

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：81406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05375

研究課題名(和文) 反強磁性結合プラズモン共振器による疑似メタマテリアル創製と超高感度キラル分子計測

研究課題名(英文) Magneto-optical metamaterials consisting of antiferromagnetically coupled plasmon resonators for ultra-sensitive chiral molecular measurement systems

研究代表者

山根 治起 (Yamane, Haruki)

秋田県産業技術センター・電子光応用開発部・上席研究員

研究者番号：80370237

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：磁気スピン制御とプラズモン共鳴との融合を図ることで、磁気光学に係る新たな物理現象の発現、ならびに、超高感度バイオ化学センサの実現に向けて研究開発を行った。反強磁性結合を有する[CoPt/Ru/CoPt]積層膜では、波長に比べて十分に短い距離でのスピンの打ち消し合いにより、光学的に疑似的な磁性/非磁性状態の制御を可能とする「磁気メタサーフェス」として機能することを示した。さらに、磁気光学式プラズモンセンサの実用化を見据えた材料開発にも取り組み、水素ガスあるいはグルコース計測での有用性を示すこともできた。今後、光スピン融合型メモリや光波制御素子など新たな光機能デバイスへと発展させる計画である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

磁気スピン制御とプラズモン共鳴とを融合させた「磁気メタサーフェス」に係る研究成果は、多彩な光波(振幅/偏光/位相)制御を可能とする革新的光機能デバイスの実現に向けた新たな研究テーマの発案につながっている。また、実用化を見据えた磁気光学材料に関する研究内容は、国際学会誌にてEditor's Picksに選出されるとともに、磁気光学プラズモンを利用したグルコースセンサについては、国内学会にてポスター講演賞を受賞した。さらに、水素ガスセンサについては、ガス体エネルギー分野での社会実装に向けて企業との共同研究を進めており、水素社会実現への貢献も期待できる。学術的/社会的に意義のある成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：The fusions of magnetic-spin and near field optical (plasmonic) functionalities produce new physical phenomena related to magneto-optics, as well as innovative photonic devices such as ultra-sensitive bio-chemical sensors. In this research, the [CoPt/Ru/CoPt] multilayers with antiferromagnetic coupling (RKKY interaction) allowed the spin cancellation at a significantly short distance compared to wavelength, and so they acted as a 'magnetic metasurface' by controlling optically pseudo magnetic/non-magnetic states. The magneto-optical enhancements by surface plasmons were also effective to improve the performances of hydrogen and glucose sensors. These results might provide new optical functional devices such as spin-photonic memories and light wave control devices.

研究分野：光工学・光量子科学

キーワード：磁気光学 プラズモン メタマテリアル バイオ化学センサ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

微細加工技術の進展は、自然界に存在しない人工的な光学物質(メタマテリアル)の創造を可能とし、光学分野における一つの研究領域を構築している。さらに近年、物質科学におけるトポロジ概念を取り入れた『トポロジカルフォトンクス』へと発展しており、誘電率と透磁率の制御というこれまでの目的を越えて、空間および時間的な反転対称性の自在なコントロールという新たな学術的概念の構築につながっている。このような学術的背景のもと、研究代表者は、磁性フォノン結晶や磁性プラズモニクスなど、磁気ナノ構造体に関する研究を進めてきた。局在プラズモン共鳴に起因する特異な物理現象「磁気光学位相反転(J. Appl. Phys. **124**, 083901, 2018, **Featured articles**)」や、磁気光学共鳴を利用した新たなバイオ化学センサ(電気学会論文誌 E **139**, 317, 2019)などを報告してきた。本研究課題では、光学的キラリティとスピン制御との融合を図ることで、空間および時間反転対称性に係る新たな物理現象の発現ならびに革新的光デバイスの実現を目標としたものである。

