

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：32660

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24860059

研究課題名(和文) 球面波シフト多重方式を用いた大容量ホログラフィックデータストレージの開発

研究課題名(英文) Development of shift multiplexing recording system with spherical reference wave for holographic data storages

研究代表者

吉田 周平 (Yoshida, Shuhei)

東京理科大学・基礎工学部・助教

研究者番号：10632606

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、次世代の光ストレージであるホログラフィックデータストレージにおいて、球面波を参照光として用いる球面波シフト多重を採用した大容量の記録再生システムを構築し、その評価を行った。具体的には3次元の各軸方向のシフト選択性を実験とシミュレーションにより評価し、フォトポリマー記録媒体のダイナミックレンジを有効に利用できるホログラムの記録再生方法を確立した。

研究成果の概要(英文)：Holographic data storage is the next generation optical storage which can hold large capacity and high data transfer rate. In this study, shift multiplexing recording system with spherical reference wave is developed and evaluated. Shift multiplexing system has advantages that can simplify optical system. In the evaluation, shift selectivity of each axis of the three dimensions is investigated, and read/write procedure that utilize dynamic range of the photopolymer recording medium is established.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電子デバイス・電子機器

キーワード：ホログラフィックデータストレージ ストレージ ホログラム HDS 光ディスク

1. 研究開始当初の背景

近年のコンピュータ・通信機器の飛躍的な性能向上と広帯域ネットワークの普及によって、全世界に存在するデータ量は年率にして約 50% という爆発的な速度で増えつつあり、これらの保存を担う高速・大容量ストレージ技術の開発が急務とされている。特にインターネット上のデータの保存を一手に引き受けるデータセンターでは、ハードディスクドライブ (HDD) に代わる耐障害性の高い大容量ストレージが求められている。一方で、全世界の電力消費量の 1% から 1.5% がデータセンターにおける消費であると推計されており、HDD による消費電力はそのうち 20% 近くを占めるため、次世代のストレージには優れた省電力性も求められている。

ホログラフィーの原理に基づいたホログラフィックデータストレージ (HDS) では、データをホログラムとして厚い媒体に 3 次元的に記録されるため、従来の平面型光ディスクでは実現不可能だった回折限界に制限されない大容量が実現可能である。また、データの記録・再生は従来の bit-by-bit 方式ではなく、2 次元のページデータを単位として行うため、高い転送速度が見込める。加えて、記録媒体であるフォトポリマーは高い安定性を持った材料であるため、HDS はデータのバックアップ・アーカイブ用途にも適した耐障害性の高いストレージであり、常時通電を必要としないため、省電力性にも優れている。このような特徴を持つことから、HDS は上述の要求に応えることが可能なストレージ技術である。

2. 研究の目的

本研究では、ホログラフィーの原理を応用した高速・大容量のストレージである HDS の記録再生システムを構築し、1 Tbit/in² 以上の記録密度実現に向けた知見を得ることを目的とする。

具体的には、媒体の移動だけでホログラムの多重記録ができる球面波シフト多重方式を用いて、大容量記録を実現可能な記録再生光学系を確立し、実験的に 1 Tbit/in² 以上の記録密度を実証することを目標とする。

HDS が目標とする具体的な性能は、1 Tbit/in² を超える記録密度と、1 Gbps を超える高速な転送速度であり、実用化されれば、情報化社会の飛躍と発展を支える技術となることが期待できる。また、優れた省電力性を持つ HDS はこれからの省エネルギー社会の構築に向けて有望な技術であると言える。IT 機器による電力消費量は年々増加しており、サーバや通信機器、ストレージなどが集中するデータセンターの省電力化は急務である。HDD 内に保存されているデータの中でアーカイブ性の高いものを HDS で保存することで、データセンターの大幅な省力化が実現できる。

3. 研究の方法

本研究は、これまでに行われてきた記録媒体や信号処理技術、光学部品などの要素技術に関する研究をストレージシステムとしてまとめ、1 Tbit/in² 以上の記録密度を持つ HDS の実現に向けて以下の課題に取り組んだ。

- (1) 球面波シフト多重方式 (図 1) を用いて 1 Tbit/in² 以上の記録密度を実現するための知見を得る。
- (2) 透過型記録と反射型記録を併用した記録再生光学系を確立する。
- (3) ディスク型記録媒体を用いた記録再生システムの構築とその評価を行う。
- (4) HDS の記録再生系に適した変調符号とエラー訂正符号の開発と評価を行う。
- (5) 上述の研究を総合した HDS システムを構築し、1 Tbit/in² 以上の記録密度が実現可能であることを実験的に実証する。

