CD用ホログラムピックアップ*

倉田幸夫** 石川俊夫**

CD Pickup Using a Holographic Optical Element / Yukio KURATA and Toshio ISHIKAWA

Key words: compact disc, optical pickup, hologram, grating, three beam method, Foucault knife-edge method, optical disk, laser diode, photo diode

1. ま え が き

コンパクトディスクプレーヤ（CD）は1982年の発売以来その音質及び操作性の良さ、装置の低価格化により急激な成長を遂げている。また近年のポータブルCD、車載用CDの普及、CD-ROMの発売に代表されるようにCDの応用範囲の拡大が続いており、このことが精密な光学系から構成されているCD用ピックアップに小型軽量で高い耐環境性能が要求される要因となっている。

本稿では、これらの要求にこたえるものとして開発したCD用のホログラムピックアップ^{1)~3)}について、その光学系の構成、ホログラム素子の作製法を中心に述べる。

2. ホログラムピックアップの光学系

2.1 光学系の構成

従来型のピックアップとホログラムピックアップの光学系の構成の比較を図1に示す。ホログラム素子（HOE）は1枚のガラス基板からできており、その上面に光分岐、フォーカス誤差検出機能を有するホログラムが、そして素子下面にラジアル誤差検出のための副ビーム生成用の回折格子が形成されている。また、光源であるレーザダイオード（LD）と信号検出用フォトダイオード（PD）がハーメチックシールさ

れた一つのパッケージ中にマウントされており、そのパッケージ上にホログラム素子が接着固定されている。その結果ピックアップの構成部品点数が7点から3点に削減されると共に、相対的な位置関係を安定に保つ必要のある部分が一体化されているために、光学部品を収容するハウジングの安定性に対する要求が緩和され従来の金属に変わりプラスチックハウジングの採用が可能となり、ピックアップの小型軽量化、低価格化が図られるだけでなく、耐環境性能の向上が実現される。

2.2 信号検出原理

(a) 従来の光ピックアップ

(b) ホログラムピックアップ

図1 ピックアップ光学系の比較

* 原稿受付 平成2年7月23日

** 正会員 シャープ(株)技術本部(天理市樺本町2613番地の1)

図2 信号検出原理

図2にホログラムピックアップの信号検出原理を示す。LDから射出された光は、HOEの裏面に形成された回折格子により、情報信号読み出し用主ビームと、二つのラジアルトラッキング用副ビームとに分けられる。そしてこの三つのビームがHOE上面のホログラムを零次光として透過し、コリメータ及び対物レンズによってディスク上に集光される。ディスク上のビットによる変調を受けた反射光は、対物レンズ、コリメータを透過した後、ホログラムによって回折され、1次回折光として5分割PD上に導かれる。ホログラムはディスクの半径方向の分割線により分割された格子周期の異なる二つの領域からなり、主ビームの反射光のうち、その一方の領域に入射した光は、光検出部D₂, D₃の分割線上に、他方の領域に入射した光は光検出部D₄上に集光される。また、副ビームの反射光はそれぞれ光検出部D₁, D₅上に集光される。これらの集光ビームは、ディスク上のビームの収束状態に応じて図3に示すように変化する。従って5分割PDの各セグメントD₁からD₅の出力をS₁からS₅で表すと、フォーカス誤差信号(FES)は、いわゆるフーコー法⁴⁾の原理により