本課題に関連する研究内容は、社会/経済に変革をもたらす革新的技術として、国内外で高い注目を集めている。世界経済フォーラムが、Top 10 Emerging Technologies of 2018 として「プラズモニック材料」を選定したのをはじめ、科学技術振興機構は、戦略的創造研究推進事業として「トポロジカル材料科学の構築による革新的材料・デバイスの創出(2018年度)」および「最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成(2019年度)」を戦略目標に設定している。また、光学分野では欧米での研究が特に盛んであり、トポロジカルフォトンクス(Nat. Photonics **8**, 821, 2014)や、Superchiral Light(Science **332**, 333, 2011)といった提案は、新たな研究領域の創発に繋がっている。国内においても、五神らによる人工キラル結晶(Phys. Rev. Lett. **95**, 227401, 2005)のほか、十倉らによる螺旋磁性体(Nat. Commun. **5**, 4583, 2014)や、富田らによる磁気メタマテリアル(Phys. Rev. Lett. **113**, 235501, 2014)など、先駆的な研究成果が報告されている。ただし、これらの物理現象を、実際に光学デバイスとして利用できる状況までには至っていない。本研究課題では、研究成果の実用化による社会的貢献についても重要視しており、早期の実用化を見据えたデバイス開発にも取り組む計画である。

2. 研究の目的

本研究課題では、磁性ナノ構造体における研究代表者のこれまでの研究成果を、総合的に活用/発展することで、磁気光学に係る新たな物理現象の発現、ならびに、超高感度バイオ化学センサなど革新的光デバイスの実現を目的とした。光学的キラリティとスピン制御との融合を図ることで、空間および時間反転対称性に係る新たな物理現象の発現/解明、ならびに、実用的な光機能デバイスを提案し、学術/産業両面での社会的な貢献を目指したものである。

具体的には、(1)磁性/非磁性状態のアレンジ機能を有する「磁気プラズモン共振器」の構築、(2)スピンとキラリティの融合による高度/多彩な光波制御を可能とする「磁気メタマテリアル」の創製、(3)磁気光学共鳴法を利用した超高感度のキラル分子計測など「高性能バイオ化学センサ」の開発の3項目を検討課題として当初設定した。ただし、他研究機関での微細加工実験を必要とする「磁気プラズモン共振器」に関しては、新型コロナウイルス感染症の影響により、十分な取り組みができなかった。そこで本研究期間では、実用化を想定した高性能磁気光学薄膜の開発、表面プラズモン共鳴が光磁気物性に与える影響の解明、伝導電子を介した反強磁性結合(RKKY相互作用)を利用した磁気メタマテリアルの構築、ならびに、磁気光学プラズモン共鳴を利用したバイオ化学センサ(水素ガスセンサ&グルコースセンサ)の開発に注力した。

3. 研究の方法

試料の作製には、高真空マグネトロンスパッタ法を用い、研究代表者がこれまで取り組んできた Co-Pt 系垂直磁化膜を基本材料として研究を進めた。高性能磁気光学薄膜についての材料開発では、誘電体(酸化物)との積層化によって、垂直磁気特性と低駆動磁場との両立を目的として検討を行った。また、疑似的な磁気メタマテリアルに関する研究では、RKKY相互作用が利用できる [CoPt/Ru/CoPt] 積層膜を用いた。波長に比べて十分に短い数 nm の距離でのスピンの打ち消し合いを発生させて、光学的に疑似的な磁性/非磁性状態を実現することで、スピン配列による光波制御を試みた。材料の物性解析には、分光エリプソメーター、X線光電子分光、磁気分光式特性評価、走査型磁気力顕微鏡といった既存の測定装置を活用するとともに、独自の計測システムを構築することで実用化を見据えたデバイス開発にも取り組んだ。

なお、新型コロナウイルス感染症の影響によって十分な検討ができなかった「磁気プラズモン共振器」については、マテリアル先端リサーチインフラ等を活用して研究を継続している。

4. 研究成果

(1) 高性能磁気光学薄膜の開発

[CoPt/酸化物]積層膜

本研究課題では、光の進行方向、つまり試料表面に対して法線方向に磁化容易軸を持つ垂直磁化膜の利用を前提としている。ここで、hcp(001)-Co₈₀Pt₂₀ 磁性膜は、良好な垂直磁気特性を有することから、ハードディスクの記録媒体として実用化されているが、可視光域で比較的大きな磁気光学効果を示し、光磁気デバイスにおいても有用な材料である。実際、研究代表者はこれまでに、Co-Pt 膜の光磁気物性ならびにバイオ化学センサへの応用について研究開発を進めてきた。光学干渉あるいはプラズモン共鳴による極 Kerr 効果の増強/変調、あるいは、水素ガスセンサへの応用等について報告してきた[1,2]。

