
空気安定化したフレキシブルディスクへの高密度光記録

High Density Recording on an Air Stabilized Flexible Optical Disk

小名木 伸晃* 阿萬 康知* 村田 省蔵* 内田 圭亮**
Nobuaki ONAGI Yasutomo AMAN Syozou MURATA Keisuke UCHIDA

要 旨

光ディスクの大容量化には、光ピックアップの対物レンズ高NA化が必要であるが、極めて高い光の集束フォーカス精度が必要になる。そのため、ディスクの面ぶれが極めて小さいことが要求される。本研究では、ディスクの剛性を小さくし、空気安定化を用いて5 μ mの面ぶれを実現した。さらに薄いフィルムへの記録膜の形成を張力付与スパッタ法によって実現し、フィルムによる記録可能ディスクを製作した。これらにより、 λ 405nm NA0.85のピックアップでフレキシブルディスクへの記録再生に成功した。

ABSTRACT

A flexible disk system was developed. It has an air stabilizer near disk surface.

The key feature of the system is an extremely small axial-runout that has been reduced by several microns as a result of the aerodynamic effect of the stabilizer.

The recordable flexible disk could be made by the tension sputtering method. As there are both of stabilizing disk and tension sputtering to flexible film, the optical pickup having λ 405nm NA0.85 could record and play this flexible optical disk.

* 研究開発本部 生産技術研究所

Manufacturing Technology R&D Center, Research and Development Group

** 研究開発本部 環境技術研究所

Environmental Technology R&D Center, Research and Development Group

1. はじめに.

光ディスクの面記録密度を向上し、容量と転送速度を上げることは重要な課題である。過去さまざまなアプローチが取られてきた。光を絞るための短波長化、高NA化¹⁾、高NAゆへの取差問題などを避けるための薄型カバー¹⁾層の採用、そして効率をあげるための信号変調方式^{2), 3)}、また高精度なサーボ方式⁴⁾、記録膜自体に超解像作用⁵⁾や増幅作用^{6), 7)}を持たせる方式などである。

我々は高密度記録のためには青色レーザと高NA対物レンズの使用は必須と考えた。しかし高NAにすると、レンズとディスクの距離が近くなり衝突しやすくなる。またフォーカスの合う範囲が狭くなる問題がある⁸⁾。現在ではNAが0.85と大きいディスクとレンズの距離を0.5mm以上取れるレンズが発表されているが⁹⁾、デフォーカスマージンが狭い点は変わりがない。このため、20GBクラスのディスクを実現するために面ぶれの少ない高精度なディスクと高精度なサーボを用いる必要がある。高NAを避けてこの問題を回避する場合は信号処理にて多値判定などを用いる必要があり¹⁰⁾、ディスクには2値記録に比べて高いS/Nが要求される。機械的に高精度なディスクや高S/Nなディスクを得ることは、製造しやすさの観点からは相反すると思われる。我々は、別の方法を導入してこの問題を解決することを試みた¹¹⁾。高剛性基板をやめ、やわらかいディスクを空気力で上下動を抑圧する。光ディスクは記録再生をする狭い領域のみ面ぶれが小さければよいはずである。今回、フレキシブルディスクを空気安定化できることを示す。本稿では、最初にやわらかいフィルムを空気安定化することで低面ぶれが実現できることを示す。また、記録再生のためには基板へプリフォーマットおよび記録膜の形成が必要であるので、これらのプロセスについて説明する。やわらかい薄型のフィルムへの溝形成や記録膜形成は従来の光ディスクでは例が無く、新たに開発する必要があった。

2. フレキシブルディスクの空気安定化.

