
偏光縦スリットを用いた多層ディスク読み出し技術

Novel Read-out Technology for Multi-layer Optical Disc using Polarization Longitudinal Device

小形 哲也*

Tetsuya OGATA

大内田 茂*

Shigeru OHUCHIDA

北林 淳一*

Junichi KITABAYASHI

萩谷 利道**

Toshimitsu HAGIYA

横井 研哉*

Kenya YOKOI

要 旨

大容量多層ディスクの読み出し技術を開発した。多層ディスクの任意の記録層から情報を読み出す場合、読み出し層以外の記録層で反射した迷光が層間クロストークと呼ばれるノイズになる。層間クロストークは、信号光を集光しその集光点にピンホールを配置することで低減できるが、信号光量の低下、ピンホールの配置精度や、光学系の大型化などの欠点がある。そこで我々は、信号光と迷光の集光点のずれを利用して偏光操作を行い、信号光のみを抽出する偏光縦スリットを開発し、ピンホール光学系の課題を克服した。そして、大きな層間クロストークが発生する中間層厚の薄いHD DVD-ROM 2層ディスクを使って、偏光縦スリットによる信号特性の改善を実機で確認した。

ABSTRACT

New readout technology of the multi-layer optical disc was developed. When a multi-layer disc is read by a normal optical system, the signal light that reflects at the read-out layer contains stray light from the adjacent recording layers, which is called layer cross-talk (LCT). It is impossible to reduce the LCT by using a pinhole at focus spot. But this system has some problems which are decrease of signal light, a large size of optical pass, and decrease of tolerance for a device shift. Then we developed the new optical system which called "Longitudinal Slit". It uses the segmented polarization device, and changes signal light and stray light into a different polarized state. As a results, this system can detect signal light without the LCT. Using this technology, we confirmed improvement of the signal performance using HD DVD dual layer disc which has a thin spacer layer thickness.

* 研究開発本部 先端技術研究所

Advanced Technology R&D Center, Research and Development Group

** 研究開発本部 実用化開発センター

Advanced Prototyping Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

1-1 層間クロストーク

光ディスクの1枚当たりの容量を増加させる方式として、情報記録層を複数積層する多層ディスクがある¹⁾。多層ディスクは、各記録層の中間層厚を厚くすると球面収差が発生しMTFが低下して信号劣化が生じる。このため、多層ディスクは中間層厚を薄くする必要がある。

しかしFig.1に示すように、光ディスクにおいて中間層厚を薄くすると、隣接記録層からの迷光が光検出素子に混入して生じる層間クロストーク²⁾によって、信号劣化を引き起こす。層間クロストークは、多層ディスクだけでなく、2層ディスクでも発生する不具合である。

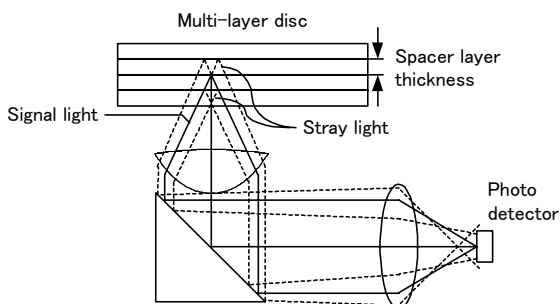


Fig.1 Occurrence principle of the layer cross-talk.

1-2 ピンホール

多層ディスクを読み出すには、何らかの層間クロストーク対策が必要とされる。その代表的なものにFig.2に示すピンホール光学系がある。ピンホール光学系は、信号光を一度集光し、その集光点にピンホールを配置することで隣接記録層からの迷光を遮光するものである。

ここで、光ディスクを読み出すには記録層の信号光の他に記録層の面ぶれを検出するフォーカスエラー信号が必要である。しかしピンホール光学系は、デフォーカスした光を検出できないので、信号検出とフォーカスエラー信号検出の光学系を、二つ個別に配置する必要がある。このため、光学系が大きくなるという不具合が生じる。

