

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02240

研究課題名(和文) ナノ構造コリニア体積磁気ホログラム材料開発と超高密度光情報ストレージへの応用

研究課題名(英文) Development of nanostructured collinear volume magnetic hologram material and its application to ultra high density optical information storage

研究代表者

リム パンボイ (Lim, Pang Boey)

豊橋技術科学大学・国際教育センター・准教授

研究者番号：40502597

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,400,000円

研究成果の概要(和文)：コリニア干渉法を用いた記録再生方式について検討した結果、焦点位置から少しずらした位置において明瞭な再生像が得られ、エラーのない記録再生ができることを明らかにし、磁気アシストを行うことで、より明瞭な再生像が得られ、小さな書き込みエネルギーでもエラーの無い記録再生ができるようになった。磁気ホログラムを体積記録するための磁気記録媒体として、熱拡散層を導入した多層膜媒体を提案し、シミュレーションおよび実験で検討を行った。その結果、従来の単層膜よりも大きな回折効率が得られ、記録層が離散的に存在する多層膜媒体でもコリニア方式によるエラーの無い記録再生が可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We investigated the recording and reconstruction method using the collinear interferometry. We found that clear reconstructed images were obtained at a position shifted slightly from the focal point and that errorless recording and reconstruction was performed. In addition, by applying magnetic assist recording method, much clear reconstructed images were obtained, and errorless recording and reconstruction was attained even with small writing energy. As magnetic recording media for volumetric recording of magnetic holograms, we proposed multilayered media inserting heat sink layers by simulation and experiment. As a result, it was revealed that a diffraction efficiency higher than that of the conventional single layer film could be obtained, and errorless recording and reconstruction by the collinear method was possible even in the multilayered media in which the recording layers are discretely existed.

研究分野：ホログラムメモリ

キーワード：磁気ホログラムメモリ 熱磁気記録 人口磁気格子メディア コリニア磁気ホログラム

### 1. 研究開始当初の背景

我々のグループでは、2000年からコリニア方式ホログラムメモリシステムの開発を行ってきており、2005年に連続回転する光ディスクにホログラム情報記録できることを世界で初めて示した。しかしこの記録材料はライトワンスのフォトニックポリマでリライタビリティはなく、経時変化にともなう記録情報の安定性に課題があった。そこでリライタビリティを有する安定な材料として、透光性酸化物磁性体(磁性ガーネット)に着目し、多結晶磁性ガーネット膜の結晶粒径を平均 50nm 程度に低減することで、世界で初めて体積的に磁気ホログラムの記録再生ができることを示した。また磁気ホログラムの記録媒体として、磁性フォトニック結晶を組み合わせることで、単層膜に比べて回折効率が大きく向上することを示した。更に熱磁気書き込みにより体積的な磁気ホログラムを形成するためには、記録時の熱拡散の制御が不可欠であり、そのために熱拡散を制御するための多層膜構造が有効であることがシミュレーションにより示唆されていた。

### 2. 研究の目的

本研究は、これらの実績を踏まえ、リライタビリティを有する光磁気体積ホログラムデータストレージの実現を目指し、コリニア体積磁気ホログラム記録密度の高密度化とそれに適したシステム構築のため、記録再生システムおよび磁気記録メディアの開発を目的とする。

### 3. 研究の方法

記録再生システムの開発のため、ピコ秒パルスレーザを用いて、コリニア磁気ホログラムの記録再生条件について詳細に検討する。この記録再生特性は、磁性ガーネット記録メディアの構造・特性にも密接に関連するため、次の記録メディアの開発とも連携して行う。磁気記録メディアの開発として、熱拡散制御のための多層膜記録メディアに関して、詳細なマルチフィジックスシミュレーションによる磁気ホログラム形成過程の解析を行い、それに基づく設計を行う。また実際にスパッタ法により多層膜磁気記録メディアを作製し、そこに記録再生することで特性を評価し、シミュレーション結果と比較しフィードバックすることで、コリニア磁気記録に適した磁気記録メディアおよび記録再生システムの開発を行う。

### 4. 研究成果

記録再生システムの開発：従来のコリニア記録では、光学拡散板を用いた記録により再生像を得てきたが、得られた再生像はピクセルのにじみがあり必ずしも明瞭な像ではなかった。そこで光学拡散板を用いない記録条件について検討し、焦点位置から少しずらした位置において明瞭な再生像が得られ、エラーのない記録再生ができることを明らかにした。また磁気ホログラムの回

折効率の向上を目指し、記録時の磁化反転を大きくするため磁気アシスト記録方式について検討した。記録時にメディアの初期磁化方向と反対方向に種々の大きさの磁場を印加して、磁気ホログラムの記録を行い、記録条件と再生効率の関係について評価した結果、適度な大きさの磁場を印加して磁気アシスト記録を行うことで、回折効率が数 10 % 向上し、特に膜厚が薄い場合にその効果が大きいことがわかった。更にコリニア方式を用いたデータの記録時に磁気アシストを行うことで、磁気アシストしない場合に比べ、明瞭な再生像が得られ、記録に必要なエネルギー密度が小さくなるとともに、エラーゼロでの記録再生できる条件が広がることもわかった。また高記録密度を得るため、光学系ならびに空間光変調器への表示パターンの改良と磁気アシスト記録を用いることで、1回の書き込みで記録できるデータ量を約 1M バイトまで大きくできるようになった。

