

研究

チップ素子実装による光磁気ディスク用小型光ヘッド

山中 豊・片山 龍一・小松 雄一・小野 雄三

日本電気(株)光エレクトロニクス研究所 〒216 川崎市宮前区宮崎 4-1-1

(1991年12月27日受付, 1992年2月3日受理)

Compact Magneto-Optical Disk Head Integrated with Chip Elements

Yutaka YAMANAKA, Ryuichi KATAYAMA, Yuichi KOMATSU and Yuzo ONO

Opto-Electronics Research Laboratories, NEC Corporation,
4-1-1, Miyazaki, Miyamae-ku, Kawasaki 216

(Received December 27, 1991; Accepted February 3, 1992)

A compact magneto-optical disk head, integrated with chip elements and optical parts, using a hybrid assembly technique, has been developed. Optics and beam splitter characteristics were optimized so as to realize both compact size and sufficient read out characteristics. More than 48 dB C/N and stable operation were achieved, while simple optics and an easy assembly method were used.

1. ま え が き

光ディスクファイル装置の商品化は直径約 30 cm (12 インチ) の記録媒体を用いるイメージファイルより始まったが, 小型化の要求に対応するため近年は 3.5 インチ装置が実用化されつつある。記録媒体の小径化に対応して, 当初はこぶし大ほどあった光ヘッドも小型化されてきた。これには, 光学部品の実装技術の進歩と共に, 半導体レーザーの高出力化やモールドレンズの実用化などの個々の構成部品の特性向上の寄与も大きい。しかし, 従来のような個々の光学素子の組合せによる小型化では限界があるため, さまざまな新しい形態の光ヘッドが検討されている。

究極的な小型化として, 光学系を薄膜導波路内に形成し光検出器と一体化した光ヘッド形態の提案がなされている¹⁾。しかし, 3次元の光学系を2次元の光学系に置き換えることは自由度が制限されるためエラー検出方式などに問題点も多く, まだ十分な特性を得られるに至っていない。一方, 再生専用光ヘッドでは, 多機能なプログラム素子を用い, 半導体レーザーと光検出器を同一パッケージ内に実装した小型光ヘッドが提案されている^{2,3)}。しかし, 光磁気ディスク用に必要となる偏光変

化の検出は実現されていない。

本論文では, 半導体レーザーや光検出器をチップ状態のままにハイブリッド実装することと, 小型化が可能な光学系構成を新たに考案することで実現した光磁気ディスク用小型光ヘッドについて述べる。まず, 小型化のための光学系設計について述べ, 次に特性のシミュレーションを行い期待される特性を明らかにする。最後に, 実際に試作した光ヘッドで得られた特性について述べる。

2. 光ヘッドの光学系構成

2.1 光学系の設計

光ヘッドの光学系を小型化するための主要な検討事項としては, ① 光の通るトータル光路長の削減, ② 光学系を構成する部品点数の削減, ③ 実装における位置ずれ許容量の増大, 等がある。特に, 位置ずれ許容量は実際の光ヘッドを構成する上では重要である。従来の光学系を単にスケールダウンしただけでは, 許容量も減少してしまうため, 信号検出系構成そのものを見直す必要がある。

まず, 光路長の削減については二つの点を考慮した。第1の点は, 光ヘッドで必要となるフォーカスエラー信号検出, トラックエラー信号検出および光磁気情報信号

検出をすべて同一の光学系で実現する検出方式の考案である。このような方式では、光軸上に多分割光検出器を設置するだけで、すべての信号の検出が可能であるため小型化に適している。第2の点は、レーザーからの出射光と記録媒体からの反射光を分離するビームスプリッタを、半導体レーザーとコリメートレンズの間に設置したことである。この構成では光路長の短縮以外に、コリメートレンズを検出系の収束レンズと兼用できること、ビーム径の小さな位置にプリズムを設置するため小型のプリズムが使用できることなどの利点もある。再生専用の光ヘッドでは既に広く使用されている。しかし光磁気用では、ビームスプリッタへの収束光入射がビーム断面内でのP偏光とS偏光間位相差の不均一な変化を生じるため、再生 C/N 劣化の原因となる。今回の設計では、ビームスプリッタの膜構成を最適化して入射角度依存性を低減すると共に、C/N の劣化量を解析し問題のない特性を実現している。