2-1 基本構成

Fig.1に本システムの概略図を示す。

剛体基板で精度を出すのをやめて柔らかなディスクとスタビライザを用い、空気力でディスクの上下動を小さくする。

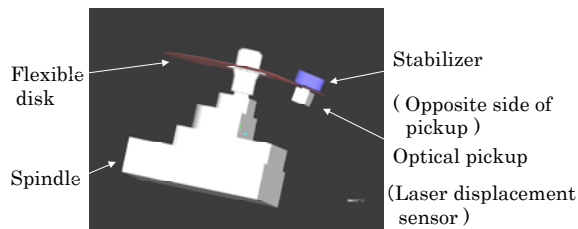


Fig.1 Flexible disk system.

Fig.2はスタビライザとピックアップの配置を示す。ディスクを挟んでピックアップの反対側にスタビライザを配置した。また、記録膜に直接光を入射する表面記録型の構成にした。これはスタビライザとディスクが摺動して傷がついても記録膜は損傷せず、データエラーが発生しないことを意図したためである。Fig.2に示すスタビライザは直径20mmのステンレス製の棒状で先端は半径50mmの球面である。スタビライザの効果を実験により検討した。

面ぶれの計測は、ピックアップではなく、3点測定の原理で距離を測るレーザ変位計を設置し、(キーエンス社製 LC-2420) ディスク面ぶれを測定した。

Fig.1の実験系において、レーザ変位計を水平面内で可動とし、ディスク面ぶれの水平面内の分布を測定できるようにした。

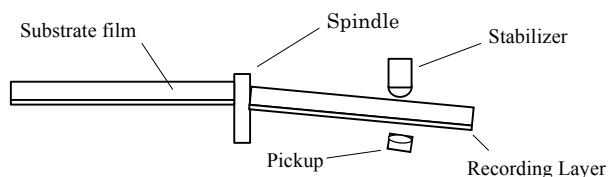


Fig.2 Set-up of air stabilizer and pick up.

ディスク構成は100 μ mの厚さのポリカーボネートフィルムに銀を200nmスパッタで成膜したものである。ディスクの直径は120mm、中心には直径15mmのチャック用の丸穴がある。

2-2 空気安定化による面ぶれ低減

スタビライザの効果を実験により検討した。

実際にディスクを回転させて、スタビライザを近接させたところ、面ぶれの小さい領域が出現した。しかし、その領域はFig.3に示すようにスタビライザの中心からずれたところに形成された。この図では、面ぶれが $10\mu\text{m}$ 未満の部分「安定領域」と図示したが、この位置はディスクの半径位置などが変わるとずれることがわかった。

これをスタビライザ中心にもってくるためにスタビライザの先端を中心として傾ける操作を行った。Fig.4に示すように、記録トラックに添う方向であるタンジェンシャル方向、そしてディスクの半径方向であるラジアル方向の両方向の調整が必要であった。なお、正負の定義は図中に示した。さらにディスクの半径方向が異なるとスタビライザを大きくディスク側に押し込む必要もあった。ディスクに対し、面ぶれを最小にするスタビライザの押し込み深さをFig.5に示す。この場合、深さ 0mm とする基準はディスク内周部のクランプ領域の光入射面である。この時、スタビライザ中心が面ぶれ最小になるようにスタビライザの傾きを調整した。スタビライザの位置が負であるのは、Fig.2に示すようにスタビライザがディスクのチャック位置より下に位置していることを示す。

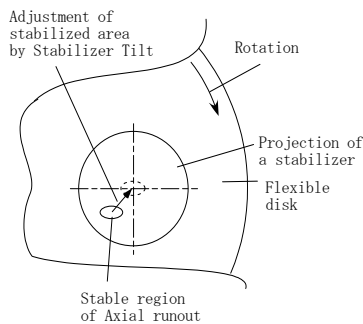


Fig.3 A shift of a stable domain.

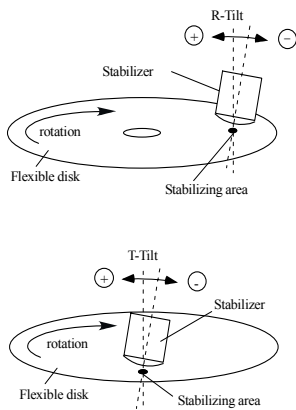


Fig.4 Tilt adjustment of stabilizer.