ここで、磁性体の磁気光学性能の向上/制御には、酸化物など誘電体膜との複合化(積層構造)が有効であるが、良好な磁気特性との両立も重要である。本研究課題では、3種類の酸化物シード層(Cr-O, Al-ZnO, Al₂O₃)が、Co-Pt 膜の垂直磁気特性に与える影響について調査した[3]。図1(a)に、Co-Pt(14.9 nm)/Cr-O(30 nm)積層膜の磁化曲線を示す。膜面垂直方向()が、磁化容易軸となっている。ここで、磁性薄膜(膜厚: t)の磁気異方性(K_{eff})は、結晶磁気異方性(K_V)および界面磁気異方性(K_S)を用いて以下の式で評価できる。

$$K_{eff} \times t = K_S + K_V \times t \quad (1)$$

図1(b)は、膜面垂直および面内方向の磁化曲線の面積差から算出した実効的な磁気異方性エネルギー(K_{eff})のCo-Pt 膜厚依存性を示している。Cr-OおよびAl-ZnOシード層が、良好な垂直磁気特性の実現に有効であることが分かる。X線回折およびX線光電子分光による解析からは、Co-Pt 膜の結晶性(hcp-001)の向上、ならびに、積層界面でのCo酸化層の形成が、垂直磁気異方性の発現要因であることを示唆する結果が得られた。なお、Cr-O膜はアモルファス構造であり、本試料での高い結晶磁気異方性は、Co-Pt 膜の自己組織的な結晶配向成長に起因すると考えている。

極薄 CoPt 積層膜

磁気光学効果のデバイス応用では、駆動磁場の低減ならびに応答信号の安定性の観点から、小さな印加磁場で磁化反転できる低飽和磁場型の磁性膜が求められる。前述のように、Co-Pt 膜の磁気特性は、磁気異方性によって議論でき、材料の組み合わせを含めた界面状態に大きく依存する。特に、Co-Pt 層の厚さを1.5 nmの極薄状態、つまり界面磁気異方性の寄与を大きくすることで、良好な垂直磁気特性を維持したまま、磁化反転磁場(飽和磁場)を大きく低減することが可能である。ただし、極薄磁性膜の磁気光学効果は小さいため、このままではデバイス応用は不可能である。

そこで本研究課題では、光学干渉によって磁気光学特性を増大させる「磁気光学キャビティ素子」において、複数の極薄 Co-Pt 層を誘電体光干渉層中に挿入した積層構造体を作製した[4]。その結果、図2に示すように、飽和磁場の低減を図りながら、大きな磁気光学性能を実現することに成功した。現在、バイオ化学センサへの応用を進めている。本研究内容については、国際学会誌「Journal of Applied Physics」において、Editor's Picks に選出された。

