

# 光ディスクの高密度化に貢献する光学素子アポダイザの特性

Apodizer Characteristics for Higher Recording Density Optical Disks

安東 秀夫  
ANDO Hideo

光ディスクの高密度化に有効な新光学素子“リング状アポダイザ”を開発した。光学ヘッド内の半導体レーザー光源から光ディスク媒体に到達する光路途中にこの素子を挿入し、光ビーム断面の一部をリング状に光量減衰、又は位相シフトさせる。この光学素子の利用により、光ディスク媒体からの信号再生(記録)特性の信頼性が向上することを解析的手法と実験により確認した。ここでの解析結果は、将来の高密度対応光学ヘッド開発に役立つばかりでなく、CDディスクとDVDディスクの互換光学ヘッドの設計にも有効である。

The author proposes an optical head with an annular apodizer, to achieve a higher density optical disk system. This annular apodizer, which is to be inserted between an optical disk and a laser diode, causes a wave front division and partially changes the complex amplitude transmission factor. The annular apodizer can be realized by modulating the amplitude or phase of the laser light wave front.

This apodizer-equipped optical head was verified both theoretically and experimentally to have a large tolerance for various aberrations. This technique can also be applied to an optical head that can retrieve signals from either CDs or DVDs.

## 1 まえがき

1996年11月に当社と松下電器(株)からDVDVideoプレーヤの発売が開始されて以来、DVDプレーヤは特に米国で急速に普及が進んでいる。また、映像録画が可能なDVDディスク(Real Time Recording)の規格開発が進められており、DVDレコーダが将来一般家庭に浸透していくと予想される。DVDディスクの1層の記憶容量(4.7Gバイト)はCDディスクの7.2倍であり、光ディスクの記録容量を大幅に増加させると、新しいアプリケーション市場を創造することができる。

この研究は、光学的手法を用いて光ディスクの大容量化を行うことを目的としている。図1に示すように、光ディスクから信号を読み取る光学ヘッド内の半導体レーザー光源から光ディスクに到達する光路途中に挿入し、光断面の一部をリング状に特性変化させる光学素子を“リング状アポダイザ”と呼ぶ。当社は、この構造を世界で初めて提案した<sup>(1), (2)</sup>。リング状アポダイザを用いると集光スポットサイズが小さくなり、光ディスクを大容量化できる。焦点深度や光ディスクの傾きマージン(実行使用が可能な範囲)などのマージン特性が向上する効果もある。また、対物レンズを通過する光断面の一部を特性変化させる技術は“基板厚の異なるDVDディスクとCDディスク間の互換性を確保する”という別の目的にも利用されている<sup>(3)</sup>。

リング状アポダイザにより対物レンズを通過する光断面のどの部分にどの程度まで特性変化させると集光スポット

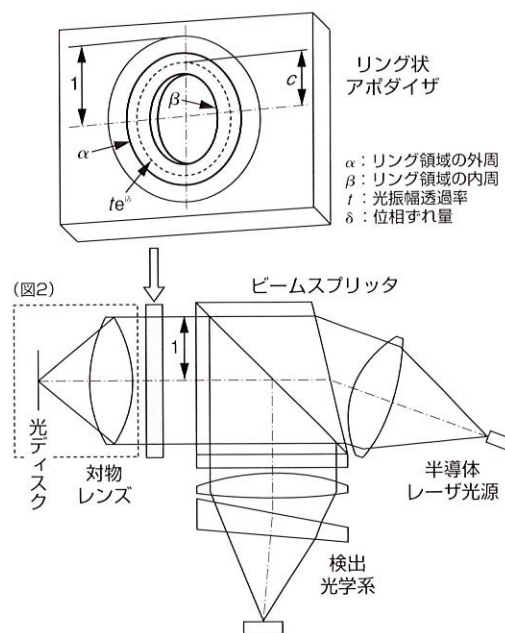


図1. リング状アポダイザと評価用光学ヘッド 光断面の一部をリング状に特性を変化させる。  
Optical head with annular apodizer

特性にどのような影響を与えるかについて統一的に解析された文献は、今までほとんどなかった。ここでは、汎用性と統一性を持った特性理論を明示する。新しく発明したリング状アポダイザの大きな特長を概説(2章)し、その後で一般的特性(3章)、最後に再生(記録)に関する安定化特性(4章)について述べる。