また、ピンホールの径を小さくすると信号光の光量低下・ピンホールの位置ずれ公差が厳しくなる、といった不具

合が生じ、逆に径を大きくすると迷光の漏れ量が増加するといった不具合が生じる。

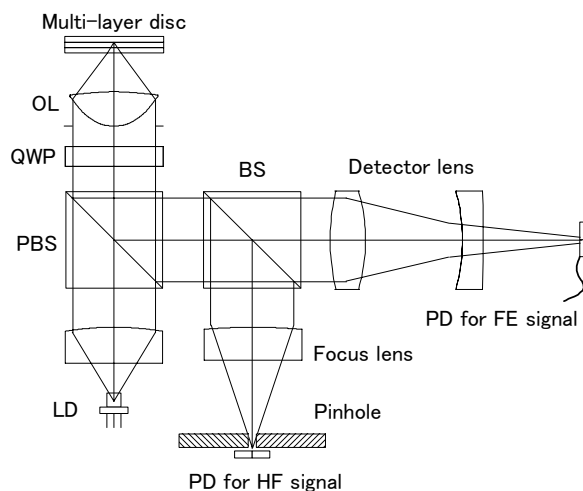


Fig.2 Optical pickup using a pinhole.

所で我々は、信号光・迷光を完全に分離し、読み出し信号とフォーカスエラー信号を一つの光路で検出でき、信号光の光量低下が生じない光学系の開発を進めてきた。

2. 縦スリットの原理

2-1 縦スリット

ピンホール光学系の不具合は、集光点で層間クロストーク対策を行なうことに起因している。そこで我々は発想の転換を行い、Fig.3に示すような層間クロストーク対策を集光点からずれたところに配置する、“縦スリット”を考案した。

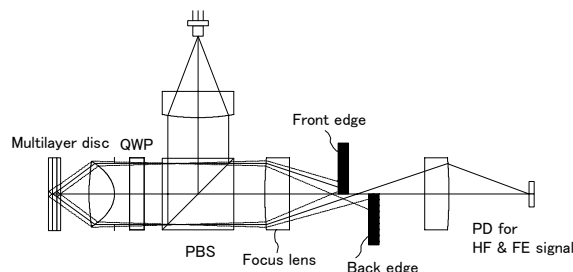


Fig.3 Longitudinal slit.

縦スリットは2枚の遮光板を信号光の集光点の前後に配置したものである。このため、信号光は2枚の遮光板の間で集光するので、半分だけ遮光板を抜けて受光素子で検出される。光ディスクの面ぶれによって信号光の集光点が若干ずれた場合、2枚の遮光板の間に集光点がある限り、信号光量は変動することがないので、読み出し信号とフォーカスエラー信号を1つの受光素子で検出することが可能になる。

他層で反射した迷光は、2枚の遮光板の前側、もしくは後ろ側に集光するため、2枚の遮光板で構成された縦スリットを抜けることなく、完全に遮光される。

この縦スリットは、次に紹介する偏光縦スリット、反射型偏光縦スリットの基本的な考え方になっている。

2-2 透過型偏光縦スリット

前述したように、縦スリットは遮光板により信号光の光量が半減してしまう。そこで、次に開発したのが透過型偏光縦スリット³⁾である。

一般的な光ディスクの光学系は、光源の半導体レーザーから光ディスクに向かう照明光と、光ディスクで反射し受光素子へ向かう検出光を効率よく利用するため、偏光光学系と呼ばれる方式を用いる。偏光光学系は、1/4波長板を利用することで、照明光と検出光で直線偏光の偏光方向を90度変え、偏光ビームスプリッター（PBS）で分岐する光学系を言う。透過型偏光縦スリットは偏光光学系における検出光の直線偏光を扱う。

Fig.4に透過型偏光縦スリットを用いた光学系を示す。偏光縦スリットは、2枚の集光レンズ、2枚の分割波長板とPBSで構成される（Fig.4の□内）。

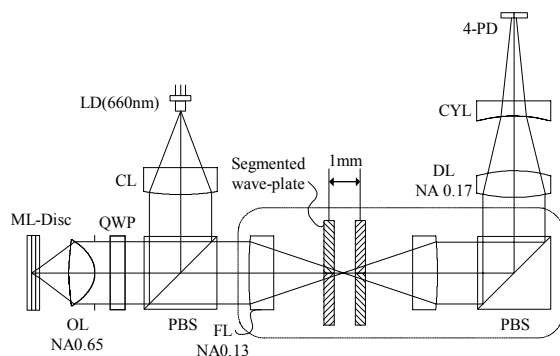


Fig.4 Transmission-type polarization longitudinal slit.

