
光集積デバイスの調整組立技術

Adjustment and Assembly Technique for Integrated Device of Optical Pickup

照 太郎* 大島 久慶* 種子田 裕介* 鎌田 照己**
Taro TERASHI Hisayoshi OHSHIMA Yuusuke TANEDA Teruki KAMADA

要 旨

記録密度が高まる光ディスクに対応できる次世代光集積デバイスの高精度調整組立を実現するため、アクティブアライメント技術を応用した調整組立技術を開発した。これは光ディスク装置の小型化・低コスト化を具現化するキーデバイスとして、光集積デバイスが実用化されている現状に応えるものである。技術としては、調整光学系を構成する光学素子を制御することで、光集積デバイスの誤差や外乱をキャンセルして調整の高精度化を図ると共に、アライメントに予測制御を採り入れて高速化を指向した。その結果、調整誤差と調整時間を従来の1/3に抑えることができた。

Abstract

Adjustment and assembly technique to apply the active alignment is developed for high storage density of optical disk as the next generation integrated devices. The integrated device of optical pickup is important for practical use to reduce the size and cost of optical disk system. High accuracy is accomplished by controlling the optical elements of the system for active alignment together with the cancellation of errors in the integrated device and disturbances. High speed is accomplished by using predictive control for alignment. As the result, these techniques make it possible to knock adjustment error and time down to one third, compared with conventional one.

* 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. 背景と目的

データストレージ機器やゲーム機器など、様々なアプリケーションに展開される光ディスクシステムの小型化・低コスト化を具現化するキーデバイスとして、発光素子・受光素子・回折光学素子を1つのパッケージに収めた光ピックアップ用集積デバイス^{1) 2)}（以下、光集積デバイス）が開発されている。

光集積デバイスは、通常、発光素子、受光素子、回折光学素子の順に組立てられる。その際、回折光学素子の位置精度が最も信号品質を左右し、高精度な調整を必要とする。

一般に、上記回折光学素子の調整組立法は、パッシブアライメントとアクティブアライメントの2種類に大別される。パッシブアライメントは、受発光素子を駆動せずに位置合わせするものであり、画像認識技術を用いて高速調整できるが、高精度な調整には不向きである。一方、アクティブアライメントは、受発光素子の入出力信号を使って位置合わせするものであり、光集積デバイスの光学信号特性値を最適化できるため、高精度調整に好適であるが、高速調整は困難である。

近年、光ディスクの記録密度を高める目的で光源の短波長化が進み、光集積デバイスを構成する部品精度やそれらの組立精度がますます厳しくなっている³⁾。そのため、従来のアクティブアライメントで調整組立しても、次世代光集積デバイスが要求する精度への対応が困難になってきた。また、調整コストの面から、調整時間の短縮も課題である。

そこで筆者らは、アクティブアライメント技術に誤差補正技術と予測制御技術を組み合わせ、次世代光集積デバイス用調整組立技術を開発した。本報では、高速性と高精度を両立する調整組立技術の特徴と検証結果について報告する。

2. 技術の特徴

2-1 調整方法と調整光学系

本報告の調整組立は、光集積デバイスが光ピックアップに実装された場合と等価の戻り光を作り、フォーカスオフセット量（合焦ずれ量）やトラックオフセット量を所望の値になるよう調整する。具体的には、光集積デバイス内の分割型受光素子に入射する光束の位置を制御するために、回折光

素子の位置をX軸、Y軸、 θ 軸の面内3軸で調整する。

Fig. 1に調整組立装置の光学系レイアウトを示す。光集積デバイス内のレーザダイオードから射出した光束は、調整対象である回折光学素子を透過後、コリメートレンズ、ビーム整形プリズム、ビームコンプレッサ、対物レンズなどで構成した調整光学系を通して、光ディスク面に入射する。光ディスク面で反射した光束は往路を逆に辿り、前述の回折光学素子により偏向され、分割型受光素子に入射する。

対物レンズに入射する光束の特性を検出するために、検出レンズとCCDから構成される光軸検出系と、検出レンズや受光素子などから構成される光束平行性検出系を設けている。また、対物レンズと光ディスク面の相対的な位置を検出するために、検出レンズとシリンドリカルレンズから構成されるフォーカス・トラック信号検出系を設けている。

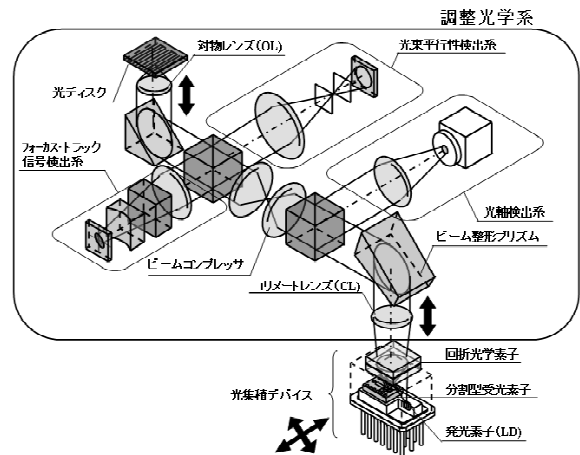


Fig.1 Optical layout of the system.

