ロール型多層記録媒体を用いた大容量光メモリー

Roll-Type Optical Advanced Memory with High Recording Capacity

辻 真 俊^{†1,†2}, 居 波 渉^{†3,†4}, 川 田 善 正^{†1,†4}, 伊 藤 雅 春^{†5}

Masatoshi Tsuji^{†1,†2}, Wataru Inami^{†3,†4}, Yoshimasa Kawata^{†1,†4} and Masaharu Ito^{†5}

Abstract We propose a newly developed roll-type optical memory (RoCAM). This memory is a multilayered memory and has a cylindrical shape. It consists of a recording and transparent layers wound onto a shaft. A RoCAM has five advantages. First, the media is easily fabricated. Second, the groove structures in RoCAM are easily implemented. Third, it has parallel recording and reading. Fourth, there is stable rotation and, finally, constant linear velocity. We report these advantageous features and the one-dimensional parallel signal readout of RoCAM.

キーワード: 多層光メモリー, ロール型記録媒体, 共焦点顕微鏡

1. ま え が き

2010年に3層100GBのBlu-ray discが規格化され、光メモリーの大容量化が進んでいる。光メモリーの記録容量を1TB以上まで増加させるため、現在多くの手法が提案され研究が進められている。代表的なものには、ホログラフィックメモリー¹⁾²⁾、ソリッドイマージョンレンズ(SIL)を用いた近接場メモリー³⁾、超解像近接場構造(Super-RENS)方式⁴⁾、多層光メモリー⁵⁾などがある。

多層光メモリーは大容量化に向けた有望な手法の一つである。近年にはパイオニアの小笠原氏、TDKの菊川氏より、現存のBlu-ray discを拡張し512GBもの容量を持つ多層光メモリーが報告されている⁶⁾。そのほか表面プラ

ズモンを導入した多層光メモリーの報告もなされている⁷⁾。オーストラリアSwinburne工科大学のGu氏は、多層光メモリーに偏光多重記録、波長多重記録を導入した5次元光メモリーを提案している⁸⁾。

我々は以前より多層光メモリーの研究を行ってきた⁹⁾¹⁰⁾。多層メディアは粘着剤を用いたラミネート法により作製した¹¹⁾。この方法ではまず、記録層と粘着剤で構成したシートを準備する。その後シートを1枚ずつ基板上に積層することで多層構造を作製する。この方法の利点は、記録層、粘着剤の厚さが均一になることであるが、積層するために複数回作業工程を有する。

多層構造を容易に作製するため、ロール型メモリーを開発した。我々はこのメモリーをRoll-type optical advanced memory (RoCAM)と名付けた。この報告で我々はRoCAMについて紹介する。

2. RoCAMの特徴

図1にRoCAMの概念図を示す。RoCAMは円筒形状を持つ多層光メモリーである。RoCAMの記録は、レーザー光をRoCAMの側面から入射して行う。再生時も同様にレーザー光を側面から入射し、反射信号を検出する。検出器前方にピンホールを配置することで、共焦点顕微光学系を構成することもできる。

ロール形状にすることで大きく五つの利点が生まれる。次節からRoCAMの利点について述べる。

2.1 メディア作製が容易

RoCAMの最も大きな利点は、多層メディアの作製が容易になることである。図2にRoCAMの作製方法を示す。記録層、粘着剤で構成された1枚のシートを、芯棒となるシャフトに巻きつけるだけで多層構造を作製できる。また

2011年1月21日、マルチメディアストレージ、コンシューマエレクトロニクス研究会で発表

2011年5月26日受付、2011年9月21日採録

†1 静岡大学 工学部

(浜松市中区城北 3-5-1, TEL053-478-1069)

†2 日本学術振興会 特別研究員

(千代田区一番町 8 番地, TEL03-3263-5070)

†3 静岡大学 若手グローバル研究リーダー育成拠点

(浜松市中区城北 3-5-1, TEL053-478-1371)

†4 JST-CREST

(千代田区 三番町 5 番地, TEL03-3512-3531)

†5 リンテック株式会社 研究所 デバイス材料研究室

(埼玉県蕨市錦町 5-14-42, TEL048-430-1708)

†1 Faculty of Engineering, Shizuoka University

(3-5-1, Naka-ku, Johoku, Hamamatsu)

†2 Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

(1-8, Chiyoda-ku, Tokyo)

†3 Division of Global Research Leaders, Shizuoka University

(3-5-1, Naka-ku, Johoku, Hamamatsu)

†4 JST-CREST

(3-5, Chiyoda-ku, Tokyo)

†5 Device Materials Laboratory, Research Center, LINTEC Corporation

(5-14-42, Nishiki, Warabi, Saitama)

図 1 RoCAM の概念
Concept of RoCAM.

