている。そこで、引き続き、周期積層ナノ構造の最適化を図ると共に、微細加工技術を用いたナノホール構造による二次元の磁性フォトニック結晶に関する研究に取り組む。これまでに、申請者は、電子線描画装置

等の微細加工装置を用いた高密度磁気記録媒体の研究を通して、数10 nmレベルの磁性ナノ構造体の作製技術を有しており、磁性フォトニック結晶に関する基盤技術を構築することは十分に可能である。

その後、短波長磁気光学材料および2次元のフォトニック結晶に関する基盤技術を、三次元の周期ナノ構造を有する多次元の磁性フォトニック結晶の研究へと展開させる。多次元・磁性フォトニック結晶に関しては、現時点では、理論計算に留まっており実験的な検証は行われておらず、学術的な観点からも重要な研究課題である。具体的には、薄膜作製技術を用いた周期積層ナノ構造と微細加工技術を用いたナノホール構造とを組み合わせることで三次元構造を有する磁性ナノ構造体を作製する。三次元のフォトニック結晶の作製には構造制御が重要であるが、申請者は、イオン照射を使うことで凹凸の無い磁性ナノ構造体の作製や、反強磁性マトリクス中に強磁性ナノ構造体を埋め込むことで平滑な表面を持つ新たな磁性ナノドットに関する研究も実施しており、これら基盤技術を活用することで、高品質な三次元の磁性フォトニック結晶を実現する。

(3) 空間光変調素子の高速動作実現

さらに、フォトニック結晶に関する技術、反強磁性結合を有する積層構造体に適用することで、磁気光学効果の大幅な増幅を目指す。反強磁性結合体を使った磁気光学特性の増大に関しては、理論的な検討も含めてこれまでに研究例は無く、非常に独創性の高い研究内容である。反強磁性結合体は、素子制御の簡素化に対しても有効であると考えられ、10 ナノ秒以下で動作可能な光変調素子をさらに高速で駆動可能であることを提案し特許出願を行っている。

複雑な構造を有する多次元のフォトニック結晶の研究に対しては、表面プラズモン効果に関する理論計算ソフトウェアを導入して効率的な研究を行う。また、申請者の所属研究機関では、微小領域の磁気光学特性を測定する装置を独自に開発しており、本装置を活用することで、微小な光変調素子の高速動作の評価システムを構築する。

以上により、最終目標である可視光領域の短波長光に対して実用的な光変調性能と10 ナノ秒以下の超高速応答性とを合わせ持つ革新的な空間光変調素子を提案する。

4. 研究成果

(1) 高性能磁気光学垂直磁化膜の開発

本研究課題の最終的な目標である空間光変調素子を実現するためには、大きな磁気光学性能と、角型比が1の良好な垂直磁気特性を有する材料「高性能磁気光学垂直磁化膜」の開発が不可欠である。そこで、高密度垂直磁気記録媒体として知られているCoPt垂直磁化膜に対して、下地層による特性改善に関する検討を試みた。Ag, AuおよびRu下地層

に直接、CoPt 膜を成膜した場合、Ag 下地膜では、3.85 eV の紫外光に対して偏光角が ± 1 度以上の非常に大きな磁気光学効果を得ることができた。しかしながら、本積層膜では、角型比が 0.7 程度と良好な垂直磁気特性を得ることができておらず、このままでは、高性能光変調素子への応用は困難である。そこで、CoPt/Ag 積層膜への界面制御層の挿入効果について検討を行ったところ、2 nm 程度の ZnO 薄膜を挿入することで、大きな磁気光学特性と角型比が 1 の良好な垂直磁気特性との両立が可能であることを見出した(図 1, 論文を参照)。X 線回折法による膜構造解析の結果、CoPt 薄膜の結晶構造に対する ZnO 界面層の挿入効果は小さく、垂直磁気特性の改善は、積層界面での CoPt 膜の電子状態の変化に起因するものと考えられる。さらに、積層膜作製後の真空中熱処理に関する検討においては、膜厚が 1 nm の極薄 CoPt 膜においても垂直磁気特性が改善するなど、積層界面の状態が重要であることを示唆する結果が得られた。ここで、積層膜の磁気光学効果は、磁性層の誘電率・非対角成分 ϵ_{xy} と非磁性下地層の誘電率・対角成分 ϵ_{xx}^s を用いて、以下の式で与えられる。したがって、磁気光学効果の増大は、下地層の誘電率の変化によると考えられる。

