

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420343

研究課題名(和文) 球面参照光を用いたシフト多重記録による高密度ホログラム記録

研究課題名(英文) High density holographic data storage using spherical reference wave

研究代表者

山本 学 (yamamoto, manabu)

東京理科大学・基礎工学部・教授

研究者番号：40339130

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：ホログラムメモリにおいて、球面参照光を用いた3次元クロスシフト多重記録方式を開発した。媒体平面内のシフト多重を角度10°程度でクロスさせて重ね書きする方法と媒体を5°程度チルトさせてシフト多重記録を重ね書きする方法を組み合わせることにより、フォトポリマー材料で形成された5インチディスク媒体において、データの情報量が約2TBの情報に蓄積可能であることを明らかにした。5インチディスク全面でのシンボルエラー率および信号対雑音比を測定し、特性が実用的なレベルにあることを明らかにした。データの記録速度は100Mb/sを達成している。今後さらなる大容量化に向け、振幅多値記録再生の実現を図る。

研究成果の概要(英文)：In the hologram memory, we have developed a three-dimensional cross-shift multiplex recording system using a spherical reference light. By combining the method both writing technology for the shift multiplexing in the medium plane with a cross-shift angle 10 degree and the overwriting technology for the shift multiplexing by the medium tilt angle about 5, which is formed by the photopolymer material 5 inch disk medium, the information amount of data about 2TB can be recorded in this 5 inch disk. Symbol error rate and signal to noise ratio in the entire disc surface can be in the practical level. Recording speed of data have achieved 100Mb / s. For further large-capacity in the future, the amplitude multi-level recording and reproduction will be studied.

研究分野：情報ストレージ

キーワード：ホログラフィ 記憶装置 高密度記録再生 フォトポリマー 球面参照波

1. 研究開始当初の背景

近年ビッグデータの時代に突入し、多大な蓄積情報が発生している。クラウドコンピューティングの進展とともに、Thin client 機器が多数発生し、それらから発信される莫大な情報がクラウドネットワークを通してデータセンタの記憶装置に蓄積される。データセンタでは年率40%の勢いでデータが増え続け、記憶システムのコストの増大、消費電力の増大を招く結果となっている。

2. 研究の目的

本研究は、情報の爆発ともいふべき蓄積データの増大に対処するために、大容量・低コスト・低消費電力の記憶システムを構築することが目的である。新たな記憶システムとして、ホログラフィックデータストレージシステムを採用し、実用化に向けた研究開発を行う。

3. 研究の方法

本研究では、ホログラフィックデータストレージの高密度記録再生方式として、3次元クロスシフト多重記録方式が適していることを見出している。シミュレーションにより、トレランスとして従来検討されていたコリニア記録方式あるいは角度多重記録方式に比べて、記録再生における設計の余裕度が非常に大きく安定な記録再生が可能であることを見出した。

研究では、フォトポリマー材料で作製されている5インチディスク媒体において2TB相当の記録密度が可能であること、およびディスク全面の記録再生が容易に実現できること、全面記録再生でのシンボルエラー率と信号対雑音比が実用レベルで可能であることを確認することを目標として、ディスク記録系の実験装置を作製した。

4. 研究成果

実験系の外観を図1に示す。

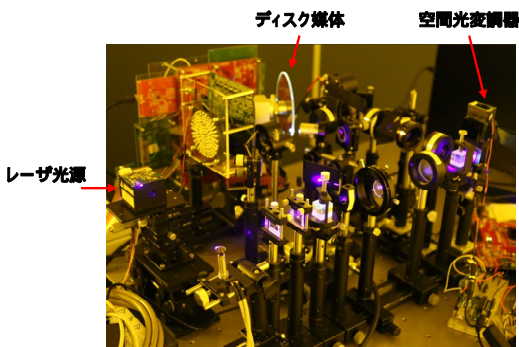


図1 実験系の外観

また、ディスク全面記録を行った場合のディスクの外観を図2に示す。特に精度が必要な制御技術を一切適用することなく、5インチディスクの全面記録が可能となっている。このことは本記録方式のトレランスの高さを表していると言える。