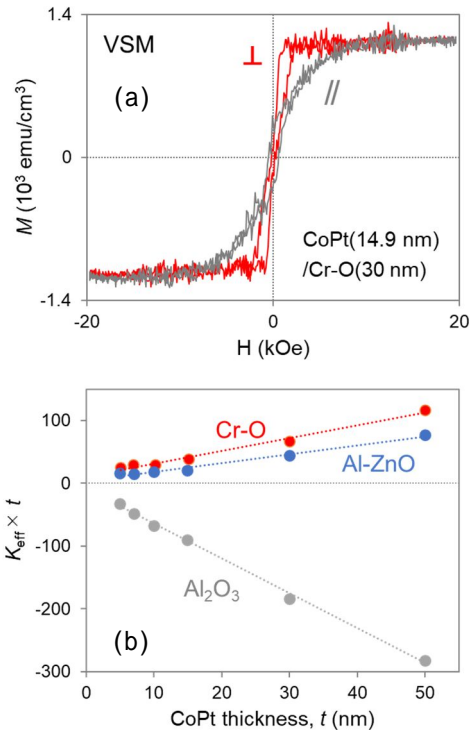


図1. [Co-Pt/酸化物]積層膜における垂直磁気特性

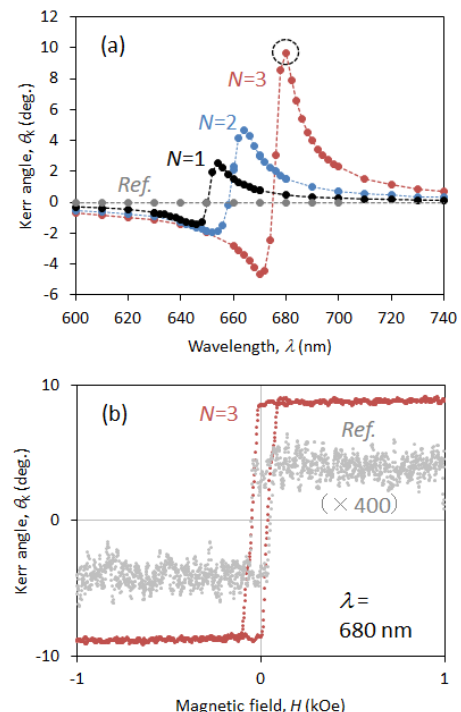


図2. 極薄 Co-Pt 積層膜における磁気光学キャビティ効果

(2)磁気メタサーフェスの創製

近年、プラズモン共鳴による磁気光学特性の増強が注目されている。磁気光学プラズモンに関する研究では、膜面内に磁化容易軸を持つ面内磁性膜と貴金属との複合材料についての報告が一般的である。これに対して本研究課題では、垂直磁気特性を有する hcp(001)-Co₉₀Pt₁₀ 単層膜において、表面プラズモンが磁気光学特性(極 Kerr 効果)に与える影響について検討した[5]。試料の膜構造は、[Al₂O₃/Co-Pt/Al-ZnO]/ガラス基板であり、良好な垂直磁気特性を実現するため、Al-ZnO シード層および Al₂O₃ 保護層を形成した。

試料は、図 3 に示すように、直角プリズムと光学結合させて、p 偏光(半導体レーザー: $\lambda = 658 \text{ nm}$)を基板裏面から照射した。プラズモン励起ならびに磁気光学効果の両方の機能を Co-Pt が担う構成となっている。図 4(a)に、Co-Pt 垂直磁化膜の磁化飽和状態における、磁気 Kerr 回転角(θ_k)および反射光強度(I_R)を示す。表面プラズモン共鳴による反射率の減少とともに、 θ_k の極性反転をともなった大幅な増強が確認される。特に、Co-Pt 膜厚: 10.6 nm では、約 $\pm 90^\circ$ の偏光角とともに、楕円率はゼロとなっており、入射した p 偏光は、s 偏光として出射される(偏光変換)。

さらに本試料では、図 4(b)に示すように、反射光強度: I_R が、印加磁場に応じて大きく変化する様子も観測された。反射光強度は、保磁力($\pm H_C$)で最小となり、磁場の増加にともなって増加する。一般に、非磁性媒質(屈折率: n_0)から磁性体(n_1)に、p 偏光を入射角度: θ_0 で照射した場合、極 Kerr 配置における反射率: R_p は、磁性体の誘電率テンソル(ϵ_{xx} , ϵ_{xy})を用いて、以下の式で与えられる。

$$R_p = |r_{pp}|^2 + |r_{sp}|^2 \quad (2)$$

$$r_{sp} = \frac{-n_0 n_1 \cos \theta_0}{(n_1 \cos \theta_0 + n_0 \cos \theta_1)(n_0 \cos \theta_0 + n_1 \cos \theta_1)} \times \frac{\epsilon_{xy}}{\epsilon_{xx}}$$

$$r_{pp} = \frac{n_1 \cos \theta_0 - n_0 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_0 + n_0 \cos \theta_1}$$