磁気記録メディアの開発：磁気ホログラムの体積記録を行うためには、膜厚方向に深く明瞭なホログラムを形成する必要がある。しかし深いホログラムを形成するために記録エネルギー密度を上げて、記録媒体表面付近の過剰な熱が拡散して磁気フリッジ同士が結合するため、実効的な記録深さは変わらないことが数値シミュレーションより示されていた。そこで磁性ガーネット膜中に過剰な熱を逃がすために必要な熱拡散層と磁性層の厚さの関係を明らかにし、熱拡散を制御することで、過剰な熱の拡散による磁気フリッジ同士の結合を抑制でき、深く明瞭な磁気フリッジが形成できることをシミュレーションにより明らかにした。更にこれを磁性フォトニック結晶構造と組み合わせることで、例えば磁性ガーネット層の総膜厚が約 3 ミクロン程度の場合、約 0.9% の回折効率が得られ、単層膜より約一桁向上できる可能性があることをシミュレーションにより明らかにした。この結果を受け、磁性ガーネット中に熱拡散層を導入した多層膜メディアを実際に形成し、その特性を評価した。熱拡散層としていくつかの材料を評価した結果、SiO<sub>2</sub> を使用することで磁性ガーネット層の厚さが薄い場合でも特性の低下がほとんど無い多層膜が形成できることがわかった。ただし、このとき 1 層の磁性ガーネット層の厚さが数 100 nm 以下の場合、初期磁化方向と逆方向に外部から磁場を印加する磁気アシスト記録を行わないと十分に磁化反転せず、大きな回折効率が得られないことが実験およびシミュレーションから明らかになった。そこで二光束干渉方式を用いて磁気アシストして多層膜記録媒体に記録・再生し、その回折効率を評価した結果、従来の単層膜よりも数 10 % 大きな回折効率が得られることを実験的に示した。またこの多層膜にコリニア

方式によりデータの書き込み・再生を行った結果、記録層が離散的に存在する多層膜でもエラーの無い記録再生が可能であることを明らかにした。一方、実際に磁性ガーネットに形成された磁化分布を評価するため、SPring-8放射光を用いて走査型XMCD測定を行った結果、約1 μm周期で形成される磁気フリンジを観察することができた。ただし記録媒体である磁性ガーネット膜に組成の不均在り存在し、熱磁気記録した磁化分布にも空間的に強度むらが存在しており、その改善が課題となることがわかった。

#### 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 5 件)

1. Z. Shirakashi, Y. Nakamura, H. Takagi, P. B. Lim, T. Goto, H. Uchida, M. Inoue, “Reconstruction of non-error magnetic hologram data by magnetic assist recording” Scientific Reports, 査読あり, 7, 12835(1-8) (2017) DOI: 10.1038/s41598-017-12442-z.
2. Y. Nakamura, Z. Shirakashi, H. Takagi, P. B. Lim, T. Goto, H. Uchida, M. Inoue, “Error-Free Reconstruction of Magnetic Hologram via Improvement of Recording Conditions in Collinear Optical System” Opt. Express, 査読あり, 25, 15349-15357 (2017) DOI: 10.1364/OE.25.015349.
3. T. Yoshimoto, T. Goto, R. Isogai, Y. Nakamura, H. Takagi, C. A. Ross, M. Inoue, “Magnetophotonic crystal with cerium substituted yttrium iron garnet and enhanced Faraday rotation angle” Opt. Express, 査読あり, 24, 8746-8753 (2016) DOI: 10.1364/OE.24.008746.
4. R. Isogai, Y. Nakamura, H. Takagi, T. Goto, P. B. Lim, M. Inoue, “Thermomagnetic writing into magnetophotonic microcavities controlling thermal diffusion for volumetric magnetic holography” Opt. Express, 査読あり, 24, 522-527 (2016) DOI: 10.1364/OE.24.000522.
5. R. Isogai, S. Suzuki, K. Nakamura, Y. Nakamura, H. Takagi, T. Goto, P. B. Lim, M. Inoue, “Collinear Volumetric Magnetic Holography with Magnetophotonic Microcavities” Opt. Express, 査読あり, 23, 13153-13158 (2015) DOI: 10.1364/OE.23.013153.

[学会発表](計 33 件)

1. N. Hoshiba, Z. Shirakashi, T. Goto, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, H. Uchida, M. Inoue, “Reconstruction of magnetic hologram using multi-layered medium with discrete magnetic layers” MORIS2018 (2018).