透過型偏光縦スリットの動作についてFig.5を用いて説明する。透過型偏光縦スリットで使われる分割波長板は、面内が $+1/4$ 波長板と $-1/4$ 波長板の領域からなる。多層光ディスクで反射した信号光は、2枚の分割波長板の間で集光することで $+1/2$ 波長、もしくは $-1/2$ 波長の位相差を受け偏光方向が90度回転する。他層で反射した迷光は、2枚の分割波長板の外側に集光するので位相差がキャンセルし、偏光方向が変わらず透過する。2枚の分割波長板を透過した信号光と迷光は、PBSによって分離され、信号光のみが受光素子へ向かう。

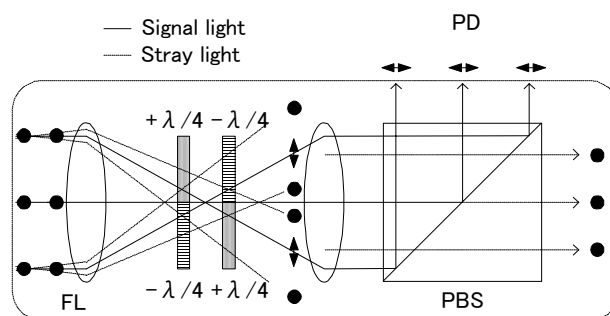


Fig.5 Flow of how TPLS works.

このように、集光点の異なる光に対して偏光を操作することで、信号光の光量を低下させることなく、信号光と迷光を完全分離することが可能になる。

2-3 反射型偏光縦スリット

さらに、我々は2枚の分割波長板の間で光路を折り返す反射型偏光縦スリット⁴⁾を考案し、部品点数の削減、及び光路長の短縮を図った。

Fig.6は、反射型偏光縦スリットを用いた光学系を示す。反射型偏光縦スリットは、一つの集積素子で構成される。集積素子は、透過型偏光縦スリットにおける2枚の分割波長板の役割を果たす。また、透過型偏光縦スリットで用いた2枚の集光レンズ、及びPBSは、従来の光ディスクを読み出す光学系で使われているコリメートレンズ、及びPBSとの共有化を図ることで、光学系全体のさらなる小型化を達成した。

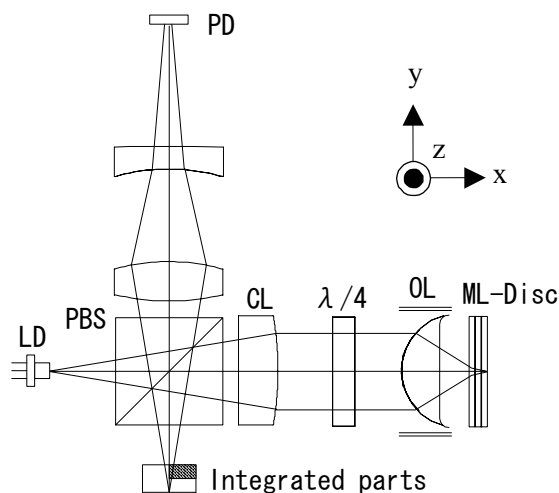


Fig.6 reflection-type polarization longitudinal slit.

反射型偏光縦スリットについてFig.7とFig.8を用いて詳細に説明する。反射型偏光縦スリットに用いる集積素子は、平坦領域と1/2波長板領域からなる入射面と、反射面から構成される。

- 光源である半導体レーザーからは紙面に対して垂直な方向に偏光した直線偏光が出射され、PBS、1/4波長板を透過することで右回り円偏光になり、多層ディスクの記録層L2に集光する。
- 記録層L2で反射した信号光は、再び1/4波長板を透過し紙面に対して平行な直線偏光になって、カップリングレンズで収束しながらPBSで反射する。その光は集積素子の1/2波長板領域もしくは、平坦領域を透過して反射面に集光する。
- 反射面で反射した信号光は平坦領域もしくは、1/2波長板領域を透過することで偏光方向が90度変わる。このため、信号光は紙面に対して垂直な直線偏光になり、PBSを透過して検出素子へと向かう。
- 記録層L2より対物レンズ側の記録層L1で反射した迷光は、紙面に対して平行な直線偏光になり、カップリングレンズで収束しながらPBSで反射する。その光は集積素子の1/2波長板領域もしくは、平坦領域を透過して反射面に到達する。
- 反射面で反射した迷光は再び1/2波長板領域もしくは、平坦領域を透過し、集積素子とPBSの間で集光する。従って、迷光の偏光方向は変わらずPBSで反射されるため、受光素子へ向かわない。