ここで、 r_{pp} および r_{sp} は、p/s 偏光の反射比率、 θ_1 は磁性体での屈折角である。上式より、図 4(b)で示した反射光強度の変化は、 $r_{sp}[e_{xy}]$ の磁化依存性によって説明できる。DC 消磁状態では、走査型磁気力顕微鏡による測定から、サブ波長サイズ(周期長: 約 360 nm)の迷路状の磁区が観測され、光学的に非磁性状態($e_{xy} = 0$)と見なすことができる。つまり、保磁力($\pm H_C$)での反射光強度の減少は、 $r_{sp} = 0$ となるためである。本現象は、サブ波長領域内の磁気光学効果による相殺的光干渉からも説明できる。サブ波長の磁区構造で形成された「磁気メタサーフェス」として機能した結果とも言える。

現在、スピンエレクトロニクスの基本デバイスの一つである磁気メモリ(MRAM)への応用を進めている。図 5 に示すように、伝導電子を介した RKKY 相互作用を用いて、Co-Pt 層間の磁気スピンの配列状態を、光の波長に比べて十分に短い距離で変えることで、反射光の振幅/偏光/位相の制御に成功している[6]。光学的に疑似的な磁性/非磁性状態を実現する「磁気メタサーフェス」として、光スピン融合型メモリや光波制御デバイスなど新たな光機能デバイスへの展開が期待できる。

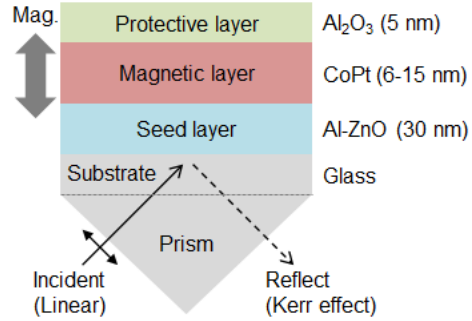


図 3. Co-Pt 垂直磁化膜を用いた磁気光学プラズモン素子

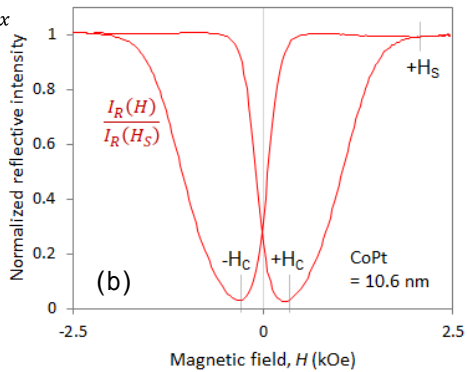
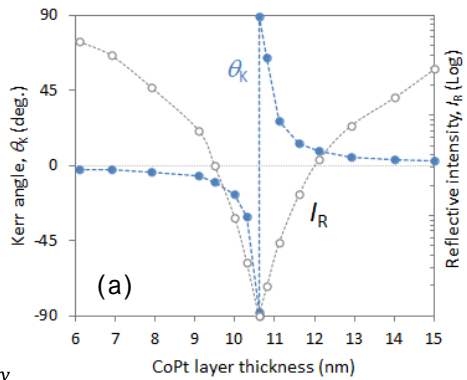


図 4. Co-Pt 垂直磁化膜における表面プラズモンによる磁気光学増強

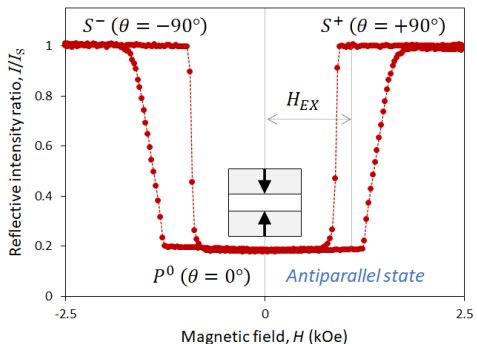


図 5. 磁気光学プラズモン素子におけるスピン配列による光波制御

(3)磁気光学式プラズモンセンサ

表面プラズモン共鳴を利用したプラズモンセンサは、リアルタイムかつラベルフリーな検出方法として、遺伝子工学、生化学や医療などの化学バイオ分野で実用化されている。プラズモンセンサでは一般に、Au あるいは Ag といった貴金属薄膜が検知素子として用いられる。本研究課題では、磁性体と貴金属との積層膜を形成することで、表面プラズモン共鳴による磁気光学効果の増強を利用した高性能バイオ化学センサの開発を目的として検討を行った。