ディスク半径位置ごとにスタビライザ中心の面ぶれが最小となるように調整した結果をFig.6に示す。

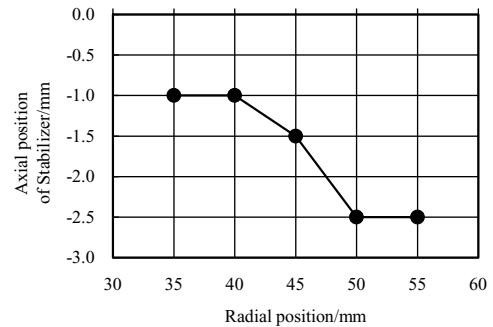


Fig.5 Optimum pushing height of stabilizer.

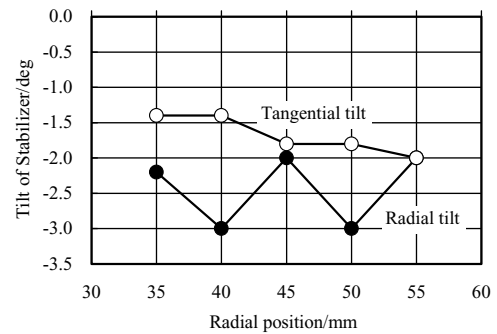


Fig.6 Optimum tilt of stabilizer.

スタビライザの傾きは、タンジェンシャルでは $1^\circ \sim 2^\circ$ 、ラジアルでも $2^\circ \sim 3^\circ$ の調整が必要であった。ドライブ機構の観点からは、スタビライザの上下、チルト2軸の合計3要素の制御が必要であり、やや構成が複雑になっている。

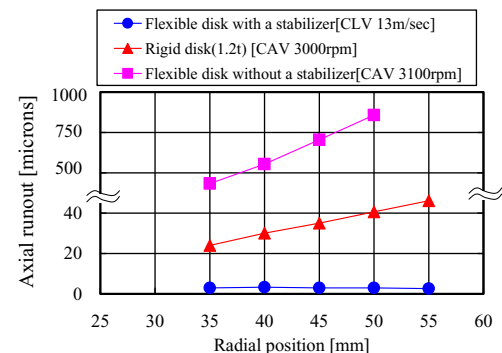


Fig.7 Axial runout with/without air stabilizer.

チルト調整を行った後のスタビライザ中心直下でのディ

スク面ぶれをFig.7に示した。比較のために、通常のコンパクトディスク（CD）及び、このフレキシブルディスクをスタビライザなしで回転させたときの面ぶれも示した。フレキシブルディスクは線速度13m/sで評価した。CDは外周端では50μm以上面ぶれしていた。またフレキシブルディスクはスタビライザなしでは数100μm以上の面ぶれが生じており、このままではピックアップでサーボをかけるのは不可能であった。それに対してフレキシブルディスクにスタビライザを近接した場合は、半径35mmから55mmまで面ぶれは5μm以下となっていた。ディスクのスタビライザが近接する側はポリカーボネートが露出する面であるが、実験中傷がつくことはなく、問題となるような摺動はなかった。

2-3 流れ場の解析

回転するディスクと近接する位置に固定されたスタビライザの間の現象を調べること、スタビライザ形状の検討のため、計算機シミュレーションを行った。スタビライザ形状や、ディスクとスタビライザ間のギャップ長の変化と圧力場の変化を調べる。回転するディスクがスタビライザから受ける流体力学的な圧力場を、有限体積法（Finite Volume Method）によるシミュレーションで解析した。ソフトウェアはFLUENT社製FLUENT ver6.1を使用した。Fig.8に解析に使用したモデルを示す。

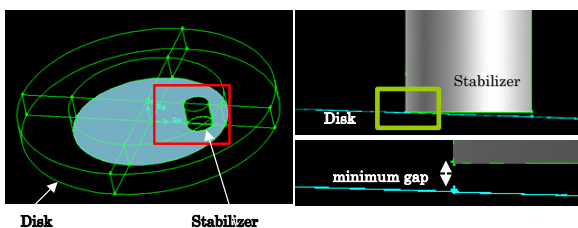


Fig.8 Simulation modeling.