表 1 RoCAM とディスクメディアとの比較
Comparing with RoCAM and disc media.

		1層の面積	同じ記録容量を 満たすための層数	1 TBを実現する ための層数
RoCAM	AA	23.0cm ²	4層	160層
	AAA	14.7cm ²	6層	240層
BD		86.0cm ²	1層	40層

巻きつけ回数を変化させるだけで、記録容量の異なるメディアも作製できる。我々は RoCAM のサイズを乾電池程度に想定している。

RoCAM の 1 層あたりの記録容量を、ディスクメディアの場合と比較する。表 1 は、RoCAM を単 3 乾電池サイズと単 4 乾電池サイズとして仮定した場合の、ディスクとの記録容量の比較である。表 1 では、単 3 乾電池を AA、単 4 乾電池を AAA と表記した。RoCAM が AA と同サイズの場合、メディアの直径は 14.5 mm、長さは 50.5 mm となる。同様に AAA の場合では、直径 10.5 mm、長さは 44.5 mm となる。上記の値から AA の表面積は 23 cm²、AAA では 14.7 cm² となる。ディスクメディアの場合、記録層の面積は 86 cm² である。よって AA サイズの RoCAM の場合、4 層のメディアを作製するとディスク 1 枚分と同じ記録容量が得られる。同様に AAA の場合では 6 層となる。

記録容量 1 TB を実現するには、Blu-ray disc では 40 層、AA は 160 層、AAA は 240 層となる。160 層の RoCAM を記録層厚さ 1 μm、記録層間隔 5 μm で作製すると、厚さが 0.8 mm にしかない。ロール形状の記録媒体のほとんどが芯であり、その表面 1 mm 弱だけが記録領域となる。

2.2 グループの転写が容易

ディスク形状の多層光メモリーは、各層の厚さが数 μm と薄い。そのためディスク形状の多層光メモリーでは、スタンプを用いてグループを転写することが困難となる。

図 2 RoCAM の作製方法
Fabrication procedure of RoCAM.

図 3 RoCAM のグループ転写方法
Imprint of groove structure in RoCAM.

RoCAM の場合、多層構造を作製すると同時にグループを転写できる。図 3 に RoCAM のグループ転写方法を示す。RoCAM は 1 枚のシートで多層構造を作製しているため、シャフトに巻きつける途中に円筒形状のスタンプを用いて転写できる。この技術は、ROM を作製への応用も期待できる。

2.3 並列記録や並列再生が可能

RoCAM は 1 次元並列記録・再生が可能である。図 4 に 1 次元並列記録、並列再生の光学系を示す。1 次元並列記録と再生は、レーザー光をライン状に変換し、シリンドリカルレンズを用いてライン状にメディア内に集光することで実現できる。再生時には、1 次元 CCD カメラを用いて複数の信号を一度に検出する。そのため現存の光ディスクより転送レートを大幅に向上させることができる。1 次元 CCD カメラ前方にはスリットを配置する。メディア内集光位置と 1 次元 CCD カメラ上集光位置が共役な関係となるため、ライン状共焦点顕微光学系となり、本システムは光軸分解能を有している。

2.4 回転の安定性

RoCAM は回転時の面ブレが小さいことが挙げられる。既存のディスクは中心を支持され回転している。回転時にディスクの淵は大きく振動するため、データを読み出すためにフォーカサーボ技術が採用されている。一方 RoCAM ではシャフトを双方向から支持する。そのため既存のディ

図 4 RoCAM の 1 次元並列記録, 並列再生
One-dimensional parallel recording and reading of RoCAM.

スクと比較して、メディアの面ブレを低減させることができる。

2.5 同じ回転速度で線速度が一定

RoCAM は線速度が一定となる。既存のディスクではデータの再生時に、ディスク中心から外周部へ読み出していくにつれて回転速度を変化させている。この理由は、ディスクの内外で同一線速度にし、データ転送速度を一定にするためである。一方 RoCAM では、シャフトからメディア表面に向かって記録・再生を行う場合、回転速度を変化させる必要がほとんどない。これは、RoCAM は多層に積層した場合でもメディア直径がほとんど変化しないためである。よって RoCAM の回転速度の制御は、ディスクのものと比較して容易になる。