$$\theta_k + i\eta_k = i \frac{4\pi d}{\lambda} \frac{\epsilon_{xy}}{1 - \epsilon_{xx}^s}$$

また、ZnO 界面層の厚さを 10 nm 程度にまで厚くすると、ZnO のバンドギャップに相当する 3.3 eV 近傍に新たな磁気光学効果のピークが出現することも分かった。

本研究課題で見出した [CoPt/ZnO/Ag] 積層膜に対しては、可視光領域での磁気光学性能の向上を目的とした、ナノ構造化に関する新たな取り組みを進めており、平成 26 年度の科研費事業に応募した(交付内定)。さらなる特性改善に向けた研究に引き続き取り組んでいく予定である。

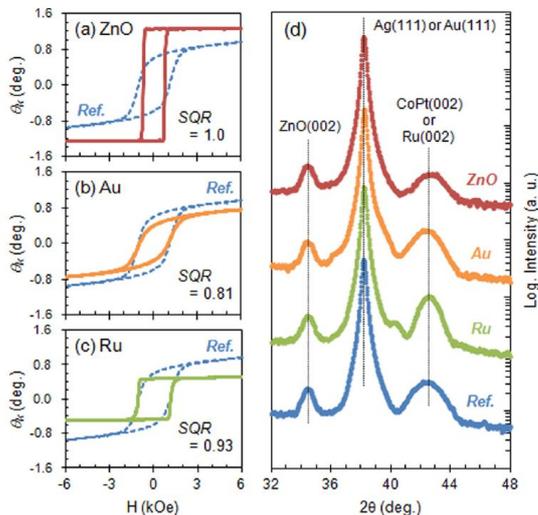


図 1 CoPt/Ag 積層膜の垂直磁気光学特性に与える界面制御層の影響。ZnO(2 nm)を挿入することで、 ± 1 度以上の大きな磁気光学性能と角型比が 1 の良好な垂直磁気特性の両立ができています。

(2) 反強磁性結合を有する積層構造体の磁気光学特性

本研究課題では、反強磁性結合を有する積層構造体の磁気光学デバイスへの応用を目指している。最初に、反強磁性結合を有する CoPt 垂直磁化積層体の磁気光学特性について検討を行った。膜構造は、[CoPt(10)/Ru(x)/CoPt(5)/Ru(2)/ZnO(100)/CoPt(5)/Ru(100)/熱酸化 Si 基板] (unit:nm)であり、膜内部に、光干渉用の誘電体層として ZnO 薄膜を形成している。ここで、Ru 層の厚さ x を変えることで、膜表面の上下の CoPt 層間に働く磁気的な交換相互作用を制御することが可能であり、 $x = 0.58$ nm において、比較的大きな反強磁性結合が得られた。この時、図 2 に示すように、各 CoPt 層の磁化反転に起因する明瞭な 5 段階のステップ状の垂直磁化曲線が観測され、多値の情報記録材料としての応用の可能性を見出すことができた。

上記の積層構造体において、反強磁性結合 ($x = 0.58$ nm) および強磁性結合 ($x = 0.35$ nm) を示す 2 種類の積層膜の磁気光学特性に対する測定光の波長依存性を測定した。その結果、図 3 に示すように、磁気結合の違いによって、磁気光学特性の波長依存性が大きく異なる結果が得られた。特に、反強磁性結合を有する試料では、上部の CoPt 層間の磁化が反平行状態となることで、磁化が減少するにもかかわらず、磁気光学特性の増大が観測できる波長があることが分かった(論文を参照)。