次に部品点数については、レンズ以外の光学部品であるビームスプリッタ、1/2 波長板、偏光ビームスプリッタを一体化した複合プリズムを新たに開発した。これにより、半導体レーザー、光検出器、コリメートレンズ、集光レンズ、複合プリズムの5点の基本構成要素により光学系を構成することが可能となった。

最後に実装位置ずれ許容量であるが、光学部品の位置ずれに対して最も問題となるのは、フォーカスエラー信号の変動である。ナイフエッジ方式や非点収差方式などの検出感度と許容位置ずれおよび他の信号検出との組合せを検討した結果、次節で説明する差動型のスポットサイズ検出方式が小型化に適していることが明らかになった。この方式では、光検出器に対して約 $10\ \mu\text{m}$ の位置

ずれを許容することができる

2.2 光学系構成

先に述べた検討に基づいて構成した光学系を Fig. 1 に示す。半導体レーザーはヘッドフレームに、光検出器はステムにチップ状態のまま直接ボンディングされている。検出系は、半導体レーザーとコリメートレンズの間に設置された複合プリズムと、多分割光検出器によって構成されている。本光ヘッドにおいて組み立て時に位置調整を行うのは、光検出器を乗せているステムとヘッドフレームの間のみであり、他の部品は組立精度 ($\pm 100\ \mu\text{m}$) によって十分な特性を得ることができる。

信号検出系は以下のように機能する。光ディスクからの反射光は、ビームスプリッタによってS偏光はほぼすべて、P偏光は一部が反射する。次に、1/2 波長板によって偏光方向を 45° 度回転する。その後、偏光ビームスプリッタの前側の反射面によってS偏光が反射し、光検出器の後方に焦点を形成する。P偏光は後ろ側の反射面によって反射するため、S偏光より光路が長くなり光検出器の前方に焦点を形成する。

Fig. 2 に光検出器の受光面構成を示す。二つの分割検出部は、いずれも上下方向に3分割されており、さらに一方の光検出部は左右に2分割されている。フォーカスエラー信号は差動型のスポットサイズ検出であるので、二つの光検出部の内側と外側の素子の差信号をとり、さらに二つの信号の差を作ることで検出される。トラックエラー信号は、プッシュプル方式で検出されるため図中に示すように左右の素子の合計出力の差をとることで検出される。光磁気データの信号は、二つのビームがすでに $\pm 45^\circ$ 度成分に分かれているため、二つの光検出部の素子からの合計出力の差をとることで差動検出法

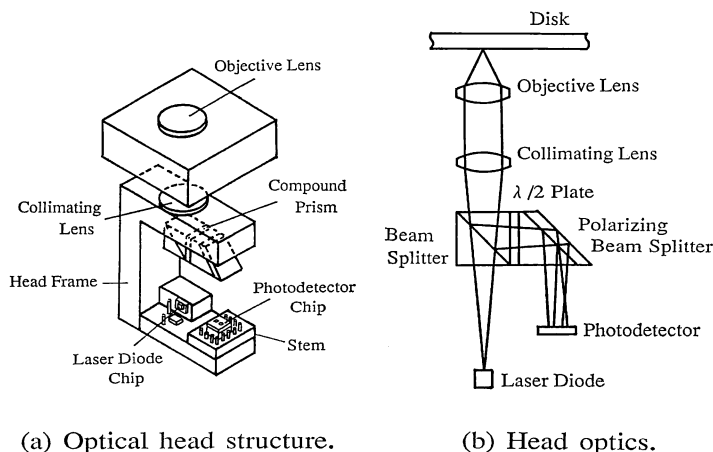
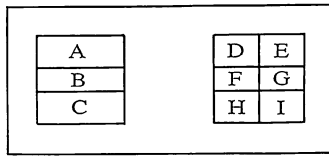


Fig. 1 Magneto-optical disk head integrated with chip elements.



Focusing error signal (A+C-B)-(D+E+H+I-F-G)
 Tracking error signal (D+F+H)-(E+G+I)
 Data signal (A+B+C)-(D+E+F+G+H+I)

Fig. 2 Schematic scheme of photodetector.