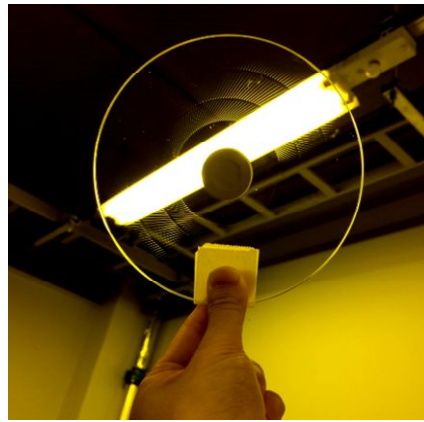


図2 ディスク全面記録の外観写真

今回のディスク全面記録では図3に示すようなディスクチルト方向のシフト多重記録を6回実施している。シフト多重は10μm単位のシフト多重記録であり、全面で約2TB相当に対応している。

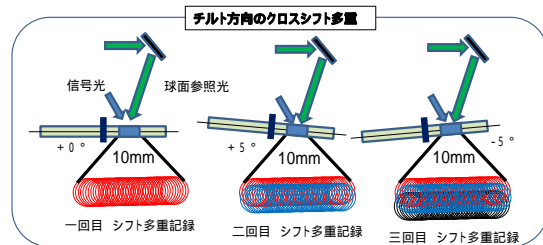
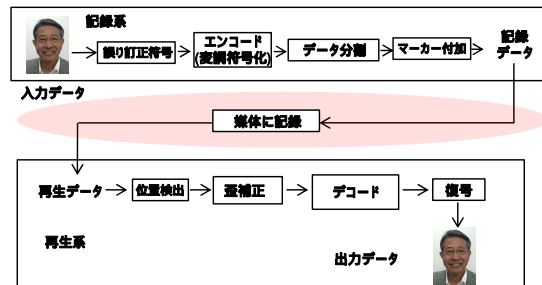


図3 ディスクチルト方向のシフト多重

一方、実験機でのデジタル画像の入出力を行うことによって、入出力機能の確認と信号対雑音比、シンボルエラー率の評価を行った。入出力における信号処理のシーケンスを図4に示す。



発生したエラービットはすべてECC符号で訂正

図4 入出力処理の信号処理シーケンス

入力画像に対し誤り訂正符号の付加、変調符号化、マーカ付加を行って記録データとする。再生された信号は、位置検出、歪補正後でコードされ復号される。

評価結果を以下の図5、図6に示す。この実

験ではホログラムのページデータが65枚程度と少ない範囲ではあるが、いずれも実用レベルを満たす結果が得られた。

図5 信号対雑音比の評価

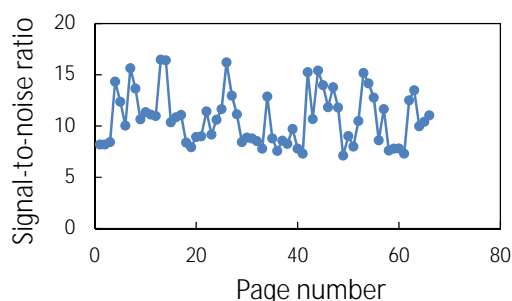
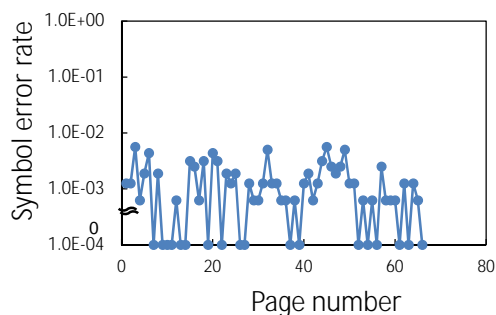


図6 シンボルエラー率の評価結果



以上のような実験結果から、ホログラフィックデータストレージにおいて、3次元クロスシフト多重記録はトレランスの高い記録方式であり、本メモリが実用化に近づく一歩となったといえる。

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 9 件)