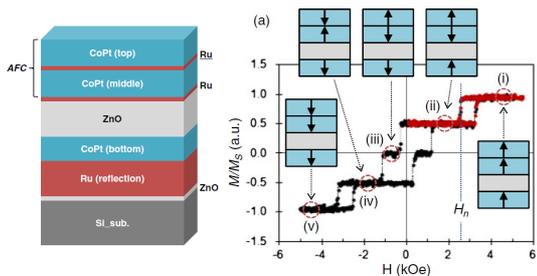


図 2 反強磁性結合を有する CoPt 積層構造体の膜構造図と垂直磁気特性。各 CoPt 層の磁化反転に起因するステップ状の磁化曲線が観察できる。

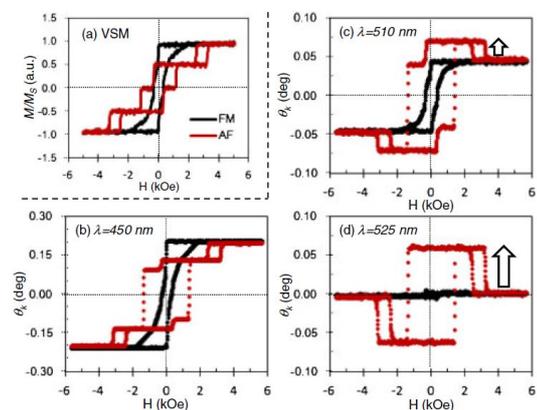


図 3 反強磁性結合 (AF) を有する CoPt 積層構造体の磁気光学特性。強磁性結合 (FM) の場合と比較して示している。

これは膜内部に侵入した光が ZnO 干渉層部で多重反射する磁気光学的なキャビティ効果によるものと考えられる。

有限差分時間領域(FDTD)法による光電磁場解析の結果、2次元周期のホールアレイ構造と光干渉層との組み合わせにより、積層構造体内部での光学的なキャビティ効果を増大させることが可能であることも分かった。

(3) 2次元周期ナノ構造を有する反強磁性結合積層構造体の作製と磁気特性

本研究課題では、数原子程度の極薄 Ru 層を介した層間交換結合を含めて、積層構造に対して磁気特性の劣化を引き起こすことなく、ナノメートル単位で磁性薄膜を高精度に加工可能な微細加工技術を確立する必要がある。電子線リソグラフィと、比較的低速での Ar イオンミリングによるエッチングを用いることで、積層構造体の磁気特性を大きく劣化させることなく 100 nm 以下の磁性ナノ構造体の作製技術を確立した。

本手法を用いて反強磁性結合を有する垂直磁化積層膜に対して、2次元周期の微細構造が、磁気特性に与える影響について調査を行った(論文を参照)。積層膜の構造は、[CoPt(10 nm)/Ru(0.46 nm)/CoPt(5 nm)]であり、微細加工前において、CoPt(5 nm)下層膜に対して、反強磁性結合に伴う約 240 kA/m の明瞭なシフト磁界が観測された。この積層

