

解説

非球面ガラスモールドレンズ

リチャード O. マシュマイヤー*・小西 和之**

* コーニング・グラス・ワークス中央研究所

** コーニング・ジャパン(株) 〒107 東京都港区赤坂 1-14-14

(1986年12月4日受理)

Aspheric Glass Molded Lenses

Richard O. MASCHMEYER* and Kazuyuki KONISHI**

* Research and Development Laboratory, Corning Glass Works, Corning, N. Y. 14830, USA

** Corning Japan K. K., 1-14-14, Akasaka, Minatoku, Tokyo 107

1. 序 言

最近、精密光学部品を研磨によらず、モールド成形で作ろうとする試みが多く、企業で行なわれており、プラスチック、ガラス等で一部実用化されている。例をあげるとコンパクトカメラのレンズには非球面プラスチックレンズがかなり使われており、また CD 用対物レンズのような回折限界性能を要求される精密レンズにもプラスチック成形レンズが広く使われている。ガラス成形レンズも数年前にまず低価格カメラに出現し、最近では一眼レフカメラにも非球面成形レンズが使われはじめており、さらに回折限界性能のものもほぼ実用の域に達している。

コーニングにおいても 1970 年代の末よりガラスの精密モールド成形法の開発に取り組んでおり、レーザー用のレンズをはじめとして光ファイバーコネクタ等を試作している。本解説ではそのなかでとくに開発の進んでいる光ディスク用対物レンズについて、4 種のレンズの設計パラメータと試作レンズの性能について述べる。これらレンズは、1 種を除いて実際の CD やビデオディスクのピックアップに搭載することを前提にして設計したものである。

2. レンズ設計

ここで述べるモールドガラスレンズはすべて単玉・両非球面で、図 1 に示すような外観・断面形状をもっている。形はすべて同じような両凸レンズであるが、直径、

厚み、曲率等の主要諸元はすべて異なっている。設計パラメータおよび性能仕様を表 1 に示す。これらの設計はモールド法特有の製造許容公差を入れて最適化したコンピュータプログラムをもちいて行なった。製造許容公差については既報¹⁾ のものと同様である。実際にレンズを作った場合の光学性能予測も行なったが、既報²⁾ でも述べたとおり、予測値は実測値とよく一致した。

これら 4 種のレンズはそれぞれ異なる点に主眼を置いて設計した。レンズ No. 1 は軸外での波面収差の劣化を極力抑えたもので、像高 75 μm での RMS 波面収差は軸上に比べ、わずか 0.001 波長上昇するだけである。このように収差特性が有効視野内でフラットなレンズを使えば、ピックアップの組立てはやりやすくなるが、フラットな特性を得るためにレンズ厚みが大きくなり、結果としてレンズが重くなるのでアクチュエータの設計は苦しくなる。この点を改良したのがレンズ No. 2 で、軸外収差をある程度犠牲にして WD を 1.85 mm と長くとり、重量を 0.24 g と軽くしている。レンズ No. 3 はコリメータと対物レンズの両機能をあわせもつ有限共役長の設計で、通常の球面組合せレンズ 5 枚分を 1 枚にまとめたものとなっている。レンズ No. 4 は光学式ビデオディスク用に NA を 0.5 と大きくしたものである。