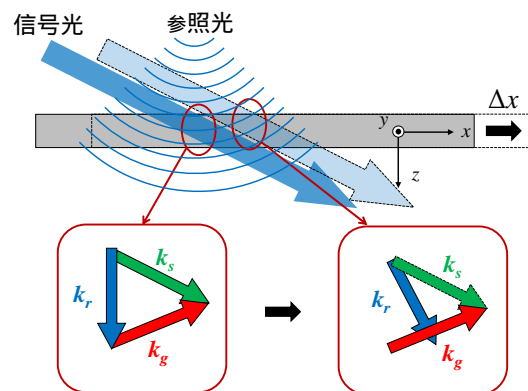


図 1 球面波シフト多重記録の原理

具体的には、3 次元のステージ機構を用いて、ホログラムの多重記録の評価実験を行い、回折特性、信号対雑音比、ビットエラーレートといった項目を評価し、実用化に向けた知見を得る。

また、スカラー回折理論に基づいた数値解析手法を確立し、実験と並行して数値解析による評価も行った。実験と理論の両面から 1 Tbit/in² 超の記録密度の実現に必要なとされる条件を明らかにする。

4. 研究成果

本研究では主に以下の成果を得た。

- (1) 3 次元の各軸方向のシフト選択性を実験及びシミュレーションにより評価し (図 2)、大容量を実現可能な記録条件を明らかにした。
- (2) 透過型記録と反射型記録を併用したホログラムの記録・再生を実証した。
- (3) フーリエ変換ホログラムの記録に適した変調符号を開発・評価した。
- (4) 記録媒体のダイナミックレンジを最大限に利用するため、媒体を回転させる Peristrophic 記録をシフト多重記録と併用した記録・再生方式を確立した。

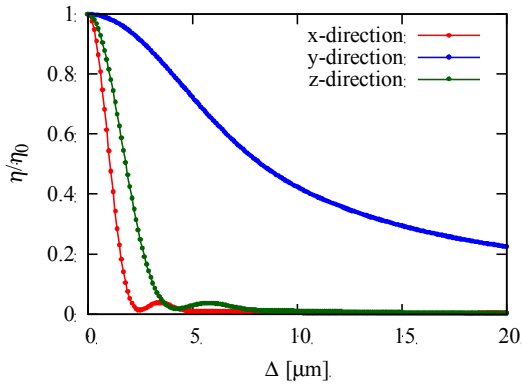


図2 回折効率のシフト選択性(シミュレーションによる評価)

従来のシフト多重記録方式では各軸方向の選択性の違うため(図2)、本研究では記録媒体を回転させる Peristrophic 記録(図3)を取り入れ、記録媒体のダイナミックレンジを最大限に利用可能な多重記録方法を確立した。

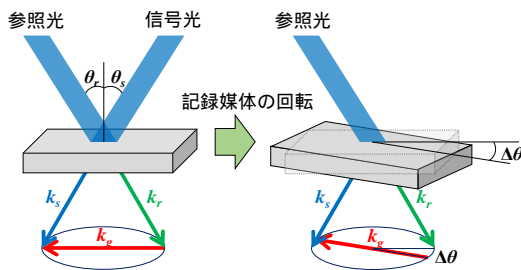


図3 Peristrophic (回転) 多重記録の原理

球面波参照光を用いた Peristrophic 記録では、記録媒体を 10°程度回転させることでクロストークなしで多重記録できることが明らかになった(図4)。

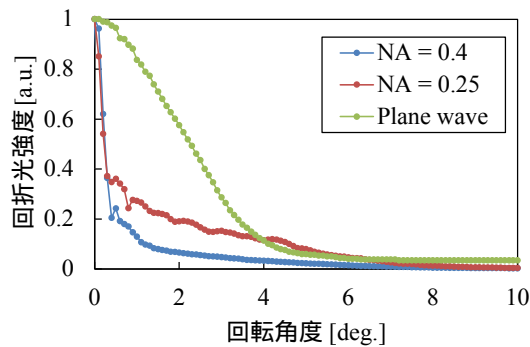


図4 回折効率の回転選択性(実験による評価)

また、シフト多重と Peristrophic 多重を組み合わせた光学系を構築し、その有効性を検証した(図5)。実験により、記録媒体を回転させることで、シフト多重記録したホログラム