<シミュレーションモデル>

非圧縮性流体モデルの以下の2式を計算に用いた。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (2)$$

ρ :density

i, j :direction

u_i :velocity in the i direction

u_j :velocity in the j direction

x_i :coodination in the i direction

x_j :coodination in the j direction

t :time

μ :viscosity

p :pressure

(1) 式は質量保存の法則

(2) 式は、Navier-Stokesの式。

・乱流モデル: $k-\epsilon$ method

・メッシュ数: 2,000,000

・メッシュ形状: 六面体

<シミュレーション条件>

・ディスク直径: 120mm

・ディスク回転数: 2500rpm

・スタビライザ形状: 円柱(半径=10mm)

本来ディスクは可撓性を有するため、流体から受ける力によって形状は複雑に変形し、流れ場もこれにあわせて変化する。今回の解析ではこのディスク形状は実験から得られた安定状態のディスク形状データを用いてシミュレーションを行った。したがって、変化量は無視できると仮定した。

スタビライザ周囲の流れ場を、スタビライザ表面からのパスライン表示でFig.9に示す。

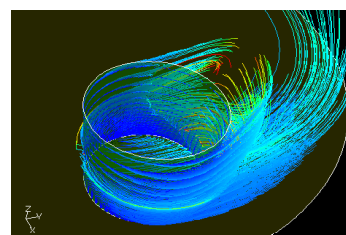


Fig.9 Air flow simulation around stabilizer.

パスラインとは質量ゼロの仮想粒子が描く軌跡のことである。スタビライザ表面に添って滑らかに気流が生じている。

Fig.10にはスタビライザの下面形状とギャップ長を変化させた場合の、ディスクが受ける圧力場を示す。

スタビライザの下面形状は、平面とR100mmの球の2種類、

ギャップ長は10 μ mと100 μ mの場合である。スタビライザはディスクに垂直に近接させた。

これらの解析結果は以下のようなことを示した。

- ① ディスクが受ける圧力場は大気圧に対して正・負の極大値が隣接して存在する特徴をもつ。
- ② ディスクが受ける圧力の絶対値はギャップ長に依存する。

ギャップ長が小さいほど圧力の絶対値は大きい。

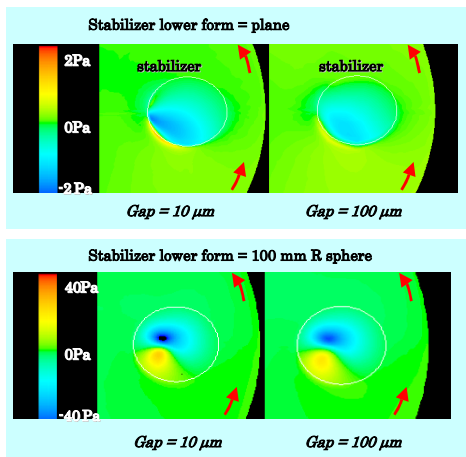


Fig.10 Influence of stabilizer form and gap on a pressure field.

- ③ ディスクが受ける圧力の極小点極大点の位置は最近接ギャップの周辺に発生する。スタビライザのチルトはゼロで計算しているので、Fig.3で示すようにスタビライザ中心より近接点はややずれた位置に形成される。Fig.10でも同じ傾向が存在している。

これはスタビライザの下面形状に大きく依存する。

この結果から、発生圧力の大きな、先端形状が凸のスタビライザを用いた。

3. 記録再生用フィルムディスク.