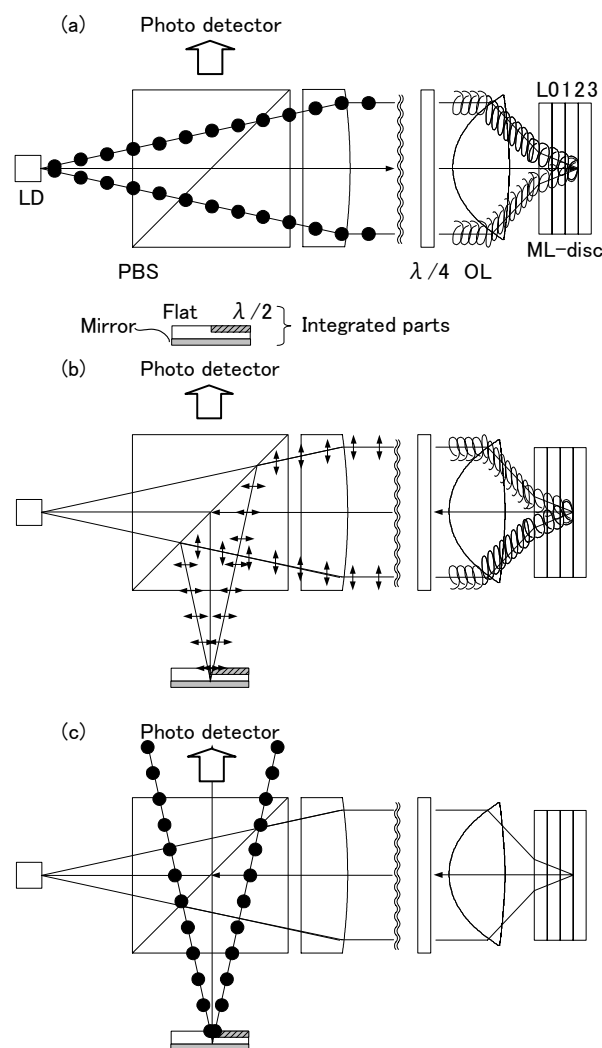


Fig.7 Flow of how TPLS works (Signal light).

- 記録層L2より奥側の記録層L3で反射した迷光は、紙面に対して平行な直線偏光になり、カップリングレンズで収束しながらPBSで反射する。その光はPBSと集積素子の間で集光し、集積素子の1/2波長板領域もしくは、平坦領域を透過して反射面に到達する。
- 反射面で反射した迷光は再び1/2波長板領域もしくは、平坦領域を透過する。従って、この迷光も偏光方向が変わることなくPBSで反射されるため、受光素子へ向かわない。