2-2 誤差補正アクティブアライメント技術

従来アクティブアライメントの主な誤差要因として、調整組立に用いる光束（以下、基準光束）の誤差が考えられる。基準光束は、光集積デバイスを光源とした調整光学系から得るため、光源の実装誤差、環境外乱誤差を含んでしまう。

そこで、基準光束の特性値をモニタリングしながら、光源の位置および調整光学系を調整（誤差補正制御）し、保持（ドリフト補正制御）するようにした。これにより、光源実装誤差と外乱誤差を補正し、誤差の少ない基準光束を用いたアクティブアライメントを実施することができる。誤差補正する光束特性項目と調整対象・調整方向をTable 1に示す。

Table 1 Adjustments for error correction.

| 誤差補正項目 | 調整対象 | 調整方向 |
|------------------------|----------|--------|
| 光軸調整 | 光集積デバイス | 光軸直交2軸 |
| 光束平行性調整 (非点収差調整含む) | コリメートレンズ | 光軸1軸 |
| | 検出レンズ | |
| フォーカス・サーチ フォーカス・サーボ | 対物レンズ | 光軸1軸 |
| | 光ディスク | 光軸直交1軸 |

2-3 予測制御技術

誤差補正アクティブアライメントは、調整光学系の光学素子を制御するため、高速調整が難しい。特に、光学系の調整軸間に軸干渉が存在する多軸アライメントの場合、全軸が収束するまでの繰返し制御ルーチンに多くの調整時間を要する。

軸干渉がある系とは、Fig. 2に示すような入出力が相互に干渉し、1つの入力から1つの出力を決められない系を指す。

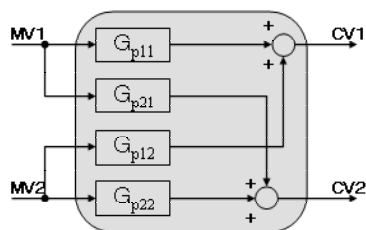


Fig.2 Model of I/O interaction.

本報の光学系における誤差補正制御では、コリメートレンズと検出レンズの位置調整による非点収差と光束平行性の調整が軸干渉を有する。

そこで、一つの空間に多入出力の相互作用を表したN次元誤差曲面モデルを使い、収束点を予測して一度に多軸を制御する予測モデル制御を試みた。

今回は、2入力2出力であるため、3次元誤差空間を考えた。Fig. 3に示すように、3次元誤差空間は、縦軸に制御対象（出力）の誤差量を取り、横軸にはそれぞれのレンズ位置（入力）をとったものであり、誤差量をプロットしたものを誤差曲面と呼ぶ。縦軸0の平面は、誤差量ゼロの平面であり、この平面と誤差曲面の交差曲線が、制御対象（出力）の所望の値を満足する各レンズ位置の集合である。本報のように2軸の相互軸干渉がある場合、二つの誤差曲面が存在し、誤差ゼ

ロ平面と二つの誤差曲面の交点が、協調条件を満足する点（予測点）ということになる。

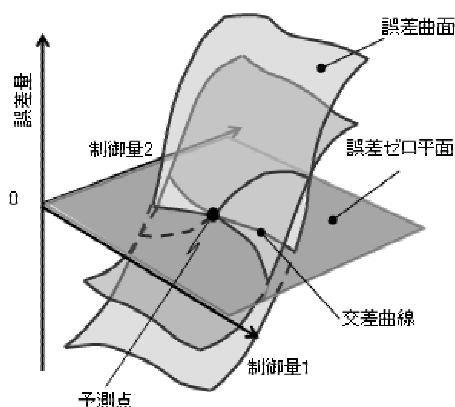


Fig.3 Error surfaces and predictive point.