3. 光学測定

3.1 測定方法

これらレンズの光学性能測定には 2 種類のヘテロダイン干渉計をもちいた。ひとつは Spectra-Physics DIAD

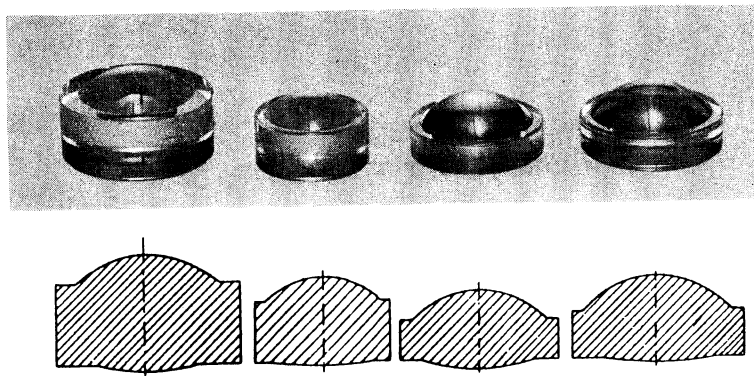


図1 試作したレンズの外観および断面形状
左から順にレンズ No. 1~4

表1 試作レンズの設計・性能仕様

Optical design specifications				
Parameter	Lens			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Number of elements	1	1	1	1
Wavelength (nm)	790	780	780	780
Numerical aperture	0.47	0.47	0.45/0.09	0.50
Entrance pupil diameter (mm)	4.2	4.2	4.45	4.50
Effective focal length (mm)	4.47	4.47	4.1	4.5
Working distance (mm)	1.51	1.85	2.57	1.87
Magnification	Infinite	Infinite	5	Infinite
Disc thickness (mm)	1.2	1.2	1.2	1.25
Disc refractive index	1.55	1.55	1.55	1.49
As-designed RMS image quality (waves) 0 μ m image height	≤ 0.003	≤ 0.002	≤ 0.003	≤ 0.004
Fabricated performance specifications				
Parameter	Lens			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
As-fabricated RMS image quality (waves) 0 μ m image height	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.035	≤ 0.040
75 μ m image height	≤ 0.031	≤ 0.050	≤ 0.050	≤ 0.050
Birefringence (waves)	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003
Mass (g)	0.54	0.24	0.24	0.32
Axial thickness (mm)	4.5	3.4	3.0	3.37
Physical diameter (mm)	7.2	5.4	6.33	6.7

550 を Twyman-Green 法で使い、もう一つは Zygo Mark III を Fizeau 法で使った。両機とも透過波面収差の絶対測定が可能で、Zernike 分析を含むデータのデジタル演算機能をもっている。Zernike 分析は自社開発のソフトと市販のソフト WISP の両方を用いて行なった。

両機での測定結果はよく一致した。

図2は波面収差測定法の概略である。軸外収差はレンズおよび aperture stop を一定量軸からずらせて測定する。図のガラス板は光学的にディスクと等価である。レンズの設計はこのディスク中の光路をとり入れたものと

なっている。有限共役長のレンズ No. 3 では光源側にもいくつかの光学部品があるため、それに応じた設計となっている。このレンズの測定には平面鏡の代わりに球面鏡を用いて行なった。これらの共役長あるいはガラス板厚みは、設計波長と測定波長のちがいが生じる収差

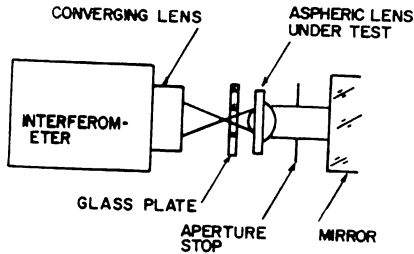


図 2 波面収差測定法の概略

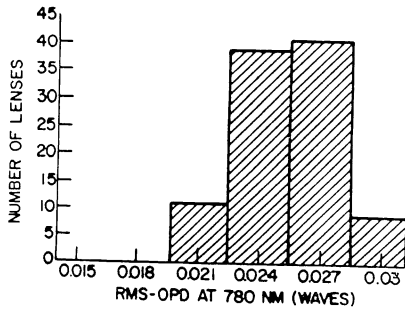


図 3 レンズ No. 2 100 個の RMS 波面収差分布

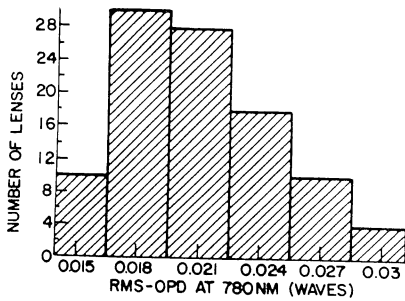


図 4 レンズ No. 3 100 個の RMS 波面収差分布

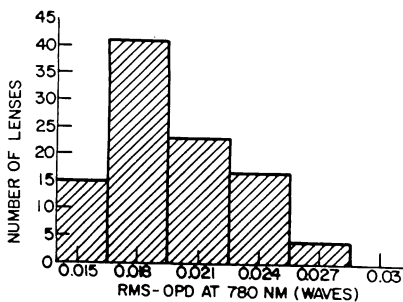


図 5 レンズ No. 4 100 個の RMS 波面収差分布

表 2 試作レンズの収差の個別成分

Component	Lens No. 2	No. 3	No. 4
Spherical	0.006	0.013	0.007
Coma	0.009	0.008	0.009
Astigmatism	0.004	0.010	0.006
Residual	0.023	0.011	0.016

Unit: Waves RMS (780 nm)