なお、各迷光は最終的には半導体レーザーに戻るが、デフォーカスした状態であるため光量が小さく、発振安定性を損なうことはない。

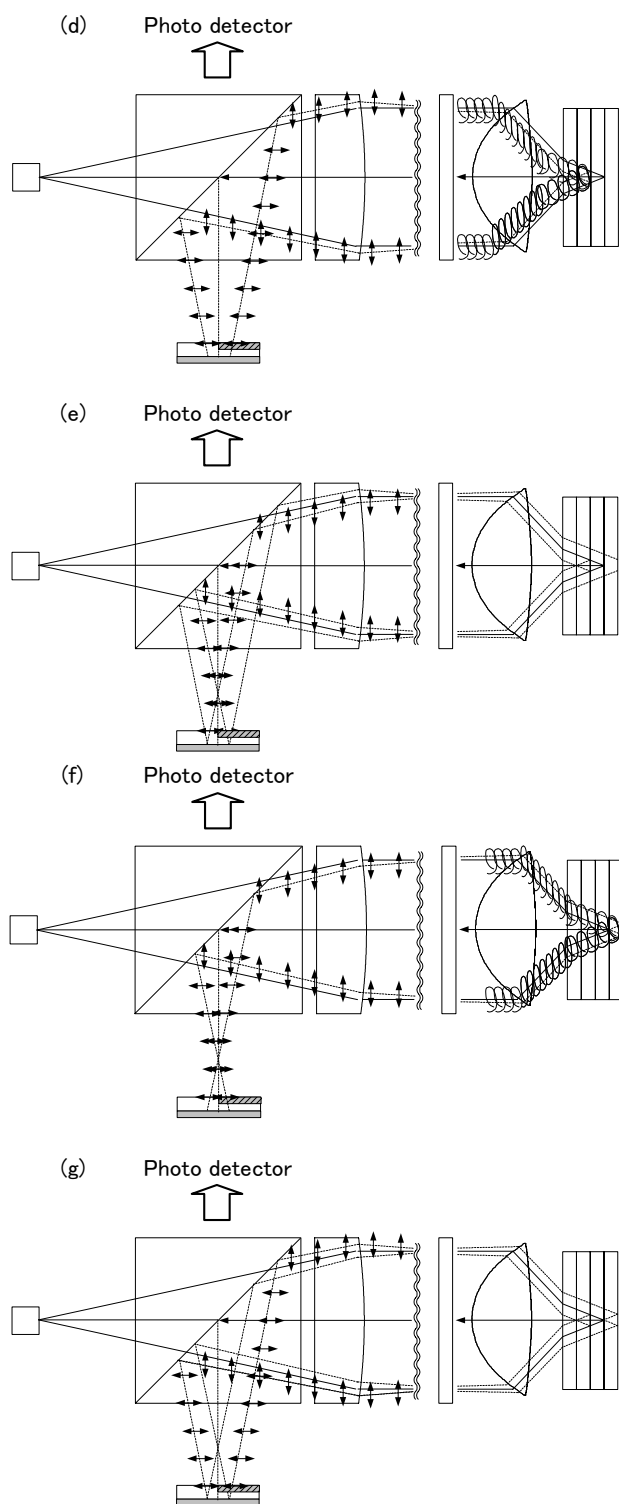


Fig.8 Flow of how TPLS works (Stray light).

3. 評価結果

3-1 フォトニック結晶の適用

透過型偏光縦スリットや反射型偏光縦スリットで用いる波長板は、信号光の集光点と迷光の集光点の間に配置する (Fig.5, 7, 8参照)。このとき、波長板上の信号光のビーム径は集光点に近いので50-70 μm と小さい。集積素子の1/2波長板領域と平坦領域の間の位相遷移領域 (Boundary) が広いと、信号光の偏光状態が乱れ、受光素子で検出される光量が低下する。Fig.9は、遷移領域の幅と検出される信号効率の関係をシミュレーションしたものである。液晶素子のような一般的な波長板を使うと遷移領域が5 μm 程度になるので、6%の効率低下が生じる。効率低下を2%以下にするには1.7 μm という遷移領域の狭い高精細な遷移領域を持つ波長板が必要となる。

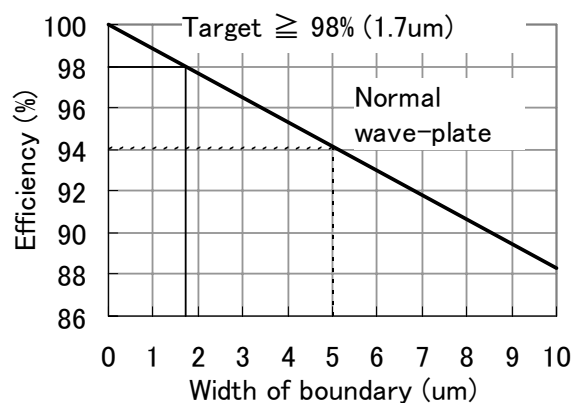


Fig.9 Calculated influence of boundary width.

このような高精細な遷移領域を持つ波長板として、我々は自己クローニング型のフォトニック結晶⁵⁾を用いた。Fig.10は、反射型偏光縦スリットを実現するフォトニック結晶の模式図である。フォトニック結晶は SiO_2 と Ta_2O_5 の多層膜で構成される。

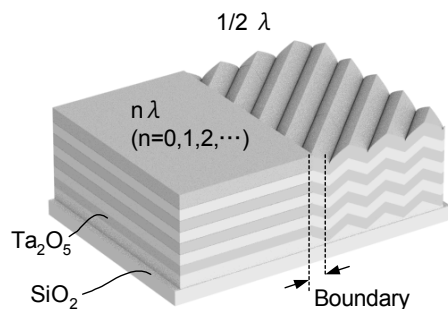


Fig.10 Segmented auto-cloned photonic crystal wave-plate.