による情報信号を得ることができる。

Fig. 3 は光スポットのフォーカス位置が変化したときの、光検出器上のスポット形状の変化を示すものである。光検出器が二つのビームの焦点位置の間に設置されているため、光検出器上での二つのスポットの大きさは逆の変化を示す。一つのスポットの大きさの変化だけでも原理的にフォーカスエラー信号を得ることができるが、光検出器の位置変動などでオフセットが発生しやすい。二つのスポットからの信号の差をとることで変動量を相殺することが可能となる。

2.3 検出信号特性解析

まず、フォーカスエラー信号特性を解析した。解析では、光検出器上でのビームスポット径を幾何学的に求め、ガウスビーム強度分布を仮定して各素子で受光する光強度を求めている。使用したレンズは、集光レンズが焦点距離 3.9 mm で NA 0.55, コリメートレンズが焦点距離 15 mm で等価的な NA (集光レンズの開口径を考慮した実効的な開口数) は 0.15 である。

フォーカス信号 S 字のピークからピークまでを 20 μm に設定して最適化した信号検出特性を Fig. 4 に示す。この時の二つのビームの光軸方向の焦点位置の違いは 560 μm である。図中には光検出器が面内方向に位置ずれしたときの、特性変化も合わせて示してある。差動構成を用いているためオフセットの発生はなく、検出感度の低下がわずかに生じるだけである。この解析からは 10 μm 程度の位置変動でも安定な検出信号を得られることが明らかになった。これは光路長が 20 mm 程度の本光学系では、機械的安定性として十分実現可能な許容量である。

次に、ビームスプリッタにおける反射 P 偏光と S 偏光の間の位相差変動による C/N 劣化量を解析した。解析は光磁気信号特性解析に広く用いられているジョーンズベクトルを使用した。

P 偏光が光ヘッドから出射し、記録媒体からの反射光がビームスプリッタで反射したときの P 偏光成分 E_P お

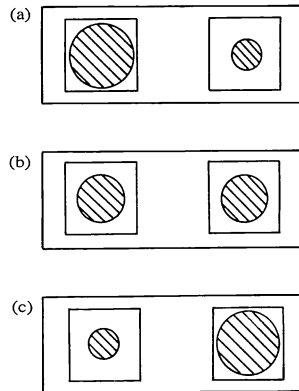


Fig. 3 Beam spots on photodetector for (a) under focus, (b) in focus and (c) over focus.

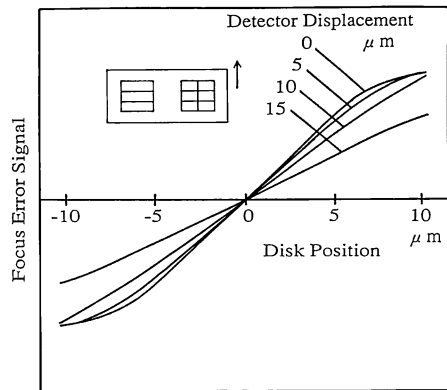


Fig. 4 Calculated focusing error signals for various photodetector displacements.

よび S 偏光成分 E_S は次式で表現される。

$$\begin{pmatrix} E_P \\ E_S \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} R_P \exp(j\delta) & 0 \\ 0 & R_S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta_k & -\sin \theta_k \\ \sin \theta_k & \cos \theta_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_i \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

P_i : 記録媒体上光パワー, R : 記録媒体電界反射率, θ_k : 記録媒体カー回転角, R_P : ビームスプリッタ P 偏光電界反射率, R_S : ビームスプリッタ S 偏光電界反射率, δ : ビームスプリッタ反射偏光間位相差である。実際には、基板複屈折の影響⁴⁾も考慮する必要があるが、数値計算の結果影響は少なかったので(1)式では省いている。この反射光の ±45 度成分光強度の差が情報の検出信号 i となる。

$$i = |E_P \sin 45^\circ + E_S \cos 45^\circ|^2 - |E_P \cos 45^\circ - E_S \sin 45^\circ|^2 \quad (2)$$

実際にはビームスプリッタへの入射光は収束ビームであり、位相差 δ は入射角度の関数となっている。コリメートレンズの NA 0.15 よりビームスプリッタへの入

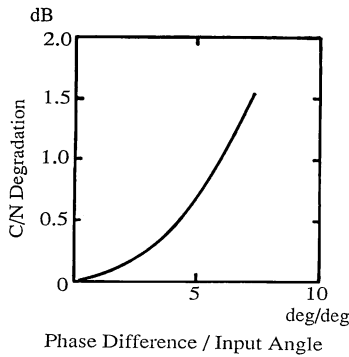


Fig. 5 Calculated C/N degradation.