ディスクに記録再生するためにプリグループを形成し、記録膜を成膜した。ディスクの断面構造をFig.11に示す。

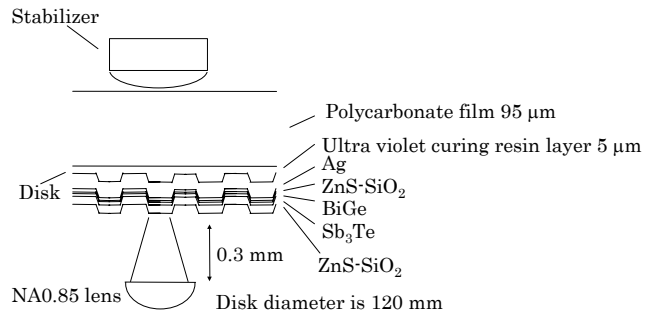


Fig.11 Disk structure.

3-1 フィルムへのプリフォーマット

トラックピッチ0.6 μ m, グループ幅0.3 μ m, 深さ35nmのスタンプを用い、紫外線硬化樹脂を用いてポリカーボネートフィルムにプリグループを形成した。Fig.11で示すようにポリカーボネートフィルムの厚さは95 μ m, 紫外線硬化樹脂の転写層の厚さは5 μ mである。

3-2 記録膜設計

今回、フィルムディスク用として初期化不要型¹²⁾の記録膜を用いた。

今回のディスクはフレキシブル基板であって従来の初期化装置での初期化が困難であったのでスパッタリング直後から記録層が結晶であるように設計した。

このディスクは表面記録型なので、Fig.11に示すように基板上に反射膜、誘電体保護膜、記録膜、誘電体保護膜の順に形成した。相変化記録層としては、DVD+RWなどで用いられている共晶系カルコゲナイド材料を用いた。この材料の基本骨格はSb₃Teである¹³⁾。これと類似の結晶構造をもち、成膜直後に最初から結晶である材料としてBiGe¹²⁾を選択した。その他の層は青色波長での光の閉じ込め、相変化記録層からの放熱などの要素を考慮して標準的なものとした。

膜構成は次のとおりである。

フィルム / Ag 120nm / ZnS-SiO₂ 10nm /
BiGe 1. 5nm / Sb₃Te 11. 5nm / ZnS-SiO₂ 45nm

3-3 記録膜形成方法

今回の実験ではアネルバ製インラインスパッタリング装置ILC-3105を用い、成膜基板を自公転させるパレットに取り付けて成膜を行った。自公転させながらの成膜は、間欠的

なスパッタリングとなり、基板への熱負荷は比較的小さい。しかし、薄いフィルムは剛性が低く、また熱容量が小さいために問題が生じる恐れがある。Fig.12に光ディスク成膜時のディスク基板を示す。

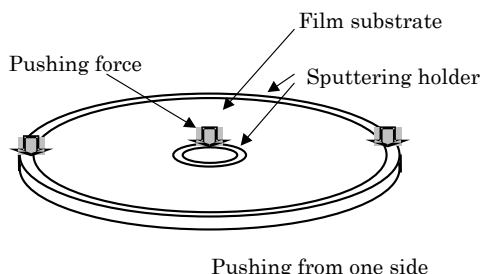


Fig.12 Substrate holding method in conventional sputtering.



Fig.13 Sputtered film disk using conventional holder.

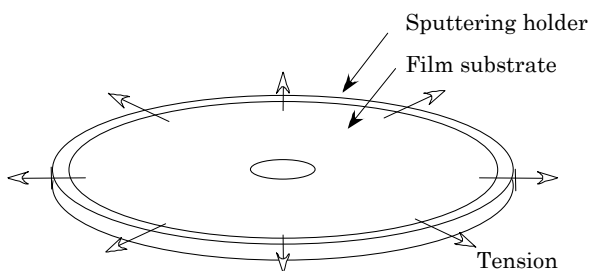


Fig.14 Substrate holding method used in this work.