Fig.11に実際に作成した集積素子の位相遷移領域の拡大写真を示す。遷移領域の目標1.7μmに対して、0.3μm以下の高精度な集積素子が得られた。

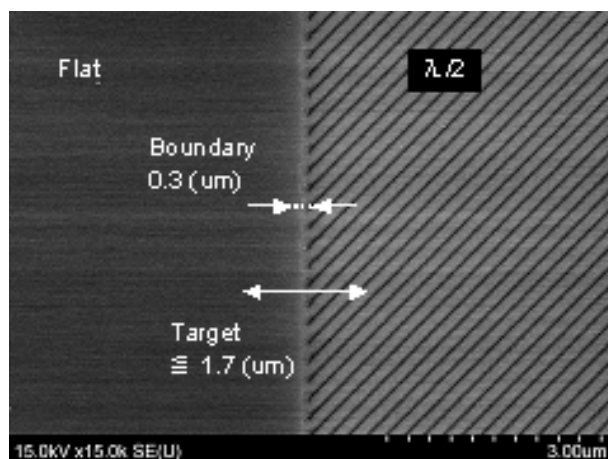


Fig.11 Detail SEM of wave-plate boundary region.

3-2 位置ずれ

反射型偏光縦スリットは、設置位置がずれると信号光の効率が低下する。Fig.12は、集積素子がずれたときの信号光の効率をシミュレーションした結果である。x方向、z方向については、Fig.6に示したとおりである。ここでは、比較のためにピンホールの位置ずれについてもシミュレーションした。

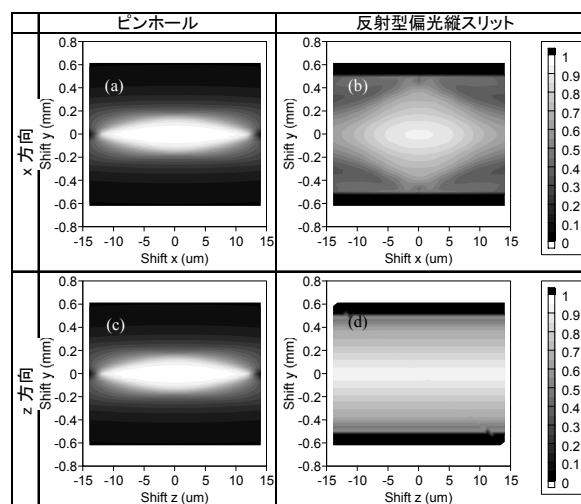


Fig.12 Tolerance of device shift.

この結果から分かるように、反射型偏光縦スリットは、y方向すなわち光軸方向に対して広い公差を持つ。このため、反射型偏光縦スリットは、読み出し信号とフォーカスエラー信号の同時検出が可能になっている。また、反射型偏光縦スリットは、z方向すなわち分割線方向のずれの影響を受けない。通常光ディスクを読み出す光学系は、光ディスクの偏芯に追従するためように対物レンズを光ディスクの半径方向にトラッキングする。このため、光学系に軸ずれが生じる。偏光縦スリットを用いた光学系では、分割線方向を光ディスクの半径方向に相当する方向に一致させることで、偏芯追従時の光軸ずれに対しても、信号光の効率を損なうことなく、情報を読み出すことができる。

3-3 デフォーカス特性

多層ディスクの層間クロストークの大小を確認する目安として、光ディスクのデフォーカス特性を用いる。デフォーカス特性とは、対物レンズを光ディスクの多層積層方向に走査して、その時に受光素子に入射する光量をモニターしたものである。層間クロストークが無い場合は、各層にフォーカスが合うと、光量がピークになり、デフォーカスするに従い低下する。層間クロストークがある場合は、迷光の混入に応じてデフォーカス時の光量が低下しなくなる。

Fig.13は、層間クロストーク対策の無い状態、ピンホールを用いた状態、偏光縦スリットを用いた状態で、4層ディスク（中間層厚20μm）のデフォーカス特性を観測した結果である。対策の無い状態では、デフォーカス時の光量低下が不

十分に各記録層からの信号が混入しているのが分かる。ピンホールを用いた状態では、デフォーカス時の光量低下の効果がある程度みられる。この時、測定条件として集光レンズのNA0.14、ピンホール径は50μmのものを使用した。偏光縦スリットは、デフォーカス時の光量低下が十分にあり、各層からの信号が完全に分離されているのが分かる。従って、偏光縦スリットを用いた光学系では、層間クロストークが生じていない、と言える。