$$FES = S_2 - S_3$$

で与えられる。

一方、ラジアル誤差信号は3ビーム法で検出する。トラッキング用副ビームはそれぞれ光検出部D₁, D₅上に集光されるのでラジアル誤差信号(RES)は、

$$RES = S_1 - S_5$$

となる。

また情報再生信号(RF)は

$$RF = S_2 + S_3 + S_4$$

図3 ディスクの変位による光検出器上のビーム形状の変化

で与えられる。

2.3 光学系の最適化

ホログラムピックアップの特長の一つとしてLDとPDが単一のステムにマウントされていることがあげられるが、このことはLDとPDを高い位置精度でアセンブルする必要があることを意味している。また、本ピックアップでは種々の構成部品のばらつき及び組立公差を、ホログラム素子の接着固定時にその位置を調整することにより補償するが、調整のための移動量が大き過ぎると回折光の収差が大きくなりピックアップ信号の劣化をひきおこす。このためLDの発光点に対するPD, HOEの位置ずれ、傾き、回転などの配置上の誤差要因がピックアップ信号に及ぼす影響を回折素子も含めた光線追跡法^{5)~8)}を用いて検討し、量産時における実現性を考慮しながら各部品形状及びそれらの配置公差の最適化を図った。

また波長分散素子である回折素子を半導体レーザを光源として用いた光学系に適用するためには、半導体レーザの発振波長の個体間のばらつき及び温度変化による変動の問題を解決する必要がある。図4にLDの発振波長の変化により光検出器上をビームが移動していく様子を光線追跡法によりシミュレーションした結果を模式的に示す。光検出器の分割線の方をホログラムによる回折方向から傾けることにより、波長変動によりPD上でビーム形状及び位置が変化しても光検出器の対応する個々のセグメントに入射する光量は一定に保たれており、波長変動によるフォーカス誤差信号のオフセットが発生しないことがわかる。

3. ホログラム素子の作製・評価

3.1 ホログラム素子の作製

ホログラムの作製には、再現性、量産性、設計の自

図4 波長変化によるフォトダイオード上でのビーム形状および位置の変化とフォトダイオード分割線角度の最適化結果

図5 ホログラム作製プロセス

由度に優れている計算機ホログラムの手法⁹⁾を用いた。またホログラム素子基板は、優れた光学特性、及び耐環境性能が得られるガラスを用いた。図5にホログラムの作製プロセスを示す。先に述べた最適化結果にもとづいて、LD及びPDからホログラム面に至る光路長を計算しその光路差が波長の整数倍になるホログラム面上の点を順次計算により求め、これらを滑らかな曲線でつなぐと求めるべきホログラムのパターンが得られる。得られたホログラムパターンの位置座標データを用いて電子ビーム描画法により10倍に拡大したレチクルを作製し、このレチクルのパターンを

図6 ホログラム周縁部のSEM写真

フォトリピータにより縮小投影して800個以上の等倍のホログラムパターンを有する5"のフォトマスクを作製した。そしてこのフォトマスクを用いて密着露光法によりガラス基板上に塗布したフォトレジストにパターンを転写し、このレジストパターンをマスクとして CHF_3 ガスを用いた反応性イオンエッチング法により、レリーフ型ホログラムを作製した。このようにしてホログラムのパターンを作製した後、裏面に副ビーム生成用回折格子をホログラムと同様のプロセスにより作成した。

3.2 ホログラム素子の評価

図6はガラス基板上に形成されたホログラムのSEM写真である。ホログラムのピッチは約 $2\mu\text{m}$ で、断面形状はほぼ矩形になっている。格子溝の深さは約420nmであり、0次透過効率が45%、そして1次回折効率が18%となり、CDピックアップ用ホログラムとして実用上十分な往復光利用効率8%が得られた。また、トラッキングビーム生成用回折格子はピッチが $16\mu\text{m}$ で、深さは330nmであり、回折による分光比は1:4:1となっている。

4. ホログラムレーザユニットの組立・調整

4.1 ホログラムレーザユニットの組立

ホログラムレーザユニットの組立精度はピックアップの性能に直接影響するため高い精度が要求される。図7にユニットの構造を示す。まず光出力モニター用PD、及びLDチップをシステム上の所定の位置にマウントしワイヤボンディングを行う。次にLDを発光させその発光点を基準として信号検出用5分割PDの姿勢と位置を調整し固定する。そして5分割PDのワイヤボンディングをしキャップシールを行う。この後キャップ上部にホログラム素子を位置調整後、接着固定する。