## 2 リング状アポダイザの特長

DVDVideoディスクの記録面上では微小な凹凸形状のピットにより映像信号が記録され、そこに照射される集光スポットからの光反射量の変化で信号を検出している。図2は光ディスクからの反射光の検出状況を示すために、図1の破線部分を拡大した図である。図2(b)に光ディスクのピットと再生光との間の大きさの関係を示した。破線の円で示したような大きな集光スポットで記録面上を照射した場合には、この微小なピットからの反射光量変化は平均化されて小さくなる。斜線で示した小さな集光スポットで個々のピットを照射すると大きな光反射量変化が得られる。このように集光スポットの小径化が光ディスクの高密度化に直接結びつく。記録面上の集光スポットサイズ $d$ の値は図2(a)に示すように空気中での対物レンズの絞り角 $\theta$ 、光学ヘッドに用いる半導体レーザー光源波長 $\lambda$ に関して

$$d = f \lambda / \sin \theta \quad (1)$$

の関係が成り立つ。リング状アポダイザは(1)式での定数 $f$ の値を変化させて集光スポットサイズ $d$ を小さくする働きがある。

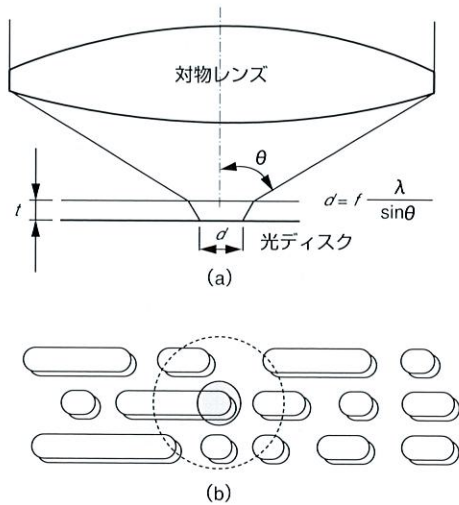


図2. 対物レンズ絞り角 $\theta$ とスポットサイズ $d$ の関係 スポットサイズは $d = f \lambda / \sin \theta$ で決まる。  
Relationship between spot size and NA

光学的手法を用いて集光スポットサイズ $d$ を小さくする方法として、従来は図3(a)のように対物レンズを通過する光断面の中央部だけ光量減衰、又は位相シフトさせていた。集光スポット周辺部での光分布領域を図3(c)に示すようにサイドローブと呼ぶ。従来の方法ではこのサイドローブが大きくなっていった。このサイドローブが隣接ピットからの信号を混入させ、正規の再生信号の質を劣化させる間

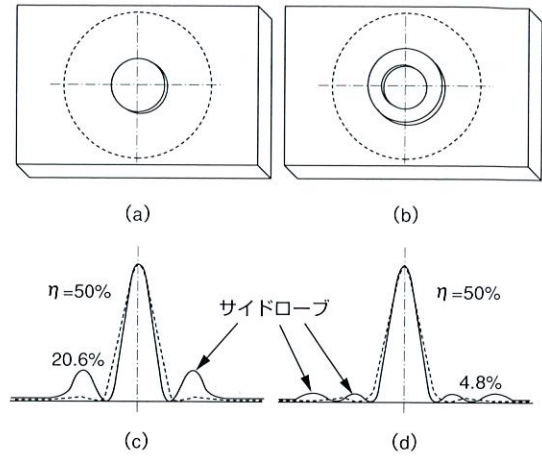


図3. リング状アポダイザ使用時の特長 リング状アポダイザによりサイドローブ強度が低減する。  
Conventional circular (a) and new annular apodizer (b)

題があった。新たに発明したリング状アポダイザ(図3(b))を使用すると集光スポットサイズ $d$ を小さくしながらサイドローブも小さくできる(図3(d))特長がある。同一基準条件としてピーク効率 $\eta$ を50%にしたときの効果を比較すると、リング状アポダイザを使用することでサイドローブ強度が従来の20.6%から4.8%まで低減できる。ここで、図4(c)に示すようにアポダイザ使用前の集光スポットの中心強度を1とし、アポダイザ使用後の中心強度の値 $\eta$ を“ピーク効率”と定義する。

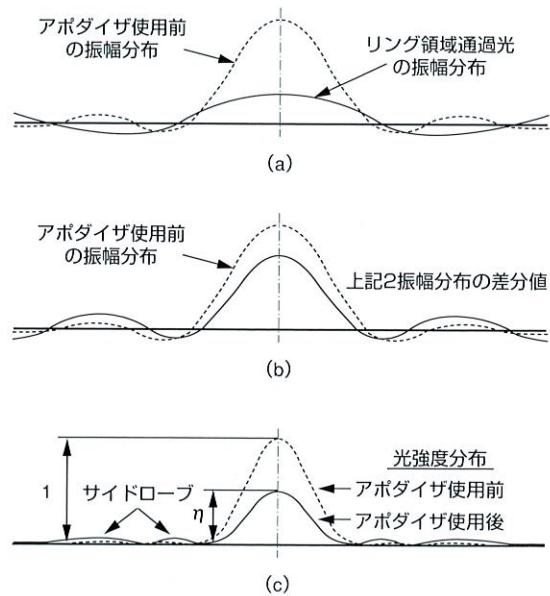


図4. 集光スポット小径化の原理 従来光とリング領域通過光間の干渉作用で小径になる。  
Beam waist spot amplitude/intensity distribution

### 3 リング状アポダイザの一般的特性

図4を用いて集光スポットが小さくなるメカニズムについて説明する。図4(a)は従来の集光スポットの振幅分布(アポダイザ使用前)と図1で示したアポダイザ内のリング領域を通過した光の集光位置での振幅分布を重ねて描いた図である。両者の差分値が図4(b)に示すようにリング状アポダイザを使用したときの集光スポット振幅分布となり、それぞれの位置での差分値を二乗したものが図4(c)に示すように光強度分布となる。図4(b)からわかるようにリング領域を通過した光の振幅分布を引いた結果、中央部での振幅分布の幅が従来と比べて狭くなる。

図1に示すようにアポダイザ内のリング領域での光透過複素振幅値を  $t e^{i\delta}$  とする。 $\delta = 0$  の時には光量変化型アポダイザ、 $\delta \neq 0$  では位相変化型アポダイザを意味する。

図1に示すように対物レンズの瞳(ひとみ)半径を1とし、リング領域の外周  $a$  の半径を  $a$ 、内周  $b$  の半径を  $b$  とし、リング中央部の半径を  $C$  とする。半導体レーザー光源から出た光の強度分布はガウス分布をしており、対物レンズ上での光強度が中心の  $e^{-2}$  になるところまでの半径値の逆数を長軸側と短軸側でそれぞれ求め、両者を二乗平均した値を  $\sigma$  と定義する。上記の各パラメータ間にはそれぞれ関連があり、 $t$  が小さく、 $a - b$  の値が大きくなるとピーク効率  $\eta$  の値が小さくなる。互いの関係を調べた結果、集光スポット特性に顕著に影響を与える独立パラメータはリング中央半径  $C$  とピーク効率  $\eta$  に近似的に絞られることがわかった。図5に示すように、ピーク効率  $\eta$  が一定で比較的大きな値を持っている場合にはアポダイザのタイプ(光量変化型/位相変化型)によらずほぼ類似した集光スポット特性を示す<sup>(5)</sup>。

図5からわかるようにリング中央部半径  $C$  とピーク効率  $\eta$  が小さくなると集光スポットサイズ(半値幅)が小さくなる。ところで、従来と比べて集光スポットが小さくなるときのリング状アポダイザの条件はピーク効率  $\eta$  によらず次

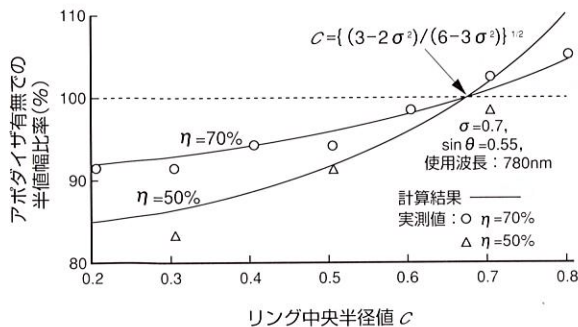


図5. アポダイザ寸法と集光スポットサイズの関係  $C$  と  $\eta$  が小さいと集光スポットサイズは小さくなる。

Half-width for annular radius

式で近似される<sup>(5)</sup>。

$$C < \{(3 - 2\sigma^2) / (6 - 3\sigma^2)\}^{1/2} \quad (2)$$

ピーク効率  $\eta$  を変化させたときのサイドローブ強度変化を図6に示す。 $C = 0.5$  の近くでは、ピーク効率  $\eta$  を小さくすると2次のサイドローブ強度が増加する傾向にある。リング状アポダイザを使用した場合にはサイドローブが複数現れる。図3(d)において、集光スポットの中心部に近い方から1次、2次のサイドローブと呼んでいる。既存のDVDVideo ディスクシステムでサイドローブ強度と再生信号のジッタ量の関係を測定した結果、各種のマージンも視野に入れるとリング状アポダイザを使用した光学ヘッドではすべてのサイドローブ強度を1.3%以下に設定することが望ましいとわかった。その条件を満足するには、図6から  $C \approx 0.5$  のときにはピーク効率  $\eta$  を75%以上に設定すると良いことがわかる。

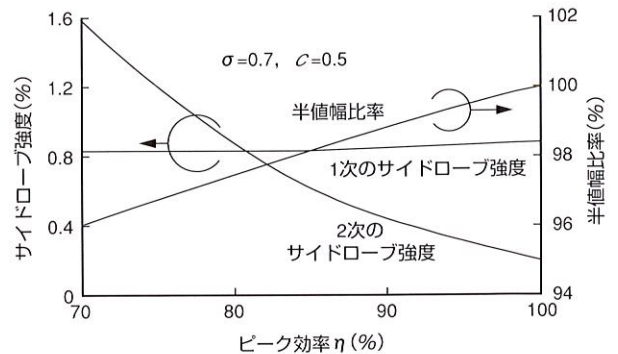


図6. ピーク効率  $\eta$  とサイドローブ強度の関係  $\eta$  が小さいときに2次のサイドローブ強度が大きい。

Relationship between  $\eta$  and side-lobe intensity

### 4 再生(記録)特性の安定化技術

図7(a)からわかるように、光ディスクと対物レンズの距離が変化すると光ディスク上のスポットサイズが変化する。光ディスクには面ぶれや反りがあるので、再生(記録)時には、光ディスクと対物レンズの距離が一定になるよう対物レンズを移動させている。図7(b)のようにある程度距離が変化してもスポットサイズが一定にできれば、再生(記録)に対するマージンが向上する。ピーク効率  $\eta$  を小さくするとスポットサイズが一定である距離(焦点深度)が大きくなる<sup>(4)</sup>。更に、 $\eta$  を小さくすると、焦点が合った位置  $j$  より離れた位置  $h$  で再度スポットサイズが小さくなるという奇妙な現象が起きる。光の持つ周期性の影響で従来光学系でも潜在的には上記の性質を持っている。従来光学系では焦点が合った位置  $j$  での光強度が十分大きいので、離れた位置  $h$  での中心強度は相対的に微小となり、一般的には測定範囲

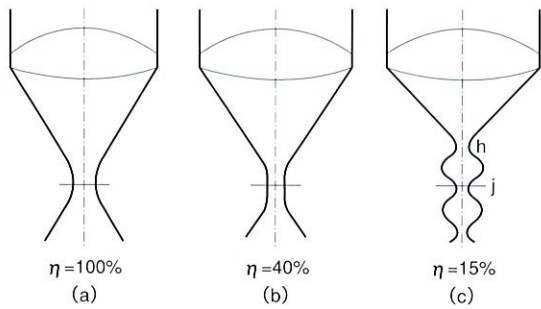


図7. アポダイザによる焦点深度向上作用 アポダイザは焦点深度を深くする作用を持っている。

Defocusing characteristics of apodizer

以下になっている。アポダイザを使用してピーク効率  $\eta$  を小さくすると、上記の性質が顕著に現れる。

リング状アポダイザは光ディスクの傾きの悪影響を低減させる効果も持っている。光ディスクが傾くと、図1のリング領域を通過した光が傾きの影響を打ち消す作用をする。図8に示すように、集光スポットサイズ、サイドローブ強度ともにアポダイザを使わない従来光学系と比べてディスクが傾いたときの変化が少なく効果が出ている<sup>(5)</sup>。もっとも光ディスクの傾きの影響を低減させる条件は  $C=0.5$  前後であることを解析的に求め、実験により確かめた。