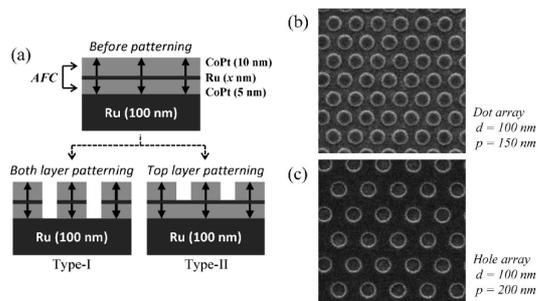


図4 反強磁性結合 CoPt 積層膜への2次元周期構造(ドット&ホールアレイ)の作製。上下 CoPt 層あるいは上部 CoPt 層のみに微細加工を実施。

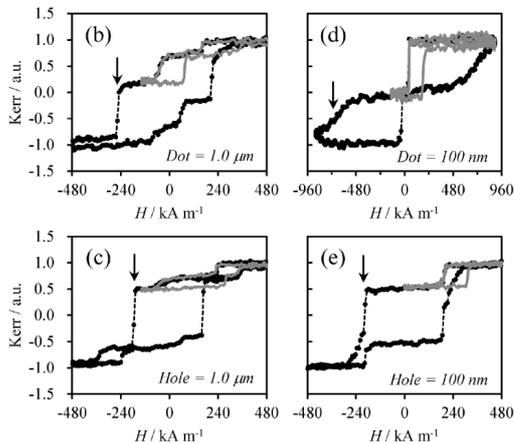


図5 2次元周期構造(ドット&ホールアレイ)を有する反強磁性結合 CoPt 積層膜の磁化曲線。上部 CoPt 層のみに微細加工を実施。

膜を構成する上下 CoPt 層、および、上部 CoPt 層のみに対して、六法格子状のドットおよびホールアレイ加工を行った(図4)。ドットおよびホールの直径は、それぞれ、100 nm~15 μm および 100 nm~1.0 μm の範囲で変え、また、直径(d)と周期(p)の比率は、それぞれ、(d : p) = (1.0 : 1.5)および(1.0 : 2.0)とした。上下 CoPt 層ともに微細加工を行った場合、ドットアレイでは、加工サイズの減少に伴って保磁力は大幅に増大し、磁化曲線に大きな変化が見られた。一方、ホールアレイ加工では、微細加工が磁気特性に与える影響は小さく、100 nm 程度の微細加工後にも、数原子程度の極薄 Ru 層を介した反強磁性結合が加工前と同レベルで維持できることが分かった。これに対して、CoPt(10 nm)上層膜のみへの微細加工では、図5に示すように、ドットおよびホールアレイともに、加工サイズに対して、特徴的な磁化反転過程が観察された。直径が 200 nm 以上では、上層膜の有無によって、下層膜の部分的な磁化反転に伴う多段状の磁化反転過程を取ることを示唆する磁化曲線が観測された。これは、上部に上層膜が残っている箇所 CoPt 下層膜が、反強磁性結合によって最初に磁化反転し、その後、上層膜が上部に無い残りの部分が磁化反転すると考えることで説明可能である。一方、直径が 100 nm においては、下層膜全体が一斉に磁化反転する様子が観測され、この時、ホールアレイでは、上層膜の量がエッチングによって少なくなっているにもかかわらず、微細加工前の連続膜と同程度の下層膜のシフト磁界が確認された。

さらに、磁性金属膜を使った高品質なフォトニック結晶の作製を目的として、2次元周期ナノ加工に関して、新たな作製手法についての検討も実施した。電子線リソグラフィを

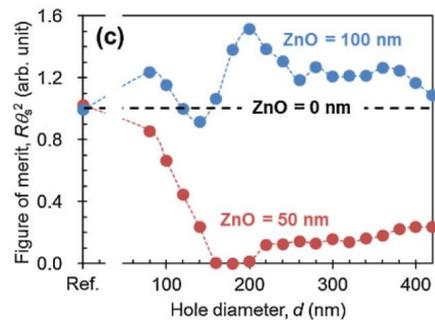
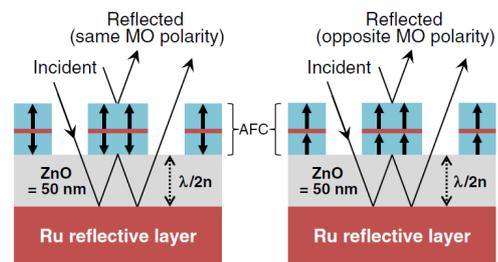


