

最近の技術から

波長 351 nm, NA 0.90 の光記録用対物レンズ

丸山 晃一

旭光学工業(株)研究開発センター光学研究部 〒174 東京都板橋区前野町 2-36-9

1. はじめに

ここ数年光ディスクの大容量化のため原盤作成系にも記録波長の短波長化, 対物レンズの高 NA 化が求められている. 我々は波長 351 nm 用 NA 0.90 の対物レンズを製作し良好な性能を得た. ここに短波長高 NA のマスタリング用レンズの設計と製造について我々の製作したレンズの構成と特徴をもとに述べる.

2. 仕様

我々が製作したレンズの仕様は以下のとおりである.

使用波長 351 nm Ar レーザー
 f 4.0 mm
 NA 0.90
 イメージサークル ϕ 0.15 mm
 波面収差 0.07λ (rms)
 全長 30.85 mm
 作動距離 0.35 mm
 重量 13 g

3. 波長 351 nm と硝材

光学ガラスは一般に内部吸収のため 400 nm あたりから急激に透過率が低下し紫外光はほとんど透過しない. 特に高屈折率のガラス, 高分散ガラスでその傾向が顕著である. このため紫外光用のレンズは通常, 光学ガラスよりも屈折率の低い合成石英, 蛍石で作られている. しかし屈折率が低い場合, 同じパワーを得るための曲率半径が小さくなり高次収差の発生が多くなるので, 収差補正上は高屈折率材料を用いて設計することが好ましい.

幸いなことに 351 nm では通常の光学ガラスの中にも十分に光を透過するものが存在し, 高価な合成石英等を用いることなしにレンズを製作できる. この点で 351 nm という波長はレンズ設計上好ましい最短波長であった. これ以上短波長化する場合には合成石英, 蛍石を使用する必要がありレンズ全長増大が避けられない.

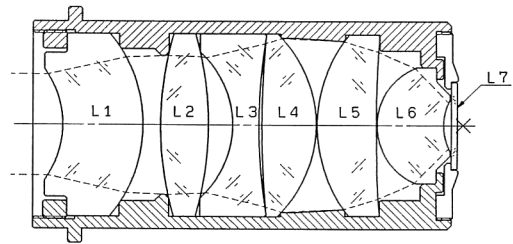


図1 レンズ構成

4. レンズ設計

図1に今回製作したレンズの構成を示す. ワーキングディスタンスを稼ぐために光束径を一度広げるための負レンズ, マージナル光線の高さが高くなったところでは平行光にする正レンズ, 平行光を一気に集光する正レンズ群というレンズ構成を基本に高次の球面収差の発生を抑えながら球面収差, コマ収差を補正するようにレンズタイプを決定する. このとき高 NA 対物レンズでは図1 L6のように必ず最終レンズの光源側面が強い凸面になり加工, 面精度の測定ともに難しくなるので, この面の有効半径 h と曲率半径 r の比 (h/r) が大きくなりすぎないように注意する必要がある.

5. 色収差補正

また短波長になるとフォーカシング用センサーの感度が低下するため, フォーカス用に別の長波長光を用いる場合がある. この場合二つの波長の色収差を補正することが望ましい. 351 nm ではかろうじて高分散ガラスで透過率の高い硝材 (F8, F2) が存在するので低分散ガラスの正レンズと組み合わせ軸上色収差を小さくすることが可能である.

図1のレンズでは色収差補正を積極的には行っていないが, L1を負正に分割し, L4, L5の間にほぼパワーを持たない色補正用のレンズ群を付加し, 10群10枚あるいは11群11枚にすると色収差補正も可能である. た

だしこのとき接着剤が紫外線を吸収し変質するので接合レンズを用いることは望ましくない。このため 351 nm と He-Ne レーザーの 633 nm で軸上色収差と球面収差を完全補正するようなレンズは、レンズの面精度などの誤差感度を下げた設計ではレンズ厚さが増加し十分な透過率が得られなくなる。そこで色収差補正量が少なくてすむ 400 nm 台のフォーカス光源を選ぶか、若干の軸上色収差を許容しフォーカス用光束では平行光入射、平行光射出ではない系を用いる等の対応が考えられる。