3. RoCAM の 1 次元並列再生

既存のスタンプを用いてグルーブを転写した RoCAM の、静的な 1 次元並列再生の検証を行った。図 5 に 1 次元並列再生のための光学系を示す。再生光源には波長 633 nm のヘリウムネオンレーザーを使用した。ビームはシリンドリカルレンズを用いてライン状に変換した。ライン状ビームは対物レンズの瞳面に集光した。対物レンズ後は、X 軸方向にはライン状に RoCAM に照射し、Y 軸方向には集光される。RoCAM からの反射光は、ビームスプリッタで分岐され、1 次元 CCD カメラに結像させた。本手法では、RoCAM からの多くの回折光は対物レンズで取り込まれ、画像として 1 次元 CCD カメラで検出される。スリットは 1 次元 CCD カメラ前方に配置した。RoCAM の集光位置とスリット位置が共役な関係になるため、本光学系はライン状共焦点顕微光学系となる。使用した対物レンズは開口数 (NA) 1.3 の油浸対物レンズ、スリット幅は 30 μm であった。

1 次元並列再生を行うため、グルーブを持つ RoCAM を作製した。図 6 は作製した RoCAM の構成を示す。グルーブは DVD の円形のスタンプを用いて、紫外線硬化フィルムと粘着剤の界面に転写した。その後グルーブを持つ UV

図 5 RoCAM の 1 次元並列再生光学系
Optical setup for one-dimensional parallel readout of RoCAM.

図 6 グルーブを持つ RoCAM の構成
Composition of groove-structured RoCAM.

硬化フィルムは、1 枚の長方形のシートとして切り出され、シャフトに巻きつけ多層構造を作製した。今回層数 3 層の RoCAM を作製した。紫外線硬化フィルムと粘着剤の厚さはそれぞれ 25 μm , 10 μm , 屈折率はそれぞれ 1.51, 1.47 であった。

グルーブが UV 硬化フィルム上に転写されているか確認するため、共焦点顕微鏡を用いて層界面を観察した。図 7 はグルーブを転写した界面の共焦点顕微鏡画像である。挿入図は四角部の拡大図である。図 7 より、垂直方向にグルーブが転写されていることがわかる。このことから RoCAM の層界面にグルーブを転写できていることを確認できた。

図 8 はグルーブを持つ RoCAM の多層再生結果を示している。図 8(a) は 1 層目界面からの信号、図 8(b) は 2 層目界面からの信号、図 8(c) は 3 層目界面からの信号である。ライン状にビームを照射することで、複数の信号を一度に検出できた。一度に検出できる信号は図 8(b) より 11 あり、

図 7 グループを持つ層界面の共焦点顕微鏡像：挿入図、白線内部の拡大図

Confocal microscopy image of groove-structured layer interface: Inset, magnified image at white square.

RoCAM のデータ転送速度は従来のものと比較して 11 倍向上させることができると言える。図 8(a)-(c) で信号の周期が異なるのは、円形状のスタンプを用いたことが起因している。グループは円形状のスタンプを用いて転写することで、シャフトの軸に対し斜め方向に存在する箇所もあり、その結果、信号周期が変化している要因となる。

図 9 は、1 層界面より 25 μm 内部からの信号である。図 9 から、グループを転写していない部分からは信号は検出されなかった。つまり、図 8 で示したグループからの信号にはクロストークがなく、各層分離して信号検出がなされたと言える。図 8(c) の信号と図 9 の信号を比較すると、本メモリの信号雑音比 (SNR) は 13 dB となった。また、図 8(c) の信号の揺らぎをノイズとして扱うと、SNR は 8 dB となった。

4. む す び

我々は、新しい多層光メモリである RoCAM を提案した。RoCAM は大きく五つの利点を持ち、それはメディア作製が容易、グループの転写が容易、並列な記録・再生が可能、回転の安定性、同じ回転速度で線速度が一定である点が挙げられる。

RoCAM の 1 次元並列再生を行った。1 次元並列再生を行うため、グループを持つ 3 層 RoCAM を作製した。1 次元並列再生を行った結果、11 のピークを一度に取得できた。このことから、RoCAM のデータ伝送レートを従来のシステムと比較して 11 倍向上させることができる。また、各層クロストークなく信号を検出でき、本メモリの SNR は 13 dB であった。

本研究はメディアを回転させない静的な状態で 1 次元並列再生を行った。そこで今後は動的な状態での 1 次元並列再生を行う。それに伴い、各種サーボ技術を考案する。

(文 献)

- 1) L. Dhar, A. Hale, H. E. Katz, M. L. Schilling, M. G. Schnoes, and F. C. Schilling: "Recording Media that Exhibit High Dynamic Range for Digital Holographic Data Storage", Opt. Lett., **24**, pp.