射角 (プリズム内部での値) は約 45 ± 6 度となる。

したがって、実際の光検出器の検出信号 I は、極座標 (r, θ) を用いると、

$$I = \int_0^a \int_0^{2\pi} A(r) i(r, \theta) d\theta dr \quad (3)$$

となる。 a はビーム半径、 $A(r)$ は光強度分布であり今回の解析ではガウスビーム形状を用いた。実際の計算では、ビーム断面内を細分化した数値積分によって信号強度を求めている。

Fig. 5 は位相差が 45 度入射でゼロであり、45 度からの入射角度ずれに位相差が比例するとしたときの位相差の入射角度依存性 (位相差/入射角度ずれ) と再生 C/N 劣化量の解析結果である。 $R_p=30\%$ 、 $R_s=100\%$ とした。他のパラメータの変化は劣化量の解析にはあまり影響がない。光検出器の総受光量はほとんど変化しないため、C/N の劣化量は C の低下量に依存している 4 度/度の位相差量以下で 0.5 dB 以下の劣化量が得られる。これは、 45 ± 6 度の位置では ± 24 度の位相差に相当する。

実際のビームスプリッタにおいてはさまざまな膜構成で検討した結果、45 度から 45-6 度にかけてはほぼ位相差 0 度、45 度から 45+6 度にかけては位相差 -14 度まで単調に減少する特性が得られた。この時同時に P 偏光反射率も 30% の設定値から、-17%、+11% 変動する。これらの特性をもちいて C/N 劣化量を解析した結果、0.3 dB とほぼ問題のない特性を実現できることが明らかになった。

3. 光ヘッド動作特性

以上の検討結果を基に実際に光ヘッドを試作して特性の測定を行った。組み立てに当たっては、光検出器を搭載したステム位置のみを所望のエラー信号が得られるよ

うに調整した。Fig. 6 に試作した光ヘッドの外観写真を示す。レンズアクチュエータ部分を除くと、光学系の寸法は $18 \times 15 \times 10$ mm であり、従来に比べて大幅な小型化を実現することができた。

光の利用効率は 25% 以上であり、記録媒体上で 10 mW 以上の記録パワーを得ることができる。

Fig. 7 にフォーカスエラー信号検出特性を示す。設計値に近い $25 \mu\text{m}$ の S 字の間隔と、ほぼ対称な検出特性を得ることができた。実際の記録再生動作では、安定なサーボ動作を確認している。

今回採用したような、エラー信号と情報信号を同一の光検出器より検出する際に問題となるのは、使用するプリアンプの雑音特性である。一般には、アンプ入力部で信号を帯域分離をしてそれぞれを増幅するか、広帯域 DC アンプを通した後で帯域分離により信号を分離することになる。しかし、このような構成のアンプは情報信号専用のアンプを使用する場合に比べて、アンプ雑音レベルが高く C/N 特性が劣化しやすい。そこで今回の光ヘッドでは、Fig. 2 に示す光検出器の二つの光検出部を電気的に分離し、それぞれの共通電極部より情報信号を

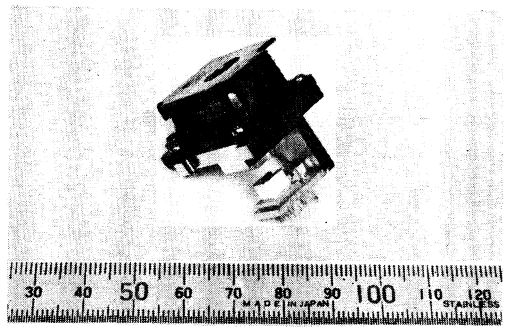


Fig. 6 Fabricated optical head external view.

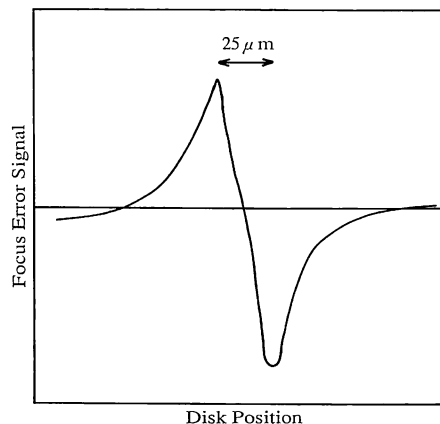


Fig. 7 Measured focusing error signal.