図6 2次元周期構造を有する反強磁性結合 CoPt 積層膜と光干渉層により構成された磁性フォトニック結晶の磁気光学特性。

用いたリフトオフ法において、電子線感度が異なる2層レジスト膜を用いることで、加工端部でのバリのない高品質な金属ホールパターンの作製技術を確立することができた。今回の研究課題では、実際に使用することは無かったが、今後、新たな磁性フォトニック結晶の作製の際に、有用な技術と考えている。(4) 2次元周期ナノ構造を有する反強磁性結合積層構造体の磁気光学特性

上述のように、周期的なナノホール構造では、微細加工による磁気特性の変化も少なく、磁性フォトニック結晶への応用に有用であることが分かったので、実際に3次元の磁性フォトニック結晶の作製を試みた。図6に示すように、反強磁性結合を有する垂直磁化膜と、光干渉用の誘電体層から構成された積層構造体に対して、2次元周期のホールアレイ加工を行った。測定光の1/2波長の光学膜厚に相当する光干渉層を有する積層構造体では、ホールアレイ加工によって磁気光学性能の向上を見出すことができた(論文を参照)。本現象は、磁気光学効果の非相反性と、積層構造体内部でのキャピティ効果によって説明することが可能であり、現在、磁化配列状態との関係などについて引き続き詳細な検討を行っている。

なお、本研究課題では、空間光変調素子の作製までには至らなかったが、光変調素子として必要な磁気光学性能を実現することができたので、駆動方式あるいは素子構造などデバイス開発に係る検討を、引き続き実施していく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

H. Yamane and M. Kobayash, Magneto-optical properties for antiferromagnetically coupled CoPt stacked films with hexagonal anti-dot lattices, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.53, pp.05FB04-1-6 (2014). (査読有)

山根治起, 小林政信, 二次元周期構造を有する Co-Pt 反強磁性結合積層体の磁気特性, 日本金属学会誌, 第77巻, 第10号, pp.419-423 (2013). (査読有)

H. Yamane, Concurrent improvement of magneto-optical and perpendicular magnetic properties in CoPt/Ag stacked structures with ZnO intermediate thin layers, Applied Physics Letters, Vol.102, No.7, pp.072412-1-4 (2013). (査読有)

H. Yamane, Magneto-optical enhancement in cavity structure consisted of perpendicular antiferromagnetically coupled CoPt layers, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.51, No.9, pp.095802-1-4 (2012). (査読有)

[学会発表](計6件)

H. Yamane and M. Kobayashi, Magneto-optical Properties for Antiferromagnetically Coupled CoPt Stacked-Films with Hexagonal Anti-dot Lattices, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, 2013年9月19日, 同志社大学
H. Yamane, T. Hasegawa, and S. Ishio, Magnetic Properties of Antiferromagnetically Coupled CoPt Stacked Films with Hexagonal 2D Array Structures”, Yamada Conference LXVII - The 8th International Symposium on Metallic Multilayers, 2013年5月20日, 京都リサーチパーク

山根治起, 長谷川崇, 石尾俊二, 2次元周期構造を有する CoPt 反強磁性結合積層体の磁気特性, 2013年春期 日本金属学会講演大会, 2013年3月27日, 東京理科大学

山根治起, 長谷川崇, 石尾俊二, 2次元周期構造を有する CoPt 反強磁性結合積層体の磁気特性, 東北大学電気通信研究所, 平成24年度スピニクス特別研究会, 2012年11月27日, 秋田大学

山根治起, 福士雄祐, 長谷川崇, 石尾俊二, ホールアレイ構造を有する CoPt 反強磁性結合体の磁気光学特性, 2012年秋季 応用物理学会学術講演会, 2012年9月12日, 松山大学

山根治起, 高橋信吾, 長谷川崇, 石尾俊二, 反強磁性結合を有する CoPt 積層構造体の磁気光学特性, 2012年春季 応用物理学関係連合講演会, 2012年3月16日, 早稲田大学

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

山根 治起 (YAMANE HARUKI)

秋田県産業技術センター・上席研究員

研究者番号: 80370237

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし