

CDやDVDに代表される光ディスクは、すでにみなさんの身近な存在になっており、日常よく使われていることと思います。この光ディスクに対し、レーザー光を照射し情報の読み書きを行うデバイスが、光ピックアップまたは光ヘッドとよばれるものです。光ディスク上に刻まれたマイクロメートルサイズのピット情報を読み出すためには、光をマイクロメートルオーダーにまで絞り込まなくてはなりません。この光スポットを形成するための光学系は、一般的には図1に示すような構成になっています。半導体レーザーから放射されたレーザー光は、コリメートレンズにより平行光にされ、対物レンズによって光ディスク上に集光されます。この光学系には、レーザー光を回折限界近くまで集光するためにさまざまな工夫が盛り込まれており、今回はその技術について紹介します。

### 1. ガウスビームとスポット径

表1に、現在市販されている代表的な3種類の光ディスクCD、DVD、Blu-ray Discの光学パラメータを示します。波長 $\lambda$ の平面波が開口数 $NA$ の対物レンズに入射したとき、その集光スポットの直径 $2w_0$ は、

$$2w_0 = 0.82 \lambda / NA \quad (1)$$

と表されます。ここでは光スポットの中心強度の $1/e^2$ となる半径をスポット半径 $w_0$ と定義します。この集光スポットの強度分布はサイドローブを有し、Airyパターンとよばれます。

一方、半導体レーザーから放射されるレーザー光の振幅分布はガウス分布に従い、その集光ス

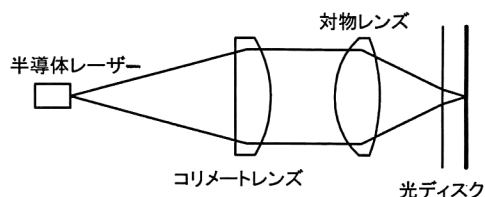


図1 光ピックアップの光学系。

ポット直径 $2w$ は式(1)で求められる値よりも大きくなります。集光スポット直径 $2w$ は、対物レンズに入射するレーザー光のビーム半径 $w_1$ (ガウスビームの中心強度の $1/e^2$ となる半径)と、対物レンズの有効半径 $a$ との関係から定まります。この比をけられ係数 $t$ と名づけ、 $t = a/w_1$ と定義しますと、けられ係数 $t$ と集光スポット半径 $w$ との関係は図2のように表されます。ここでは、レンズ径 $a$ を固定し入射ビームのビーム径 $w_1$ を変化させ、集光スポット半径 $w$ と式(1)で求められる $w_0$ の比を縦軸としています。この結果から、集光スポットを細く絞り込むためには、けられ係数 $t$ を小さくする、すなわち対物レンズ入射光の強度分布を均一に近づけなければいけないことがわかります。しかし $t$ を小さくすると、対物レンズによる入射光のけられが大きくなるため、入射光の利用効率は低下してしまいます。この光利用効率 $Q$ は、けられ係数 $t$ を用いて

$$Q = 1 - \exp(-2t^2) \quad (2)$$

と表されます。光利用効率の関係も図2に併せて示します。けられ係数 $t$ は通常0.5前後の値が選ばれ、光ピックアップの光利用効率がそれほど高くないことがおわかりいただけると思います。

表1 光ディスクの光学パラメーター。

	CD	DVD	Blu-ray Disc
光源波長 $\lambda$	780 nm	650 nm	405 nm
基板(カバー層)厚み $T$	1.2 mm	0.6 mm	0.1 mm
レンズ開口数 $NA$	0.45	0.6	0.85
集光スポット径 $2w_0$	1.4 $\mu\text{m}$	0.9 $\mu\text{m}$	0.4 $\mu\text{m}$
コマ収差量 ( $\propto T \times NA^3 / \lambda$ : CD比)	1.0	1.42	1.08
球面収差量 ( $\propto NA^4 / \lambda$ : CD比)	1.0	3.79	24.5

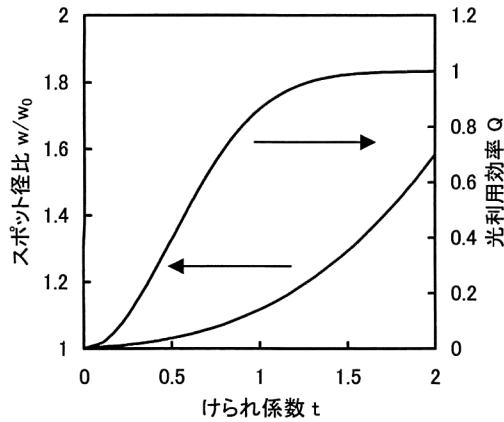


図2 スポット径と光利用効率の関係。

光ディスクに情報の書き込みを行う場合、レーザー光の集光スポットで光ディスク媒体を一定温度以上に加熱しなければならないため、光利用効率も十分に確保する必要があります。光学系の設計においては、けられ係数  $t$  を最適化して、光利用効率と集光スポット径のバランスをうまくとらなければなりません。

## 2. 半導体レーザーとスポット径

半導体レーザーからは楕円状のビームが放射されます。レーザー活性層に水平な方向の放射角は狭く、垂直な方向の放射角は広がっており、その放射角比は2~4程度です。このため集光スポットも楕円状となり、レーザー活性層に垂直な方向の集光スポット径が細くなります。通常は、短いピット長のピットの検出感度を高めるため、この集光スポット径が細くなる方向をピット列が並ぶ方向と平行になるよう光学系を配置します。また、楕円状ビームを対物レンズで集光すると光利用効率が低下するため、プリズム等を利用して円形ビームに整形してから、対物レンズで集光するという構成がとられることもあります。

## 3. 収差の影響

集光スポットを劣化させる要因として、収差の問題を忘れることはできません。光ピックアップでは、光学部品の収差のほかに、半導体レーザーの非点較差に起因する非点収差、光ディスク基板の傾きにより発生するコマ収差、光ディスク基板の厚み誤差により発生する球面収差などを考慮する必要があります。

この中でコマ収差と球面収差は特にレンズ開口数  $NA$  の影響を強く受け、 $NA$ 、基板（カバー層）厚  $T$ 、光源波長  $\lambda$  と各収差の関係は、近似的に次のように表されます。

$$\text{コマ収差} \propto (T \times NA^3) / \lambda$$

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

CDにおける収差量を1としたときの、各光ディスクにおけるコマ収差量、球面収差量の値を表1に示します。CDでは  $NA$  が小さいため収差量も小さく、基板厚  $T$  を1.2 mmと厚くすることができました。しかし、光ディスクの高密度化に伴って  $NA$  が大きくなると、コマ収差を抑制するために  $T$  を薄くしなければならなくなり、Blu-ray disc ではカバー層厚は0.1 mmにまで薄くなっています。また、Blu-ray disc では球面収差の影響も無視できなくなっており、球面収差補正の必要性も生じています。

回折限界に近い集光スポットを得るための工夫に絞って、以上説明してきましたが、これ以外にも光ピックアップの光学系設計においてはさまざまな要素を考慮する必要があります。光ディスクの高密度化に伴って、光学系への負担はますます大きくなっています。さまざまな課題を解決し、いかにして洗練された光学系を創出するかが、光学設計者の腕のみせどころとなっています。

この記事に関するお問い合わせは、kato@optsun.riken.go.jp もしくは ura@dj.kit.ac.jp までお寄せください。  
(シャープ(株) 岡田訓明)