4.2 ホログラム素子の調整

前述したようにホログラムレーザユニットの組立誤差はホログラム素子の位置を調整することによって補

図7 レーザフォトダイオードユニット構造図

償する。ホログラム調整装置には光軸調整された対物レンズ、コリメータが取り付けられており、副ビームに対応する出力 S_1 と S_5 が最大となり、かつ $S_2 + S_3$ と S_4 の出力が等しくなるようにホログラムの位置を調整する。その後CDを再生し再生信号のジッタ値が最小となる時フォーカス誤差信号が零となるようにホログラムを光軸を軸として回転調整する。

このようにして作製されたホログラムレーザユニットの外観を図8に示す。ユニットの最外径は9mmであり、その重量は約1.1gである。

5. ピックアップの評価

図9に本ピックアップの焦点誤差信号を示す。急峻で直線性の良い良好な信号が得られていることがわかる。このときのサーボ引き込み範囲は13 μm である。

図10に再生信号ジッタの温度特性を示す。室温のみならず広い温度範囲において良好な特性が得られており、光源の発振波長変動に対する補償が適正になされていることがわかる。また、LD, PDを一つのパッケージに収め、ホログラム素子と一体化したことにより、樹脂一体成形ハウジングを使用しても良好な耐環境性能が実現されていることがわかる。

6. む す び

光ディスク装置の小型高性能化のためには光ピックアップの小型軽量化が重要である。ホログラム素子をピックアップの光学系に採用することはこれらの課題を実現するだけでなく、ピックアップの耐環境性能を向上する上でもたいへん有効であった。

ホログラム素子の光ピックアップへの応用には今後多様な可能性が考えられる。例えば液晶と組み合わせることも提案¹⁰⁾されている。また、光導波路を用

図8 ホログラムレーザユニット

図9 焦点誤差信号波形

図10 CD再生信号ジッタの温度特性

いてピックアップ全体を光集積回路化することも研究されており¹¹⁾¹²⁾、光ピックアップの小型化、集積化は今後一層進むものと思われる。

参 考 文 献

- 1) Y. Kurata et al.: CD Optical Pickup using a Computer Generated Holographic Optical Element, Proc. of Optical Storage and Scanning Technology, SPIE 1139, (1989) 161.
- 2) 吉田圭男ほか: ホログラムを用いたCD用ピックアップ, 微小光学研究グループ機関紙, 7, 2 (1989) 102.
- 3) 倉田幸夫ほか: 3ビームを用いたCD用ホログラムピックアップ, シャープ技報, 42 (1989) 45.
- 4) G. Bouwhuis et al.: Principles of Optical Disc Systems, Adam Hilger Ltd., Bristol, (1985).
- 5) R. Kingslake: Lens Design Fundamentals, Academic Press, New York, N. Y., (1978) 145.
- 6) D. P. Feder: Optical Calculations with Automatic Computing Machinery, J. Opt. Soc. Amer., 41, (1951) 630.
- 7) R. J. Collier, C. B. Burckhardt and L. H. Lin: Optical Holography, Academic Press, New York, N. Y., (1971) 228.
- 8) H. Kogelnik: Coupled Wave Theory for Thick Hologram Gratings, Bell. Syst. Tech. J., 48, (1969) 2909.
- 9) A. W. Lohmann and D. P. Paris: Binary Fraunhofer Holograms, Generated by Computer, Appl. Opt., 5, (1966) 967.
- 10) J. C. Leheureau, J. Y. Beguin and J. Colineau: Polarizing Grating Beamsplitter, ISOM '89, 27 D-18, Kobe, (1989).
- 11) 裏 升五, 栖原敏明, 西原 浩, 小山次郎: 光ディスクピックアップの光集積回路化, 信学技報, OQE85-72 (1985).
- 12) 西脇青児, 内田真司, 麻田潤一, 米澤武敏: 超解像導波路型光ヘッドの開発(1), 1989年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 (1989) C 22.