Fig.15 Sputtered film disk using new holder.

内周端と外周端を上からホルダーのほうに押さえ込む通常の保持形式である。この基板ホルダーにて、紫外線硬化樹脂のみで形成された100 μ m厚さのディスクに相変化記録層をスパッタリングした。その結果Fig.13で示すように、ディスクにはスタビライザで抑圧できない大きなうねりが発生し

た。そこで、成膜時のフィルム基板の保持方法をFig.14で示すように変え、ディスクの内周から外周にかけて引張力が作用するようにフィルムのホルダーを改良した。このホルダーで成膜した結果がFig.15である。

うねりは発生しておらず、この方法は極めて効果的であった。なお、この実験は紫外線硬化樹脂のみの単層ディスクである。この樹脂のガラス転移点は75 $^{\circ}$ Cである。記録再生に用いたポリカーボネートディスクのガラス転移点は150 $^{\circ}$ Cであり、さらに耐熱性は高い。したがって張力付与する本方式はポリカーボネートフィルムを用いる場合でも有効であると考えられる。

3-4 空気安定化された記録再生用ディスク

Fig.3に示す評価装置を用い、実際のプリグループ、相変化記録膜が形成された記録再生用ディスクに対して空気安定化を行って面ぶれを調べた。スタビライザの高さ方向の位置と傾きは、それぞれの条件で最適化した。結果をFig.16に示す。線速度5.7m/s から21m/sまで面ぶれは5 μ m未満であった。

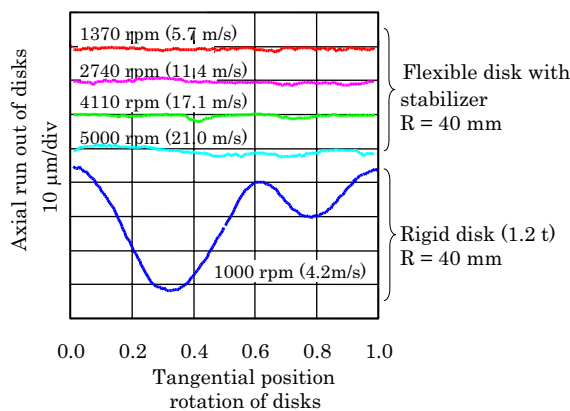


Fig.16 Axial runout of flexible disk with air stabilizer.

4. 記録再生.

シバソク製LM330Aに空気安定化のためにスタビライザを取り付け、記録再生を行った。ピックアップは、表面記録仕様で波長405nm NA0.85である。外観をFig.17に示す。

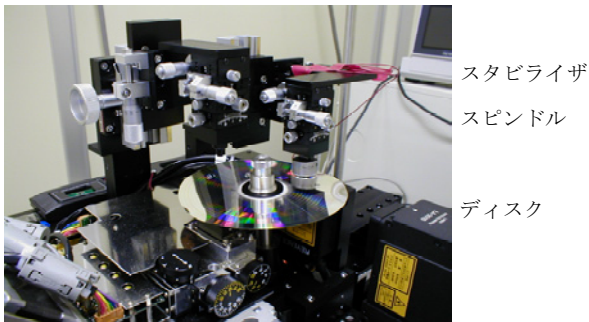


Fig.17 Disk tester with air stabilizer.

取り付けたスタビライザは2-3で最適と判断した，直径20mm先端が曲率半径50mmのものである．線速度6.5m/sにて線密度0.13 $\mu\text{m/bit}$ の1-7変調されたランダムデータを記録再生した．記録ピークパワー4mW，記録ボトムパワー2mW，再生パワー0.25mWである．Fig.20にトラッキング信号とRFエンベロープを示す．

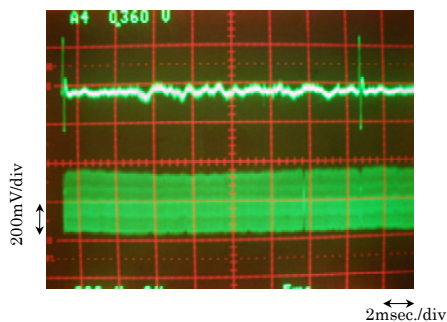


Fig.18 Tracking error signal (above) and RF signal(below).