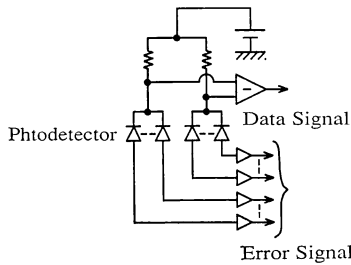


Fig. 8 Photodetector pre-amplifier circuit.

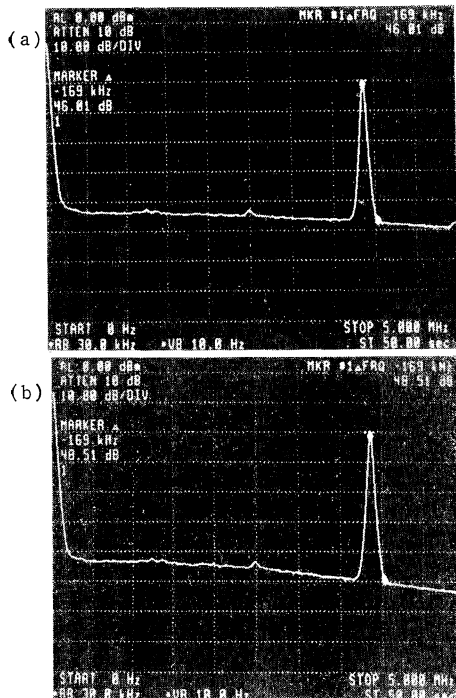


Fig. 9 Measured signal spectra at 3.9 MHz for (a) conventional circuit and (b) this circuit.

検出する Fig. 8 に示す構成を採用した。フォトダイオードは等価的には電流源と見なせるため、このようなアンプ系の分離を行うことが可能となる。

記録再生特性の測定は 3.5" の TbFeCo 系の光ディスクを用いて行った⁵⁾。Fig. 9 に線速 6 m/s で 3.9 MHz の信号の記録再生を行ったときの再生信号スペクトラムを示す。(a)は従来の帯域分離プリアンプを用いた場合であり、(b)は Fig. 8 に示す構成を用いた場合

である。再生 C/N は 48 dB と帯域分離プリアンプに比べて 2 dB の改善効果を得ることができた。またこの再生特性は従来の光ヘッドと比べても遜色のない値であり、今回試作した小型光ヘッドが十分実用化可能な特性を有していることを確認することができた。

4. ま と め

光磁気ディスク用の光ヘッド光学系の検討を行い、チップ素子の実装と、小型化に適した信号検出系の設計により、従来より大幅な小型光ヘッドを実現することができた。設計では、光路長の削減、光学部品数の削減、位置ずれ許容量の増大を考慮した。解析の結果、C/N の劣化量は 0.3 dB 以下で、光検出器の位置ずれ許容量が 10 μm 以上の特性を実現することができた。試作光ヘッドの光学系寸法は 18 \times 15 \times 10 mm であり、従来に比べ大幅な小型化を実現することができた。記録再生特性としては C/N で 48 dB 以上が得られ、従来光ヘッドと比べても遜色のない特性を実現することができた。

今後の課題としては、周辺回路を含めた実装密度の向上と、光学系に見合ったレンズアクチュエータの小型化が挙げられる。

本研究を実施するにあたり、ご指導いただきました阪口支配人、西田主管研究員、小林所長、堀田部長および窪田部長代理に深謝いたします。また、チップ素子を提供していただいた石川主任を始めとする関係各位に感謝いたします。

文 献

- 1) S. Ura, T. Suhara, H. Nishihara and J. Koyama: "An integrated-optical disk pickup device," J. Light-wave Technol., **LT-4** (1986) 913-918.
- 2) S. Kadowaki, Y. Komma, Y. Hori and M. Kato: "Integrated holographic optical pickup head with wide allowance range," Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) 189-192.
- 3) Y. Yoshida, T. Miyake, Y. Kurata and T. Ishikawa: "Three beam CD optical pickup using a holographic optical element," Proceedings of Optical Data Storage Technologies, Proc. SPIE, **1401** (1990) 58-65.
- 4) 吉沢昭彦: "光磁気記録用 PC 基盤の光学異方性の解析", 光学, **15** (1986) 414-421.
- 5) 片山龍一, 小松雄一, 山中 豊, 小野雄三: "光磁気ディスク用チップ実装型光ヘッドの高 C/N 化", 第 52 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 11 a-SZP-4 (1991).