図 8 RoCAM の 1 次元並列再生結果：(a) 1 層界面からの信号、(b) 2 層界面からの信号、(c) 3 層界面からの信号

One-dimensional parallel readout results of groove-structured RoCAM: (a) signals from first layer interface, (b) signals from second layer interface, (c) signals from third layer interface.

図 9 グループが転写されていない部分からの信号
Signals from medium without grooves.

- 487-489 (1999)
- 2) H. Horimai, X. Tan, and J. Li: "Collinear Holography," Appl. Opt., **44**, pp. 2575-2579 (2005)
- 3) M. Shinoda, K. Saito, T. Ishimoto, T. Ito, A. Nakaoki, M. Yamamoto, O. Maeda, T. Hashizu, T. Asano, K. Takagi, and M.

- Tazoe: "High Density Near-Field Optical Disc System", Jpn. J. Appl. Phys., **45**, pp. 1321-1324, (2006)
- 4) J. Tominaga, H. Fuji, A. Sato, T. Nakano, T. Fukaya, and N. Atoda: "The Near-Field Super-Resolution Properties of an Antimony Thin Film", Jpn. J. Appl. Phys., **37**, pp.L1323-L1325 (1998)
  - 5) S. Kawata and Y. Kawata: "Three-Dimensional Optical Data Storage Using Photochromic Materials", Chem. Rev., **100**, pp. 1777-1788 (2000)
  - 6) M. Ogasawara, K. Takahashi, M. Nakano, M. Inoue, A. Kosuda, and T. Kikukawa: "16 Layers Write Once Disc with a Separated Guide Layer", Technical digest of ISOM '10, pp. 224-225 (2010)
  - 7) T. Takuo: "Plasmon Enhanced Three-Dimensional Multi-Layer Optical Disk", Technical digest of ISOM '10, pp. 28-29 (2010)
  - 8) P. Zijlstra, J. W. M. Chon, and M. Gu: "Five-Dimensional Optical Recording Mediated by Surface Plasmons in Gold Nanorods", nature, **459**, pp. 410-413 (2009)
  - 9) M. Nakano, T. Kooriya, T. Kuragaito, C. Egami, Y. Kawata, M. Tsuchimori, and O. Watanabe: "Three-Dimensional Patterned Media for Ultrahigh-Density Optical Memory", Appl. Phys. Lett., **85**, pp. 176-178 (2004)
  - 10) M. Tsuji, W. Inami, and Y. Kawata: "Alignment-Free Fiber Confocal Microscope and All-Fiber Optical System for Multilayered Optical Memories", Jpn. J. Appl. Lett., **49**, pp. 08KF03 (2010)
  - 11) M. Miyamoto, M. Nakano, M. Nakabayashi, S. Miyata, and Y. Kawata: "Fabrication of Multilayered Photochromic Memory Media Using Pressure-Sensitive Adhesives", Appl. Opt., **45**, pp. 8424-8427 (2006)

辻 真俊 2007 年, 静岡大学工学部機械工学科卒業, 2010 年, 日本学術振興会特別研究員 (DC2), 2011 年, 静岡大学創造科学技術大学院博士後期課程修了, 2011 年, 日本学術振興会特別研究員 (PD), 博士 (工学), 主として高密度光メモリー, ファイバーレーザー, 顕微光学, 非線形光学に関する研究に従事。

居波 渉 2000 年, 日本学術振興会特別研究員 (DC1), 2003 年, 静岡大学大学院理工学研究科博士後期課程システム科学専攻修了, 2003 年, 日本電子株式会社入社, 2004 年, 東北大学多元物質科学研究所研究員, 2009 年, 静岡大学若手グローバル研究リーダー育成拠点特任助教, 工学博士。

川田 善正 1991 年, 日本学術振興会特別研究員 (DC2), 1992 年, 大阪大学大学院博士後期課程応用物理学専攻修了, 1992 年, 大阪大学工学部応用物理学科助手, 1995 年, AT&T Bell 研究所, 1997 年, 静岡大学工学部機械工学科助教授, 2005 年, 同教授, 工学博士。

伊藤 雅春 2005 年, 大阪大学大学院工学研究科物質生命工学専攻修了, 2005 年, リンテック株式会社入社, 光学薄膜, 半導体加工用粘着テープの研究開発に従事, 2007 年 4 月より, デバイス材料研究室へと移動し, 光記録媒体の研究開発に従事。