- [1] Shuhei Yoshida, Yosuke Takahata, Shuma Horiuchi, Manabu Yamamoto, “Spatial run-length limited code for reduction of hologram size in holographic data storage,” *Opt. Commun.* 358, pp.103-107, doi:10.1016/j.optcom.2015.08.088 (2016).
- [2] Shuhei Yoshida, Yosuke Takahata, Shuma Horiuchi, Manabu Yamamoto, “Diffraction model of peristrophic multiplexing with spherical reference wave,” *J. Opt. Soc. Am. A* 32 (2), pp. 224-227, doi:10.1364/JOSAA.32.000224 (2015).
- [3] Shuhei Yoshida, Yosuke Takahata, Shuma Horiuchi, Hiroyuki Kurata, Manabu Yamamoto, “Numerical Model of Radical Photopolymerization Based on Interdiffusion,” *Int. J. Polym. Sci.* 2014 (243895), doi:10.1155/2014/243895 (2014).
- [4] Shuma Horiuchi, Shuhei Yoshida,

Manabu Yamamoto, “Numerical ray tracing method for an eccentric radial gradient-index rod lens,” *J. Opt. Soc. Am. A* 31 (10), pp. 2131-2134, doi: 10.1364/JOSAA.31.002131 (2014).

- [5] Shuma Horiuchi, Shuhei Yoshida, Manabu Yamamoto, “Fast GPU-based ray tracing in radial GRIN lenses,” *Appl. Opt.* 53 (19), pp. 4343-4348, doi:10.1364/AO.53.004343 (2014).
- [6] Zenta Ushiyama, Hiroyuki Kurata, Yu Tsukamoto, Shuhei Yoshida, Manabu Yamamoto, “Shift-Peristrophic Multiplexing for High Density Holographic Data Storage,” *Appl. Sci.* 4 (2), pp. 148-157, doi:10.3390/app4020148 (2014).
- [7] Shuhei Yoshida, Takaaki Matsubara, Hiroyuki Kurata, Shuma Horiuchi, Manabu Yamamoto, “Multi-Dimensional Shift Multiplexing Technique with Spherical Reference Waves,” *IEICE Trans. Electron.* E96-C (12), pp. 1520-1524, doi:10.1587/transele.E96.C.1520 (2013).
- [8] Shuhei Yoshida, Hiroyuki Kurata, Shohei Ozawa, Kaito Okubo, Shuma Horiuchi, Zenta Ushiyama, Manabu Yamamoto, Shogo Koga, Asato Tanaka, “High-Density Holographic Data Storage Using Three-Dimensional Shift Multiplexing with Spherical Reference Wave,” *Jpn. J. Appl. Phys.* 52 (9), 09LD07, doi:10.7567/JJAP.52.09LD07 (2013).
- [9] Shuma Horiuchi, Shuhei Yoshida, Manabu Yamamoto, “Simulation of modulation transfer function using a rendering method,” *Opt. Express* 21 (6), pp. 7373-7383, doi:10.1364/OE.21.007373 (2013).

〔学会発表〕(計 25 件)

- [1] 森淳, 石橋友理菜, 堀内秀真, 吉田周平, 山本学, 「球面参照光における反射型媒体構成」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2015 (2), p. 11 (2015).
- [2] 石橋友理菜, 森淳, 堀内秀真, 吉田周平, 山本学, 「シフト多重記録の同一トラック上重ね書き方式」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2015 (2), p. 12 (2015).
- [3] 石橋友理菜, 森淳, 堀内秀真, 吉田周平, 山本学, 「シフト多重の高密度化方法と複数トラックの並列再生」, 電子情報通信学会技術研究報告 115 (136), pp. 7-11