3. 検証結果

3-1 誤差補正アクティブアライメント

3-1-1 誤差補正制御

(1) 光軸調整

集光レンズとCCDで構成した検出系により、CCD面上に集光するスポット位置を検出し、予め特定した調整光学系光軸にあたる画素を基準に、光集積デバイスの光源位置を調整する。評価結果をFig. 4に示す。調整ばらつきは、X軸：±0.31 μm, Y軸：±0.46 μm(3σ)である。X軸とY軸とで調整精度に差があるのは、非軸対象光学系(ビーム整形プリズム)により画像処理分解能に差異があるためだと考えられる。調整時間は平均0.4秒、最大1.1秒であった。

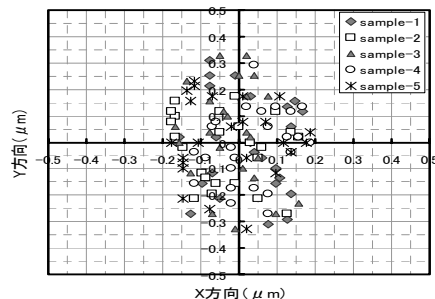


Fig.4 Alignment accuracy of optical axis.

(2) 光束平行性調整

光束平行性と非点収差を同時検出できる検出光学系を用い、コリメートレンズと検出レンズを個別に調整する。Fig. 5に、信号感度の高いコリメートレンズのアライメント精度を示す。調整ばらつきは、 3σ で $\pm 0.41 \mu\text{m}$ である。

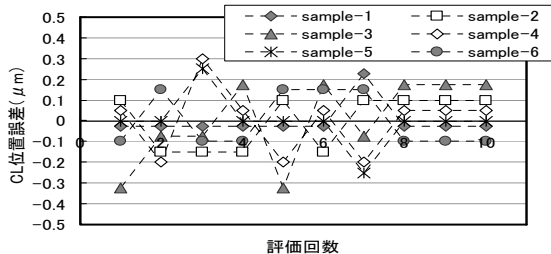


Fig.5 Alignment accuracy of collimation lens.

(3) フォーカス・サーチ

光ディスクの溝部に集光したスポットの回折光強度を検出するため、スポットが溝を横切る時のトラック誤差信号振幅値を用いて、振幅値が最大となるよう対物レンズを調整する⁴⁾。Fig. 6に対物レンズのアライメント精度を示す。偏差が $-0.02 \mu\text{m}$ あり、ばらつきは $\pm 0.06 \mu\text{m}$ である。調整時間は 5.6 ± 0.7 秒(3σ)であった。

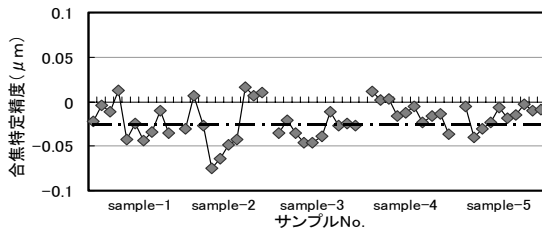


Fig.6 Alignment accuracy of objective lens.

(4) フォーカス・サーボ制御

光ディスク面に対して合焦位置となった対物レンズを、フォーカス誤差信号を用いて追従制御する。フォーカス信号、トラック信号の検出系には非点収差検出法を用いた。

上記(1)～(4)の誤差補正制御の結果をTable 2に示す。

フォーカスオフセットに関する基準光束誤差は $\pm 0.11 \mu\text{m}$ であった。この値は、誤差補正制御を行わない従来法の基準光束誤差と比較して、約1/3の誤差に低減できたことになる。

Table 2 Result of error corrections.

| 調整項目 | (3σ) | | |
|---|----------------------|------------------------------|---------------|
| | 精度 (μm) | フォーカスオフセット (μm) | トラックオフセット (%) |
| 光軸 | LD:X | ± 0.31 | ± 0.02 |
| | LD:Y | ± 0.46 | ± 0.5 |
| 光束平行性 | CL:Z | ± 0.41 | — |
| フォーカスサーチ | OL:Z | ± 0.06 | — |
| フォーカスサーボ | OL:Z | ± 0.04 | — |
| 基準光束誤差(フォーカスサーボ) : $(0.02^2 + 0.03^2 + 0.06^2)^{1/2} + 0.04 = \pm 0.11$ | | | |

3-1-2 ドリフト補正制御

3-1-1に記載した誤差補正制御による光学素子の位置決めが完了した直後から、検出信号に経時変化が発生する。これは、温度変動による機構材料の伸縮や環境外乱によるアクチュエータ・センサのドリフトに起因して、位置決めした光学素子がずれてしまうためである。

そこで、誤差補正制御した光学素子全てについて閉ループ制御システムを組み、追従制御して、ドリフト補正を実施した。光軸誤差に関するドリフト補正の例をFig. 7に示す。補正しない場合は150secで $0.4 \mu\text{m}$ 以上の光軸誤差となるのに対し、補正制御を行うと、一定値に追従制御できるのがわかる。

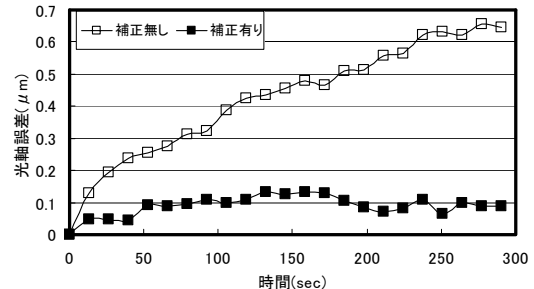


Fig.7 Drift error of optical axis with/without correction control.