を分離再生できることを実証した。本方式により、1 Tbit/in²以上の記録密度実現の目途がついたと言える。

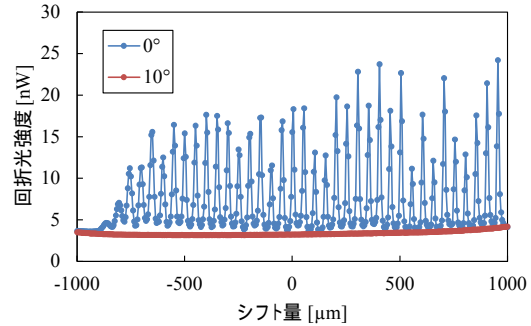


図5 Shift-Peristrophic 記録方式の評価(実験による評価)

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6件)

- [1] Shuhei Yoshida, Shuma Horiuchi, Zenta Ushiyama, and Manabu Yamamoto, "Application and evaluation of quasi-Monte Carlo method in illumination optical systems," Opt. Express 20, pp. 9692-9697, 2012. 10.1364/OE.20.009692 (査読有)
- [2] Shuma Horiuchi, Shuhei Yoshida, and Manabu Yamamoto, "Simulation of modulation transfer function using a rendering method," Opt. Express 21, pp. 7373-7383, 2013. 10.1364/OE.21.007373 (査読有)
- [3] Shuhei Yoshida, Hiroyuki Kurata, Shohei Ozawa, Kaito Okubo, Shuma Horiuchi, Zenta Ushiyama, Manabu Yamamoto, Shogo Koga, and Asato Tanaka, "High-Density Holographic Data Storage Using Three-Dimensional Shift Multiplexing with Spherical Reference Wave," Jpn. J. Appl. Phys., 52, 09LD07, 2013. 10.7567/JJAP.52.09LD07 (査読有)
- [4] Noriyuki Unno, Shuhei Yoshida, Hideaki Akamatsu, Manabu Yamamoto, Shin-ichi Satake, and Jun Taniguchi, "Three-dimensional hologram-read-only memory duplication by nanoimprint lithography," J. Vac. Sci. Technol. B, 31, 06FB01, 2013, 10.1116/1.4821654 (査読有)
- [5] Shuhei Yoshida, Takaaki Matsubara, Hiroyuki Kurata, Shuma Horiuchi, and Manabu Yamamoto, "Multi-Dimensional Shift Multiplexing Technique with Spherical Reference Waves," IEICE Trans. Electron., E96-C, pp. 1520-1524, 2013.

10.1587/transele.E96.C.1520 (査読有)

- [6] Zenta Ushiyama, Hiroyuki Kurata, Yu Tsukamoto, Shuhei Yoshida and Manabu Yamamoto, “Shift-Peristrophic Multiplexing for High Density Holographic Data Storage,” Appl. Sci., 4, pp. 148-157, 2014, 10.3390/app4020148 (査読有)

〔学会発表〕(計5件)

- [1] Shuhei Yoshida, and Manabu Yamamoto, “Numerical analysis of volume holograms with spherical reference wave based on Born approximation,” Holography: Advances and Modern Trends III, Proc. SPIE 8776, 877607, Prague, Apr. 2013.
- [2] Shuhei Yoshida, Noriyuki Unno, Hideki Akamatsu, Kai Yamada, Jun Taniguchi, Manabu Yamamoto, “Diffractive optical element for optical data storage,” Modeling Aspects in Optical Metrology IV, Proc. SPIE 8789, 87891E, Munich, May 2013.
- [3] Shuhei Yoshida, Keiko Yamamoto, Hiroyuki Kurata, Manabu Yamamoto, “Multi-dimensional Shift Multiplexing for Holographic Data Storages,” Progress In Electromagnetics Research Symposium 2013, Stockholm, Aug., 2013.
- [4] Shuhei Yoshida, Kai Yamada, Noriyuki Unno, Jun Taniguchi, Manabu Yamamoto, “Optical Data Storage Using Diffractive Optical Elements,” Progress In Electromagnetics Research Symposium 2013, Stockholm, Aug., 2013.
- [5] 吉田周平, 赤松秀紀, 山田海伊, 山田剛史, 海野徳幸, 谷口淳, 山本学, 『回折光学素子を用いたホログラフィックメモリーの検討』, 電子情報通信学会総合大会, 岐阜, 2013, 3月

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉田周平 (Yoshida Shuhe

東京理科大学・基礎工学部・助教

研究者番号: 10632606