- (2015).
- [4] 倉田博之, 吉田周平, 山本学, 「ホログラフィックデータストレージにおける直流信号成分の除去のための位相パターン最適化」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2015 (2), S-9 (2015).
- [5] 倉田博之, 吉田周平, 山本学, 「ホログラフィックデータストレージにおける直流信号成分の除去のための位相パターン最適化」, 映像情報メディア学会技術報告 39 (9), pp. 7-11 (2015).
- [6] 吉田周平, 中村俊彦, 塚本悠, 山本学, 「ホログラフィックデータストレージにおける球面参照波を用いた Peristrophic 記録方式の理論的解析と評価」, 映像情報メディア学会技術報告 38 (50), pp. 71-77 (2014).
- [7] 篠永悠太, 荻野慧人, 海野徳幸, 吉田周平, 山本学, 谷口淳, 「8 階調ホログラム読み出し専用メモリの回折光学素子の作製」, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 2014, pp. 891-892 (2014).
- [8] 森淳, 倉田博之, 吉田周平, 牛山善太, 山本学, 「ホログラフィック・メモリ記録のためのフーリエ変換レンズの光学設計」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2014 (2), p. 14 (2014).
- [9] 塚本悠, 中村俊彦, 吉田周平, 山本学, 「球面波参照波を用いた peristrophic 記録方式の回折モデル」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2014 (2), p. 13 (2014).
- [10] 倉田博之, 齋藤玲奈, 吉田周平, 山本学, 「読み出し専用体積型ホログラフィックデータストレージの検討」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2014 (2), p. 12 (2014).
- [11] 山本桂子, 牛山善太, 吉田周平, 山本学, 「シフト・ペリastroフィック多重ホログラフィック・メモリ記録方式のための光学設計」, 応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集 2014, p. 19a-S11-5 (2014).
- [12] 塚本悠, 石原良真, 吉田周平, 山本学, 「シフト・ペリastroフィック多重ホログラフィック・メモリ記録方式の高密度多重特性」, 応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集 2014, p. 19a-S11-4 (2014).
- [13] 塚本悠, 森淳, 吉田周平, 山本学, 「球面参照波を用いた体積ホログラムの波長選択性」, 映像情報メディア学会年次大会講演予稿集 2014, p. 15-4 (2014).
- [14] 倉田博之, 五味裕秋, 吉田周平, 山本学, 「シフト・ペリastroフィック多重ホログラム多重記録数の検討」, 映像情報メディア学会年次大会講演予稿集 2014, p. 15-3 (2014).
- [15] 齋藤修一, 荒井敦志, 仲田修一郎, 吉田周平, 山本学, 「シミュレーションによるシフト-ペリastroフィック多重記録の評価」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2014 (2), p. 29 (2014).
- [16] 吉川憲吾, 吉田周平, 山本学, 「ホログラムメモリにおけるランレングス制限符号の検討」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2014 (2), p. 30 (2014).
- [17] 仲田修一郎, 荒井敦志, 吉田周平, 山本学, 「異なる記録・再生波長を用いた球面波参照光シフト多重記録シミュレーションと実験」, 電子情報通信学会技術研究報告 113 (478), pp. 1-5 (2014).
- [18] 齋藤修一, 荒井敦志, 吉田周平, 山本学, 「シフト-ペリastroフィック多重記録方式のシミュレーションおよび実験」, 電子情報通信学会技術研究報告 133 (345), pp. 15-19 (2013).
- [19] 長尾雄大, 吉田周平, 山本学, 「シフト多重とペリastroフィック多重を複合した記録方式による高密度化」, 映像情報メディア学会技術報告 37 (42), pp. 5-9 (2013).

- [20] 森淳, 倉田博之, 吉田周平, 山本学, 「球面波シフト多重と Peristrophic 多重記録を併用した記録方式の検討」, 応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集 2013, p. 18p-C13-9 (2013).
- [21] 仲田修一郎, 荒井敦志, 吉田周平, 山本学, 「球面参照波を用いた Peristrophic ホログラム記録の数値解析」, 応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集 2013, p. 18p-C13-8 (2013).
- [22] 林浩気, 荒井敦志, 吉田周平, 山本学, 「球面参照波を用いた Peristrophic ホログラム記録方式」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2013 (1), p. 197 (2013).
- [23] 大久保海斗, 齋藤修一, 吉田周平, 山本学, 「媒体厚さ方向のシフト選択性を利用したホログラムの多層記録」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2013 (1), p. 196 (2013).
- [24] 山本桂子, 倉田博之, 松原昂亮, 吉田周平, 山本学, 「多次元シフト多重方式を用いたホログラムメモリの記録再生特性」, 映像情報メディア学会技術報告 37 (26), pp. 19-22 (2013).
- [25] 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の検討」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2013 (2), p. 31 (2013).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東京理科大学基礎工学部電子応用工学科
教授
山本 学 (yamamoto manabu)

研究者番号 : 25420343