同様に非点収差に関しても、コリメートレンズに追従制御をかけ、基準光束のフォーカスオフセットと比較した結果をFig. 8に示す。補正制御を行わなければ、150secにフォーカスオフセット $0.01 \mu\text{m}$ 程度のドリフトが発生するが、補正制御を行うと、ほぼドリフトを回避できる。

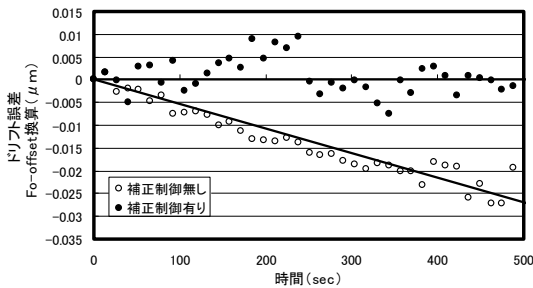


Fig.8 Drift error of focus-offset with/without correction control.

このドリフト補正制御により、誤差補正制御で確保した基準光束の品質を保った状態で、回折光学素子のアクティブアライメントが可能となった。

3-2 予測制御

Fig. 9は、実際に使用した誤差曲面モデルであり、高速制御性の検証結果として、従来の繰返し制御と予測制御の調整例をFig. 10に示す。

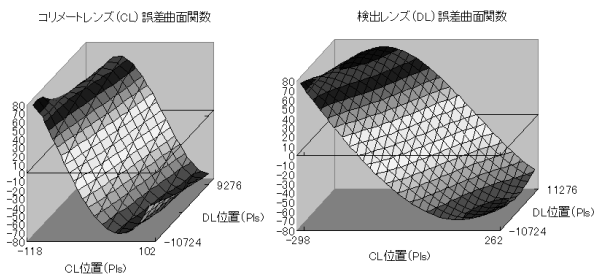


Fig.9 Model of 3D error surfaces.

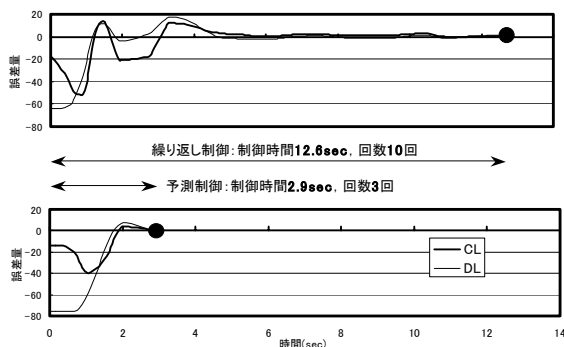


Fig.10 Comparison of alignment time.
(Upper) repetitive control,
(Lower) predictive control.

図より、繰返し制御では、2つの出力の誤差量が0に近づいてからの制御時間が長いのに対して、予測制御の高速収束

性がわかる。

このことを、複数のサンプルで検証した結果をTable 3に示す。予測制御を適用することにより、繰返し制御と比較して、制御時間(回数)の平均値が約1/3、ばらつきが約1/4で、調整が完了している。

Table 3 Comparison between repetitive control and predictive control.

| | 制御時間 (sec) | 制御回数 (cycle) |
|-------|---------------|-----------------|
| 繰返し制御 | 12.0±11.6 | 8.5±7.0 |
| 予測制御 | 4.2±2.5 | 3.1±1.8 |

4. まとめ

光ピックアップに用いる次世代光集積デバイスの調整組立技術に関して、以下の成果を得た。

- (1) アクティブアライメントを応用した誤差補正制御とドリフト補正制御を行い、基準光束誤差を低減することで高精度調整を実現した。
- (2) さらに、予測制御を行い、上記アクティブアライメントに要する時間を短縮し、高速調整を実現した。
- (3) 光集積デバイスの調整組立装置を開発し、上記(1)、(2)の有効性を検証した。

参考文献

- 1) 倉田幸夫 他：3ビーム法を用いたCD用プログラムピックアップ、シャープ技報、第42号、(1989)、p.45.
- 2) 細美哲夫 他：応物学会春季予稿集、(1988)、29p-ZQ-11.
- 3) 照太郎 他：精密工学会秋季大会講演論文集、(2002)、p.243.
- 4) 尾上守夫 他：光ディスク技術、ラジオ技術社、(1989)、p.172.