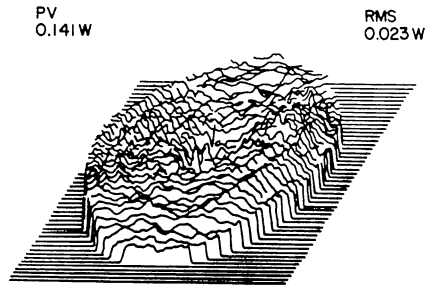


図 6 レンズ No. 4 の透過波面

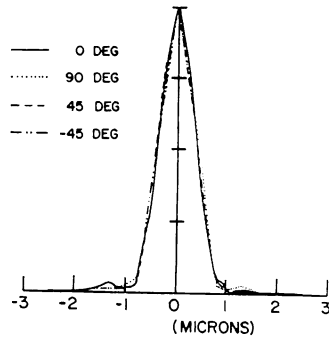


図 7 図 6 のレンズのスポット強度分布

を除くために設計仕様とは変えて測定した。このように調整することによって、測定波長 633 nm で得られた波面収差値からたんに波長比の逆数をかけるだけで、使用波長 780 nm での収差値を得ることができると考えられる。

3.2 測定結果

試作したモールドガラスレンズの RMS 波面収差 (780 nm) はほとんど 0.01 から 0.03 波長の範囲にはいていた。レンズ No. 2~4 の任意の 100 個のレンズの RMS 波面収差値の分布を図 3~5 に示す。また図 6 にレンズ No. 4 の代表的な 1 個のレンズの波面を示す。図中の PV および RMS 値は測定波長 633 nm のもので、780 nm での値はこれを 633/780 倍したものとなる。

レンズ No. 2~4 については Zernike 分析を 8 次まで

WISP を用いて行なった。結果を表 2 に示す。このなかでレンズ No. 2 の残余の収差が目につくが、これはおもに高次の球面収差である。

光ヘッドでの使用を考えた場合、波面収差だけでなくスポットの形、大きさもレンズ性能上重要である。図 6 と同じレンズのスポットの光強度分布を WISP によって計算したものが図 7 で、良好な対称性を示している。

4. その他の特性

実際に機器に組み込んで使用する場合には温度上昇は避けられないので、レンズの温度特性も十分検討しておくなければならない。このモールドレンズに使用しているガラスは熱膨張係数が $16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、屈折率の温度変化が $-1.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ の特性をもっている。これら二つの温度変化が逆符号となっているため、波面収差の温度変化は比較的小さい。温度変化による性能変化がもっとも大きいと考えられる有限共役長のレンズ No. 3 でみても、 -5°C から $+55^{\circ}\text{C}$ の温度変化に対し、波面収差はわずか 0.001 波長上昇するだけである。もちろん焦点距離は変化するが、これはフォーカサーボで吸収されるので実用上問題にはならない。

これらのレンズは、モールド用にとくに開発した屈折率 1.605、アッペ数 50.4 のガラスを使って製作した。このガラスの耐久性はコーニング BCD-C 20-60 あるいはショット SK 16 と同等で、通常の MgF_2 コーティングによって耐久性は向上し、透過率も 95% 以上となる。単層コーティングでも通常の摩擦テストはクリアす

るが、多層膜コーティングももちろん可能である。またガラスレンズであるので静電気、吸湿は問題にはならない。

これら 4 種のレンズはすべて周囲にマウント用の平坦部をもっている。この平坦部はレンズ成形時に同時に形成されるので、光軸に対する直角度、偏心に対しては十分な精度をもっている。また組合せレンズのように組立て接着部がない一体成形レンズであるため、温度サイクルや振動に対しても強い。

5. ま と め

コーニングにおいて設計、製作した 4 種のモールドガラスレンズの設計パラメータと光学性能について述べた。これらレンズは設計の主眼点は異なっているものの、いずれも両凸両非球面の 1 枚構成レンズである。RMS 波面収差はすべて 0.04 波長以下の良好な性能を示した。ガラス一体のレンズであることと、ガラス自身のもつ特性から、温度変化による収差の劣化はほとんどない。

文 献

- 1) R. O. Maschmeyer, C. A. Andrysick, T. W. Geyer, H. E. Meissner, C. J. Parker and L. M. Sanford: "Precision molded-glass optics," *Appl. Opt.*, **22** (1983) 2410-2412.
- 2) R. O. Maschmeyer, R. M. Hujar, L. L. Carpenter, B. W. Nicholson and E. F. Vosenilek: "Optical performance of a diffraction-limited molded-glass bi-aspheric lens," *Appl. Opt.*, **22** (1983) 2413-2415.