水素ガスセンサ

磁気光学式センサは、検知素子を構成する磁性体の種類によって垂直磁化と面内磁化方式に分けられる。水素ガスセンサには、[Co-Pt/Ag]垂直磁化膜を基本構成とした[7]。表面プラズモンが励起される共鳴角では、磁気光学効果(Kerr 回転角)は、通常の極 Kerr 測定約 100 倍に相当する約 $\pm 21^\circ$ に達するとともに、入射角に対して急峻な応答を示した。マトリックス法によるシミュレーションからも、図 6 に示すように、磁気光学応答が、Ag 単層膜における反射率依存性に比べて急峻であることが確認された。一般に、プラズモンセンサの性能指数(FOM)は、センサ表面の屈折率の変化にともなう共鳴角の変動($\delta\theta_R/\delta n$)を用いて、以下の式で与えられる。

$$FOM = \frac{\delta\theta_R/\delta n}{\Delta\theta_I} \quad (3)$$

急峻な入射角スペクトル($\Delta\theta_I$)を有する磁気光学プラズモン共鳴は、プラズモンセンサの高感度化に有効と期待できる。一例として、水素ガスセンサへの応用について検討した。積層膜の表面に水素反応層として Pd 膜を形成することで、図 7 に示すように、水素-窒素混合ガスの導入/遮断にともなう明瞭な検知信号を確認することができた。さらに本測定では、差動法を用いて偏光角の変化を計測しており、磁気光学式センサの特徴である計測光の強度変動に対する安定な検出動作を確認することもできた。

グルコースセンサ

磁気光学式プラズモンセンサの他の応用例として、グルコース計測について検討を行った[8]。検知素子に[Fe-Si/Au]面内磁化膜を用いた横 Kerr 測定では、Fe-Si 磁性層の磁化方向に依存して、約 $\pm 25\%$ の大きな反射光強度の変調が得られた。通常のプラズモンセンサと同様に、外部環境(屈折率)の変化に敏感であり、純水とグルコース水溶液(10 wt%)を積層膜表面に接触させることで、極性反転をともなった明瞭な磁気光学応答を確認した(図 8)。本研究成果については、2023 年応用物理学学会春季講演会において、千葉工業大学との連名発表が Poster Award を受賞した。

< 引用文献 >

- [1] H. Yamane *et al.*, Journal of Applied Physics **124**, 083901 (2018) **Featured article**
- [2] 山根治起, 電気学会論文誌 E **139**, 317-322 (2019)
- [3] 山根治起 他, 日本金属学会誌 **87**, 139-147 (2023)
- [4] H. Yamane *et al.*, Journal of Applied Physics **129**, 203902 (2021) **Editor's pick**
- [5] H. Yamane *et al.*, Scientific Reports **12**, 13871 (2022)
- [6] 山根治起 他, 第 46 回日本磁気学会学術講演会, 06pC-7 (2022)
- [7] H. Yamane, Japanese Journal of Applied Physics **60**, SCCG01 (20021)
- [8] 安川雪子, 山根治起 他, 2023 年応用物理春季学術講演会, 16p-PA09-15, **Poster Award**