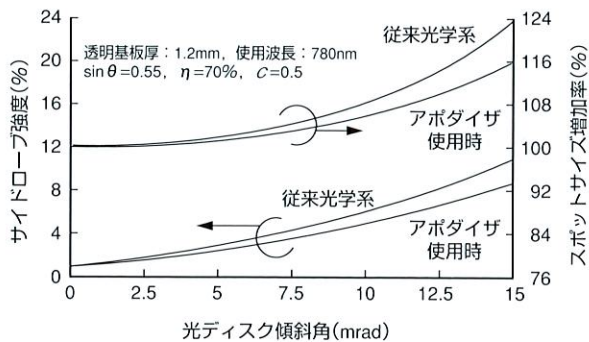


図8. 光ディスク傾きと集光スポット特性の関係 リング状アポダイザは光ディスクの傾きの影響を低減する。

Beam waist spot distribution for coma aberration

## 5 あとがき

リング状アポダイザを使用したときの集光スポットに与

表1. リング状アポダイザによる特性一覧

Pros and cons of annular apodizer

効果 (効果を出す条件)	副作用 (副作用低減条件)
<ul style="list-style-type: none"> <li>集光スポットサイズ小径化</li> <li>再生信号解像度向上 (<math>C \leq 0.7</math>)</li> <li>焦点深度向上 (<math>C \leq 0.6</math>)</li> <li>ディスク傾きマージン向上 (<math>C \approx 0.5</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>サイドローブ強度増加</li> <li>ジッタマージン低下 (<math>\eta \geq 70\%</math>, <math>C \geq 0.35</math>)</li> <li>光利用率の低下 (<math>\eta \geq 70\%</math>)</li> </ul>

える影響を表1に示す。リング状アポダイザを用いると集光スポットサイズが小さくなり、焦点深度や傾きマージンなどのマージン特性が向上する効果を持っている。また、対物レンズを通過する光の一部を特性変化させてDVD/CDの互換を確保したヘッドも製品化されている。その反面、サイドローブ強度が増加して再生信号に混入するノイズ信号が増加するという副作用も持っている。表1に示した特性を把握した上で、適用する光ディスクシステムに最適なアポダイザ形状を設定する必要がある。表1の結果から、 $0.35 \leq C \leq 0.6$ ,  $\eta \geq 0.7$ の条件が一般的な光ディスクシステムに適合したアポダイザ形状と思われる。

光ディスクの高密度化と再生(記録)特性の安定化を実現するには、今後一層リング状アポダイザ技術の重要性が増すと考えられる。

光ディスクの透明基板厚  $t$  が変化したときに発生する悪影響の低減化方法については、今後報告したいと考えている。

## 文献

- (1) Ando, H. Phase-shifting apodizer of three or more portions. Jpn. J. Appl. Phys. 31, 2B, 1992, p.557-567.
- (2) Ando, H. U. S. Patent 5349592, 1994.
- (3) Komma, Y., et al. Dual focus Optical head with a hologram-integrated lens. Jpn. J. Appl. Phys. 36, 1B, 1997, p.474-480.
- (4) Ando, H., et al. Optical head with annular phase-shifting apodizer. Jpn. J. Appl. Phys. 32, 11B, 1993, p.5269-5276.
- (5) Ando, H. Preventing coma aberration by annular apodizer for optical disk tilting. Jpn. J. Appl. Phys. 38, 2A, 1999, p.755-766.



安東 秀夫 ANDO Hideo

デジタルメディア機器社 光・磁気ストレージ開発センター  
開発第二部主務。  
DVD 応用規格開発に従事。  
Data Storage Development Center