6. 加工時の収差補正

製造上の誤差による収差発生は NA が大きくなると急激に大きくなり、加工精度のみで残存収差を 0.07 λ rms 以下に抑えるには

- 面精度ニュートン 0.5 本以下
- 面アス 0.05 本以下
- 屈折率 0.00020 以下
- レンズ厚 1.5 μm 以下
- レンズ間隔 1.0 μm 以下
- 偏心 0.2 μm 以下

が必要である。特にレンズ厚、間隔、偏心については通常の加工機では製造困難であり、そこで我々は加工精度をやみくもに上げ作るのではなく組立時に調整を行って性能を作り出すよう、組立時の調整を容易に行うことに主眼をおいて球面収差、偏心コマ収差をできる限り独立に補正する形を考えた。

6.1 球面収差補正

レンズ厚、レンズ間隔、屈折率、面の誤差によって球面収差は変化する。一般には球面収差の補正はレンズ間隔を間隔リングなどによって変化させることで行われるが、本レンズのように高 NA のレンズでは誤差の発生する面により、高次の球面収差の発生割合が異なるため補正が難しい。またレンズ群中の間隔リングを交換すると一度組み上げたレンズの偏心状態が変化し、偏心コマ収差の補正に変化を与えてしまう。

そこで我々は集光光束中に配置された平行平板の持つ収差に着目した。空気中にある光軸に垂直な平行平板を透過する集光光束に付加される波面収差 ΔOPD は n: 平行平板の屈折率, t: 厚さ, θ: 入射角 (NA = sin θ), θ': 屈折角として

$$\begin{aligned} \Delta OPD &= t \cdot n \{ n^{-2}(1 - \cos \theta) - (1 - \cos \theta') \} \\ &= (t/8n) \{ NA^4(1 - n^{-2}) + (1/2)NA^6(1 - n^{-4}) \\ &\quad + (5/16)NA^8(1 - n^{-6}) + \dots \} \end{aligned}$$

となることから、屈折率 n によって (NA の) 4 次の波

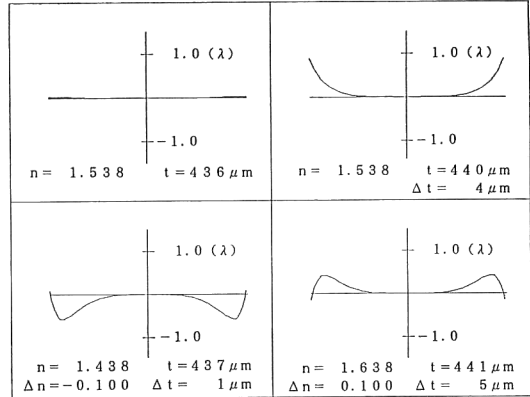


図 2 平行平板による波面収差変化

面収差 (3 次の球面収差) と高次の波面収差のバランスが選択でき、厚さ t によって収差補正量が変わえられる。

本レンズはこの特性を利用するため集光点側に平行平板 L7 を配置し、厚さおよび硝材 (屈折率) の異なったものと交換可能な構造とした。平行平板は高い面精度を維持しながら厳密に厚さをコントロールして製作できるため、他の収差に影響を与えることなく球面収差をコントロールすることが可能になった。図 2 に L7 の屈折率と厚さを変化させた場合の波面収差変化を示す。

6.2 偏心コマ収差補正

偏心コマは研磨芯取り時の偏心、組立時のレンズの平行移動、たおれによって発生する収差である。この収差はレンズの平行移動によって打ち消すことができるが、本レンズの場合 L3, L4 に偏心による収差変化感度が高い面があるため偏心調整レンズも収差変化感度が高いレンズを採用する必要がある。ところがこの感度が高いレンズでは目標とする波面収差量以内に調整するためには偏心調整を 1 μm 以下の微小ステップで行う必要があり、調整後のレンズ固定時の再偏心の問題がある。そこで本レンズでは二つのレンズを偏心調整レンズとし感度が 10 倍程度違う 2 レンズを粗調整と微調整とに使い分けて偏心コマ除去を確実にしている。

7. ま と め

高 NA の対物レンズを製作する場合、加工条件、測定方法、調整方法を考慮した設計をすることが重要である。我々はレンズ枠を 6 群 6 枚の集光レンズ群と 1 枚の収差補正用平行平板に分離し他の収差に影響を与えることなく球面収差をコントロールする方法を考案したことにより、351 nm の波長に対して波面収差 0.050 λ rms 以下の良好な性能を得ることができた。

(1994年1月31日受理)