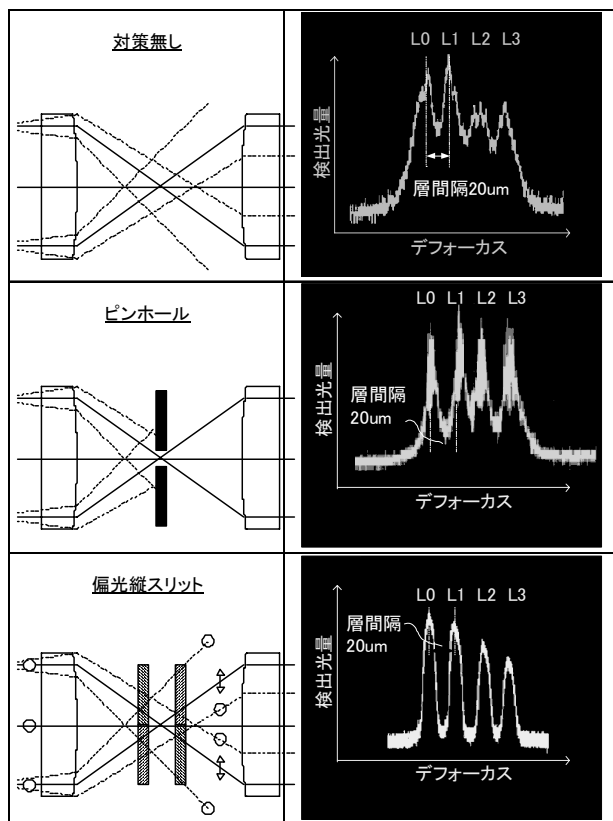


Fig.13 Defocus performance.

3-4 ジッター評価

光ディスクは、読み出し信号品質の評価としてジッターを用いる。層間クロストークによるジッターの劣化量 $\Delta Jitter$ は、多層ディスクにおけるジッター測定値 $Jitter_a$ と、単層光ディスクの測定値 $Jitter_{sta}$ を用いて、(1)式で定義される。

$$\Delta Jitter = \sqrt{Jitter_a^2 - Jitter_{sta}^2} \quad (1)$$

層間クロストークは、多層ディスクの中間層厚を薄くすることで増加する。Fig.14は、ジッター劣化量の中間層厚依存性である。

測定は、中間層厚の薄い(9, 12μm: 通常15-25μm) 2層HD DVD-ROMを用いて、反射型偏光縦スリットによるジッター劣化の改善効果を評価した。尚、本測定では、リミットイコライザーを用いた。

反射型偏光縦スリットが無い場合(○△)に比べ、反射型偏光縦スリットがある場合(●▲)はジッター劣化を設計目標どおりに改善した。以上のことから、反射型偏光縦スリットを用いることで、中間層厚を狭くしても層間クロストークを除去し、ジッター劣化を抑える効果があることが確認された。

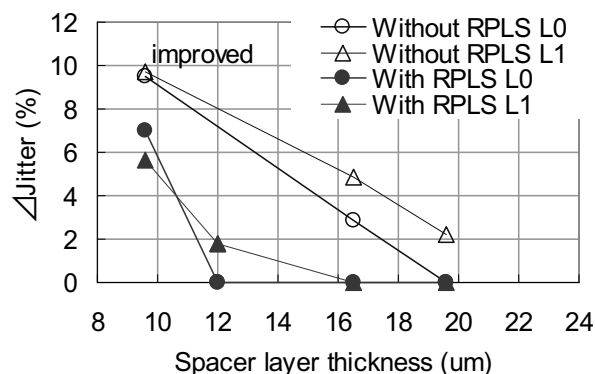


Fig.14 Read-out performance using RPLS.

3-5 分離限界値

反射型偏光縦スリットは、信号光と迷光の各集光点が、集積素子の入射面を隔てている状態Fig.15-(a)では、各記録層からの信号を分離する。しかし、多層ディスクの中間層厚がさらに薄くなり、信号光と迷光の各集光点が近づき、両集光点が集積素子の内部に存在する状態Fig.15-(b)では、各記録層からの信号を分離できなくなる。従って、集積素子の入射面に信号光が集光している時に、同じ入射面上に隣接記録層で反射した迷光の集光点が重なった時が、反射型偏光縦スリットにおける信号光と迷光の分離限界となる。

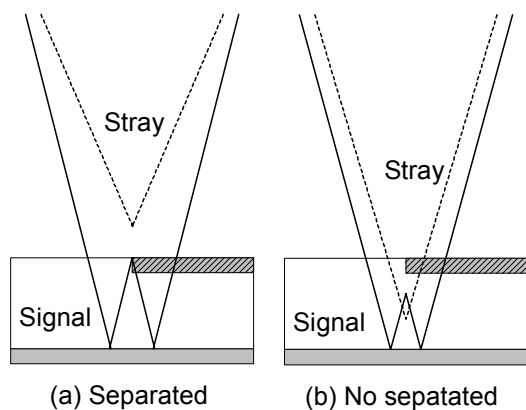


Fig.15 Model of limitation for RPLS.

多層ディスクの中間層厚に対する分離限界値 t_1 は、光学系のコリメートレンズと対物レンズにおける信号光と迷光の結像式を解いて求めることができる。分離限界値 t_1 は、対物レンズの焦点距離 f_1 、ディスクの基板及び中間層の屈折率 n_1 、コリメータレンズの焦点距離 f_2 、集積素子の基板厚 t_2 、集積素子の基板の屈折率 n_2 、対物レンズとカップリングレンズの間隔 L を用いて、(2)式で表される。

$$t_1 = -\frac{f_1^2 n_1 t_2}{f_2^2 n_2 - 2(f_1 + f_2 - L)t_2} \quad (2)$$

Fig.16に、集積素子の厚さに対する分離限界値を計算した結果を示す。0.5mm基板を使うことで、Blu-rayでは6.1mm、HD DVDでは8.3mmの中間層厚を持つ多層ディスクの分離が可能である。

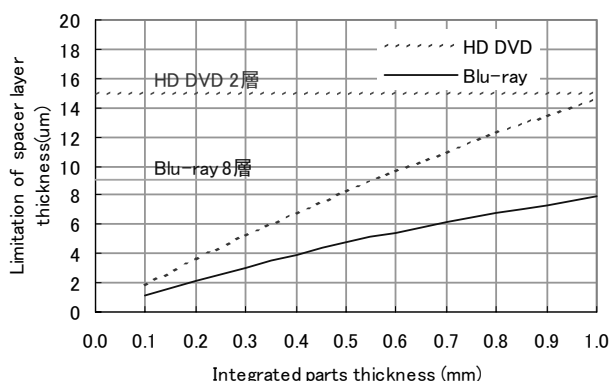


Fig.16 Limitation dependence of integrated parts thickness.

4. まとめ

多層ディスクから迷光を除去する光学系として、偏光縦スリットを開発し、デバイス手段としてフォトニック結晶を応用した。偏光縦スリットを用いることで、多層ディスク特有の層間クロストークを完全に除去し、情報を正確に読み出せることを実機により確認した。

この偏光縦スリットを使うことで、例えばBlu-ray 8層(200GB相当)といった大容量な光ディスクの再生装置も、簡易な光学系で実現できる。

本報告で紹介した偏光縦スリットの技術は、従来のピンホール光学系に無い、広い公差と、完全な迷光分離という優れた特性を実現する。現在我々は、この特性を利用した従来にない新規なアプリケーションの検討にも取り組んでいる。

謝辞

偏光縦スリットを実現する上で、株式会社フォトニックラティスの方々に、多大なるご協力をいただき、感謝いたします。

参考文献

- 1) I. Ichimura, et al.: Proposal for a multilayer read-only-memory optical disk structure, Appl. Opt., Vol. 45, No. 8 (2006), pp. 1794-1803
- 2) T. Shintani, et al.: Analyses of signals from Dual-Layer Phase Change Optical Disks, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, Pt. 1 No. 9A (2003), pp.5624-5633
- 3) 小形哲也: Optics Japan POST-DEADLINE論文集, 23aPD1, (2005), pp.2-3
- 4) T. Ogata, T. Kawashima,: Optical Data Storage Topical Meeting Conference Proceedings, MB6, (2006), pp.31-33
- 5) T. Kawashima, et al.: Development of Autocloned Photonic Crystal Devices, IEICE Trans. Electron, Vol. E87-C, no.3 (2004), pp. 283-290