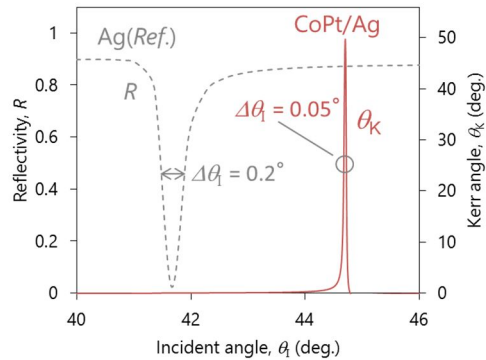


図 6. [Co-Pt/Ag]積層膜の磁気光学応答および Ag 単層膜の光学応答

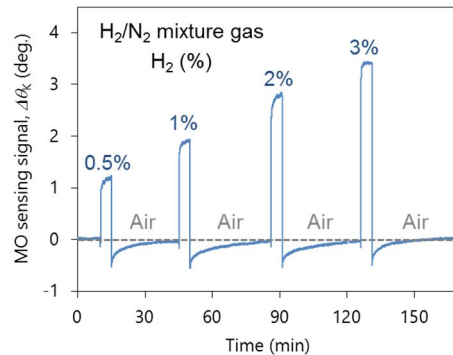


図 7. 磁気光学プラズモン共鳴を利用した水素ガスセンサ

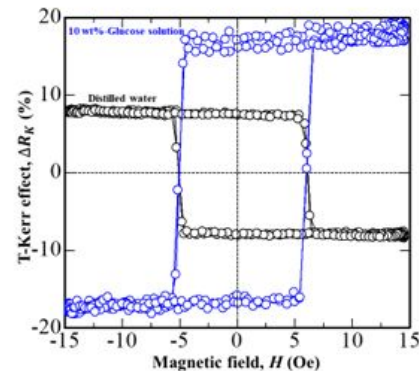


図 8. 磁気光学プラズモン共鳴を利用したグルコースセンサ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 H. Yamane, Y. Yasukawa and M. Kobayashi	4. 巻 129
2. 論文標題 Polar Kerr effect and perpendicular magnetic anisotropy in Fabry Perot cavity containing CoPt/AZO magneto-optical interference layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 203902
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0052232	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Yamane	4. 巻 33rd
2. 論文標題 Magneto-Plasmon Resonances on Perpendicular Magnetic Thin Films Consisting of [CoPt/ZnO/Ag] Stacked Nano-Layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Abstracts of 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference	6. 最初と最後の頁 2020-24-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamane Haruki	4. 巻 60
2. 論文標題 Magneto-optical surface plasmon resonances on perpendicular magnetic thin films consisting of CoPt/ZnO/Ag stacked nanolayers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SCCG01 ~ SCCG01
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/abe7fd	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamane Haruki, Hasegawa Takashi, Yasukawa Yukiko, Kobayashi Masanobu	4. 巻 87
2. 論文標題 Perpendicular Magnetic Properties on hcp-Co₈₀Pt₂₀ Stacked Films with Oxide Seed Layers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Institute of Metals and Materials	6. 最初と最後の頁 139 ~ 147
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/jinstmet.jbw202203	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yamane Haruki、Yanase Satoshi、Hasegawa Takashi、Kobayashi Masanobu、Yasukawa Yukiko	4. 巻 12
2. 論文標題 Polarization transformation and destructive interference on subwavelength magnetic domains in magneto-plasmonic systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-17971-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 山根治起, 梁瀬智, 長谷川崇, 安川雪子, 小林政信
2. 発表標題 CoPt垂直磁化膜における表面プラズモン共鳴と極Kerr効果
3. 学会等名 2022年応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Yamane
2. 発表標題 Surface plasmon resonances on perpendicular magnetic nanolayers for chemical sensing applications
3. 学会等名 Asia Pacific Society for Materials Research 2021 Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山根治起, 梁瀬智, 安川雪子, 小林政信
2. 発表標題 CoPt垂直磁化膜における表面プラズモン共鳴と極Kerr効果
3. 学会等名 第45回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Yamane
2. 発表標題 Magneto-Plasmon Resonances on Perpendicular Magnetic Thin Films Consisting of [CoPt/ZnO/Ag] Stacked Nano-Layer
3. 学会等名 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山根治起
2. 発表標題 CoPt/Ag垂直磁化積層膜における表面プラズモン共鳴とセンサ応用
3. 学会等名 2021年応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山根治起, 長谷川崇, 安川雪子, 小林政信
2. 発表標題 Cr-0シード層によるHcp(001)-Co80Pt20薄膜の垂直磁気特性の向上
3. 学会等名 2023年応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山根治起, 長谷川崇, 澤畑有輝, 小林政信
2. 発表標題 酸化物シード層によるhcp(001)-Co80Pt20薄膜の垂直磁気特性の向上
3. 学会等名 2022年秋期日本金属学会講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山根治起, 安川雪子, 小林政信
2. 発表標題 反強磁性結合を有するCoPt/Ru積層膜における表面プラズモン共鳴
3. 学会等名 第46回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haruki Yamane
2. 発表標題 Magneto-plasmonics on perpendicular magnetic nanostructures for chemical sensing applications
3. 学会等名 International Symposium for Advanced Materials Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関