

HD (high definition) 画質で2時間の映像を記録することが可能な記録媒体として注目されている Blu-ray Disc は、記録密度向上のため短波長化、対物レンズの高 NA 化が進んでいます。こうした中で良好な信号品質を得るためには、ディスクの光学パラメータのばらつきに対して、高度な光学制御技術が必要となります。今回の光学工房では、Blu-ray Disc (以降 BD と記述します) のカバー層厚み誤差により発生する球面収差の検出と補正方法について紹介します。

1. カバ―層厚み誤差による球面収差の発生

表1にBD方式の仕様と2層BDの光学パラメータを示します。ディスクのカバ―層の厚み誤差を dT 、対物レンズの開口数を NA 、光源波長を λ とすると、球面収差は近似的に次のように表されます。

$$\text{球面収差} \propto dT \cdot NA^4 / \lambda$$

厚み誤差 dT により発生する球面収差は、DVD ($NA=0.6$, $\lambda=0.65 \mu\text{m}$) と比較すると6.5倍にもなり、ディスク製造工程において dT を十分に抑制する必要があります。また、BDにおいて、ディスク毎のカバ―層の厚み許容誤差は $\pm 5 \mu\text{m}$ とされており、理想光学系において、最大で 0.1λ 程度の球面収差が生じることになります。光学系の評価基準では、最大値で 0.25λ 以下、2乗平均値で 0.07λ 以下ならば理想光学系とほぼ同じとされていますが、他の光学素子の収差も存在しますので、このレベルのカバ―層の厚み誤差でも再生信号に大きな影響を与えます。実際、光学系全体の波面収差量は、2乗平均値で $0.03 \sim 0.04 \lambda$ まで抑え込まれています。また、2層ディスクにおいては、L0層およびL1層の2種類の記録層があり、カバ―層の厚みが $20 \sim 30 \mu\text{m}$ 異なっているため、さらに大きな球面収差が発生することになります。したがって、球面収差補正が必要となるわけです。

ここで、対物レンズの近軸光線と周縁光線を追いながら球面収差をみてみましょう。図1は、カバ―層の厚み誤差による波面の変化を示しています。図

1 (a) のように理想的な光学系においては、近軸光線と周縁光線は、対物レンズでディスク記録面の1点に集光されます。そのとき、ディスクで反射され、対物レンズを通過した光の波面は平坦になります。一方、カバ―層の厚みが dT だけ増した場合、近軸光線に対して周縁光線の集光位置が対物レンズから遠ざかるほうに移動します。開口数の小さい近軸光線では、カバ―層の厚み誤差に対して影響が小さいので、集光位置は厚み誤差のない場合とほとんど変わりません。しかしながら、図1 (b) のように波面収差を極小とする最良像面は、近軸像面と周縁光線の像面の間になり、この光軸方向のずれがいわゆる縦の球面収差となります。また、ディスクからの反射光の波面は、図1 (b) のように光軸に対して回転対称な輪帯となります。

2. 球面収差の検出方法

球面収差の検出方法は大きく分けて2つあります。1つは記録再生の前にテスト領域の再生信号品質が最良となるように波面収差の補正を行い、その補正情報から波面収差量を導く方法です。もう1つ

表1 BD方式の仕様, 2層BDの光学パラメータ。

項目	値
光源波長 (nm)	405
対物レンズの開口数 NA	0.85
基板カバ―層厚み (mm)	0.100
L1層	0.075
ディスク毎のカバ―層厚み誤差 (μm)	± 5