2. Y. Nakamura, N. Hoshiba, Z. Shirakashi, T. Goto, H. Takagi, P. B. Lim, H. Uchida, M. Inoue, “Development of Heat Sink Multi-Layered Media for Magnetic Hologram with Errorless Reconstruction” IWH2017(招待講演)(2017).
3. Y. Nakamura, Z. Shirakashi, N. Hoshiba, T. Goto, H. Takagi, P. B. Lim, H. Uchida, M. Inoue, “Performance of Heat-sink Multilayer Structure for Volumetric Magnetic Hologram Media with Errorless Reconstruction” ISOM2017 (2017).
4. 中村 雄一, 林 攀梅, 高木 宏幸, 後藤 大二, 内田 裕久, 井上 光輝, “コリニア磁気ホログラムの再生像品質の向上” 第78回応用物理学会秋季学術講演会(招待講演)(2017).
5. Y. Nakamura, Z. Shirakashi, H. Takagi, T. Goto, P. B. Lim, H. Uchida, M. Inoue, “MISM2017(招待講演)(2017).
6. Z. Shirakashi, T. Goto, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, H. Uchida and M. Inoue “Non-error reconstruction of magnetic hologram with magnetic assist recording” Intermag2017 (2017).
7. K. Kawazu, Z. Shirakashi, T. Goto, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, H. Uchida, M. Inoue, “Properties of Magnetic Volumetric Hologram with Magnetic Garnet/SiO<sub>2</sub> Multilayered Media” IWH2016 (2016).
8. Y. Nakamura, H. Takagi, P. B. Lim, T. Goto, H. Uchida, M. Inoue, “Development of magnetophotonic crystals and their applications” CMSE2016(招待講演)(2016).
9. Z. Shirakashi, T. Goto, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, H. Uchida, M. Inoue, “Improvement of diffraction efficiency of volumetric magnetic hologram with magnetic assist recording” ISOM'16 (2016).
10. Y. Nakamura, H. Takagi, P. B. Lim, T. Goto, H. Uchida, M. Inoue, “Error-free reconstruction through the improvement of collinear optical system for magnetic hologram memory” ISOM'16 (2016).
11. Y. Nakamura, H. Takagi, P. B. Lim, T. Goto, H. Uchida, M. Inoue, “Development of recording media with artificial magnetic lattices for magnetic hologram memory” EMN Meeting on Photonics 2016(招待講演)(2016).
12. Y. Nakamura, R. Isogai, H. Takagi, T. Goto, P. B. Lim, M. Inoue. “Magnetic collinear holograms with magnetophotonic crystals” META'16 (2016).
13. M. Inoue. “Artificial Magnetic Lattices and Their Applications” 2016 TMS Annual Meeting & Exhibition (招待講演)(2016).

14. M. Inoue, “Artificial magnetic lattices and their applications” IGNITE 2016(招待講演)(2016).
15. R. Isogai, S. Suzuki, T. Goto, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, M. Inoue, “Volumetric Holographic Media with Magnetic Artificial Lattices Controlling Optical and Thermal Phenomena” IWH 2015(招待講演)(2015).
16. Y. Nakamura, H. Takagi, P. B. Lim, T. Goto, M. Inoue, “Fundamental properties of magnetic holography with artificial magnetic lattice” ISOM '15(招待講演)(2015).
17. R. Isogai, T. Goto, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, M. Inoue, “Analysis of Recording Efficiency in Binary Holography” ISOM '15 (2015).
18. S. Suzuki, R. Isogai, T. Goto, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, M. Inoue, “Improvement of diffraction efficiency of volumetric magnetic hologram with designed alumina multilayer in magnetophotonic crystal media” ISOM '15 (2015).
19. R. Isogai, S. Suzuki, K. Kawazu, T. Goto, H. Takagi, Y. Nakamura, P. B. Lim, M. Inoue, “Design of magnetophotonic crystal with heat-diffusive layers for well-defined magnetic fringe formation” MORIS 2015 (2015)
20. M. Inoue, H. Takagi, T. Goto, Y. Nakamura, P. B. Lim, “Magnetophotonic Microcavities Enabling Three Dimensional Magneto-optic Display and Hologram Memory” ICMAT15(招待講演)(2015).

他 13 件

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0 件)

名称:  
 発明者:  
 権利者:  
 種類:  
 番号:  
 出願年月日:  
 国内外の別:

○取得状況(計 0 件)

名称:  
 発明者:  
 権利者:  
 種類:  
 番号:  
 取得年月日:  
 国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www.spin.ee.tut.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

リム パンボイ (LIM, Pang Boey)  
 豊橋技術科学大学・国際教育センター・  
 准教授  
 研究者番号: 4 0 5 0 2 5 9 7

### (2) 研究分担者

中村 雄一 (NAKAMURA, Yuichi)  
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・  
 准教授  
 研究者番号: 2 0 3 4 5 9 5 3

井上 光輝 (INOUE, Mitsuteru)  
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・  
 教授  
 研究者番号: 9 0 1 5 9 9 9 7

高木 宏幸 (TAKAGI, Hiroyuki)  
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・  
 准教授  
 研究者番号: 4 0 3 9 0 4 6 3

後藤 太一 (GOTO, Taichi)  
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・  
 助教  
 研究者番号: 0 0 7 2 1 5 0 7

内田 裕久 (UCHIDA, Hironaga)  
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・  
 教授  
 研究者番号: 3 0 2 7 1 0 0 0

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号:

### (4) 研究協力者

( )