トラックジャンプ2回出ており，この図ではほぼ1周が示されている．RFには大きな乱れはなく，1周にわたり安定してサーボがかかっていることがわかる．Fig.19にはRF信号を拡大して示す．(RFアイパターン)良好な信号が得られていることがわかる．

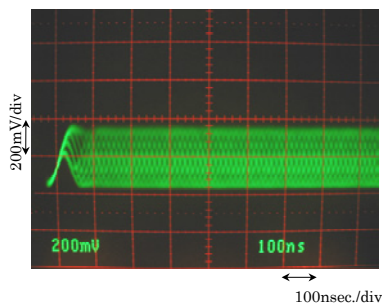


Fig.19 RF signal (Eye pattern).

5. まとめ.

フレキシブルディスクとスタビライザの組み合わせによって5 μm 未満のディスク面ぶれを実現した．また，熱容量の小さなフィルム上にプリグループと青色用記録膜を形成した．この記録型フレキシブルディスクに空気安定化を適用し，青色，高NAピックアップで高密度記録再生が可能であることを実証した．表面記録なので基板の光学特性は無関係であって多くのフィルム材料が適用できる．またピックアップ対物レンズの高NA化に対して，極めて平坦な高剛性ディスクが必ずしも必要ではないことを実証できた．

本技術は，大容量かつ軽量，そして低コストなディスクシステムの可能性を開くものと考えている．

謝辞.

本研究にあたり，装置の改造で便宜をはかっていただいた株式会社シバソクの皆様に感謝いたします．

参考文献

- 1) K.Osato, et al. : "A rewritable optical disk system with over 10GB of capacity", Proc. SPIE 3401 (1998), pp.80-86.
- 2) C.Berrou, A.Glavieux and P.Thitimajshima : Proc.ICC'93 (1993), pp.1064-1070.
- 3) L.McPheters and S.W.McLaughlin : Proc, ISOM/ODS'99 SPIE 3864 (1999), pp.342-343.
- 4) K.Takahashi, et al. : Tech.Dig.ISOM (2001), pp.16-17.
- 5) M.Kaneko, K.Aratani and M.Ohta : "Multilayered Magneto-Optical Disks for Magnetically Induced Superresolution", Jpn.J.Appl.Phys.31 (1992), pp.568-575.
- 6) N.Takagi, et al. : ibid. (1998), pp.43-46.
- 7) T.Shiratori, E.Fujii, Y.Miyaoka and Y.Hozumi : ibid. (1998), pp.47-50.
- 8) 小川博司 : "HD対応大容量光ディスクシステムの概要", 日本記録メディア工業会講演会 "光ディスクの今後の可能性", 予稿集 (2001), pp.1-20.
- 9) M.Itonaga, F.Ito, E.Tanaka, and T.Tomita: "Investigation of the General Design Principle of a Single Lens and the Development of a New NA=0.85 Single Lens", Jpn.J.Appl.Phys. 42 (2003), p.875-

879.

- 10) M.O'Neill and T.L.Wong:Tech.Dig.ODS (2000), pp.170-171
- 11) N.Onagi , Y.Aman , S.Murata and K.Uchida:" High Density Recording on Air Stabilized Flexible Optical Disk", Tech.Dig.ISOM (2003) , pp.96-97.
- 12) 花岡克成, その他 : 応用物理学会学術講演会 平成14年度春季 29a-ZH-3 予稿第3分冊 (2002年), pp.1154.
- 13) H.Tashiro,et al. : "Structural Analysis of Ag-In-Sb-Te Phase-Change Material", Jpn.J.Appl.Phys.41 (2002), pp.3758-3759.