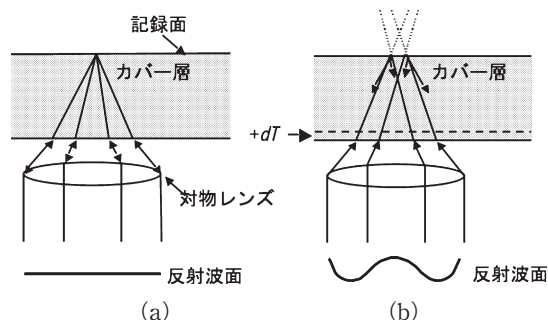


図1 カバ―層厚み誤差による波面の変化。(a) 厚み誤差なし、(b) 厚み誤差あり。

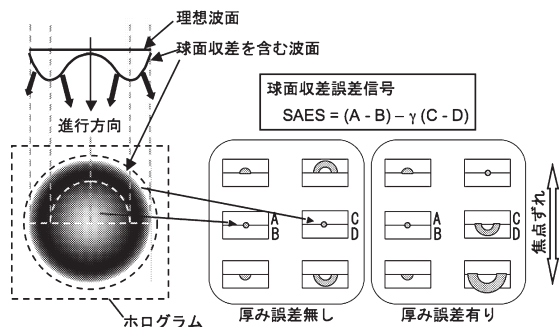


図2 ナイフェッジ法による球面収差の検出。

は、ディスクから反射された光に含まれる波面情報をリアルタイムに検出する方法です。ここでは、より高速・高精度に誤差検出可能な後者の方法について述べます。

カバー層に厚み誤差がある場合、前述の通りディスクからの反射光には球面収差が含まれていますので、レンズで集光すると、ディスク上と同様に、近軸光線と周縁光線の集光点が異なります。この近軸光線と周縁光線の集光点の差を検出すれば、球面収差の有無を検出できます。集光点の検出方法は、ナイフェッジ法やビームサイズ法、非点収差法が用いられます。ここでは、ナイフェッジ法について述べます。図2に示すように、ディスクからの反射光は、破線で示す分割パターンを有するホログラムにより内周部と外周部に分割され、それぞれ受光素子A、BおよびC、Dの分割線上に集光されます。厚み誤差がない場合、内周部と外周部の反射光は受光素子の分割線上に集光され、球面収差誤差信号(SAES: spherical aberration error signal)はゼロとなります。ここで、図2の式中の γ は内周部と外周部の光量差を補正するための係数です。ディスク上で焦点ずれが生じた場合でも、ホログラムにより分割されたそれぞれのビームは同方向に広がりますので、SAESはゼロのままです。一方、厚み誤差がある場合、SAESは球面収差量に対応した値を示します。

3. 球面収差の補正方法

このように検出した誤差に対して、ディスク記録面で波面収差が最小となるように光学系の収差を補

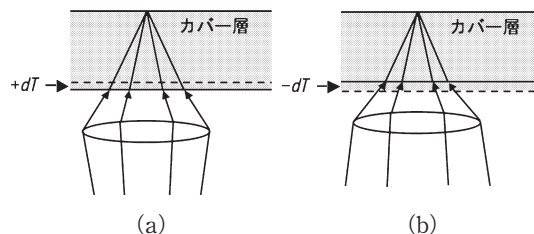


図3 カバー層厚み誤差の補正。

正しなければなりません。補正方法としては、図3(a)のように dT だけ厚くなった場合は発散光を、図3(b)のように薄くなった場合は収束光を対物レンズに入射させることで、球面収差を補正する方法があります。これらの発散光や収束光は、ビームエキスパンダーを用いたり、コリメートレンズを直接光軸方向に移動したりすることで生成します。また、位相変調器により球面収差を打ち消す方法もあります。

以上、カバー層厚み誤差の検出と補正に絞って説明してきましたが、ご理解いただけたでしょうか。球面収差検出方法については、対物レンズシフト特性を高めるために改良された分割パターンも報告⁹⁾されています。今後、HD画質のコンテンツの普及に伴い、さまざまな品質のディスクが出現するでしょう。これらの光ディスクから安定して情報を読み出すためには、高精度な波面検出と球面収差補正が必要です。また、次世代の記録媒体として期待されているホログラフィックメモリーは、波面情報を直接媒体に記録する技術であり、さらに高精度で安価な波面検出技術や補正技術の開発が期待されます。

この記事に関するお問い合わせは、onodera@uitech.ac.jp もしくは hayasaki@opt.tokushima-u.ac.jp までお寄せください。

(シャープ株式会社 佐伯哲夫)

文 献

- 1) 金澤泰徳, 緒方伸夫, 堀山 真, 西岡澄人, 三宅隆浩, 中田泰男, 倉田幸夫: “Blu-ray Disc 用光ピックアップの球面収差信号検出 (I)”, 2005 年春季応用物理学学会関係連合講演会講演予稿集, No. 3, 1a-ZH-12.