

УДК 535.8

Применение градиентно-асферических элементов в оптических системах

А. И. Гоев, В. И. Казаков, В. В. Потелов, Б. Н. Сеник
ФНПЦ ОАО "Красногорский завод им. С. А. Зверева", Россия

Рассмотрены преимущества применения градиентно-асферических элементов в оптических приборах и комплексах по сравнению с использованием традиционных оптических схем на базе однородных оптических сред, сферических поверхностей.

Применение асферических поверхностей (АП) и градиентных элементов в одной оптической системе позволяет совместить преимущества этих элементов в целях увеличения качественных характеристик системы и уменьшения ее габаритных размеров и массы. Это убедительно доказывают разработки оптиков-расчетчиков, некоторые из них рассмотрим ниже.

Для оптической записи на дисковых устройствах используются, как правило, микрообъективы с числовой апертурой не менее 0,4, линейным полем 0,1—0,2 мм и дифракционным качеством изображения. При этом увеличение числовой апертуры желательно в простейшей конструкции, т. е. в одиночной линзе. Так, одна традиционная линза обеспечивает числовую апертуру не более 0,1.

Одиночная положительная линза с одной АП 2-го порядка может применяться в качестве микрообъектива при числовой апертуре не более 0,25—0,3, а линза с одной АП 14-го порядка обеспечивает апертуру 0,47 [1], то же самое достигается в линзе с двумя АП 6-го порядка [2].

В одиночной линзе, изготовленной из градиентной среды, достигается числовая апертура 0,2—0,7 [3], однако достижение апертуры 0,7 обеспечивается применением функции распределения показателя преломления (РПП) уравнения 10-го порядка

$$n^2 = n_0^2 \left[1 - (gr)^2 + h_4 (gr)^4 + h_6 (gr)^6 + \dots \right]. \quad (1)$$

Увеличение порядка уравнения АП и функции РПП связано, как правило, с усложнением технологического процесса изготовления данных элементов. При совместном применении АП и градиентной линзы увеличение числовой апертуры возможно при меньших порядках уравнений АП и функции РПП. Так, достижение числовой апертуры 0,47 возможно при 2-м порядке уравнения функции РПП

$$n = n_0 + n_1 r^2 + n_2 r^4 + n_3 r^6 + \dots, \quad (2)$$

и 8-м порядке уравнения АП (3) [4].

$$z = \frac{y^2/r}{1 + \sqrt{1 - p(y/r)^2}} + Ey^4 + Fy^6 + Gy^8 + Hy^{10} + \dots \quad (3)$$

Применение двух АП 8-го порядка с градиентной средой с функцией РПП (1) 2-го порядка позволяет увеличить числовую апертуру до значения 0,8 [5], в то время как применение двух АП 6-го порядка на однородной линзе — числовой апертуры 0,47 [2].

Эффективно также совместное применение АП и градиентных элементов в фото- и вариообъективах.

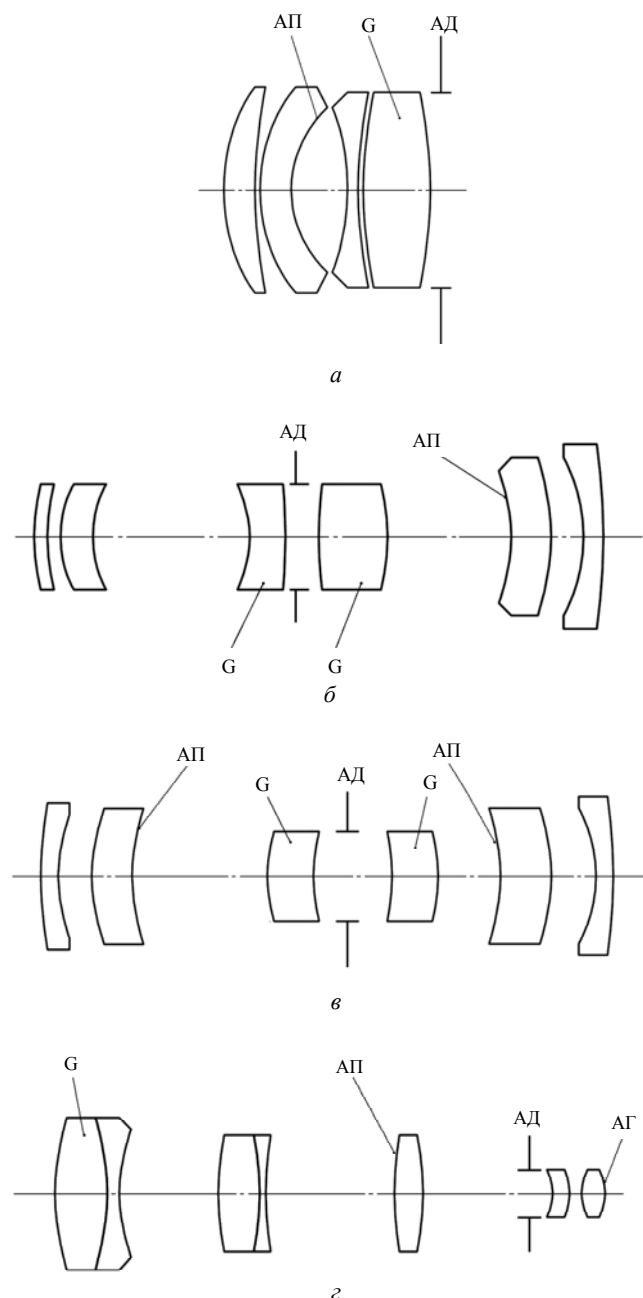
Применение линз из градиентного материала и АП в подобных объективах позволяет уменьшить число компонентов в схеме, а также массу и продольные размеры объективов. Затруднения, связанные с получением радиального градиента на значительную глубину, ограничивают применение линз с радиальным РПП в таких объективах. Это обусловлено тем, что радиальный градиент показателя преломления в большинстве случаев не может быть получен на глубину, соизмеримую с половиной диаметра линзы.

Так, для достижения оптических характеристик $f' = 50$ мм, $D/f' = 1:1,8$, $2\omega = 47,4^\circ$ достаточно четырехлинзовой конструкции объектива (рисунок, а) [6]. В данном объективе четвертая поверхность является асферической и описана уравнением 6-го порядка, а последняя линза — градиентный элемент с РПП, выраженным уравнением (2) 4-го порядка.

Наиболее наглядным примером применения АП и градиентных элементов в одной схеме с точки зрения упрощения конструкции являются вариообъективы. В работе [7] приводится шестилинзовая конструкция объектива, имеющего следующие характеристики: $f' = 35—105$ мм; $f'/D = 4,5—6,5$; $2\omega = 61,8—24,2^\circ$ (см. рисунок, б). В данной схеме девятая поверхность — асферическая 6-го порядка, а третья и четвертая линзы имеют неоднородный показатель преломления с функцией РПП (2) 3-го порядка.

Другим примером может служить вариант, приведенный в работе [8], в которой рассматривается шестилинзовая конструкция объектива, содержащего две АП (3) 6-го порядка и два градиентных элемента с функцией РПП шестого порядка (2) (см. рисунок, в). Этот объектив имеет следующие оптические характеристики: $f' = 50—100$ мм; $f'/D' = 4,0—6,4$; $2\omega = 47,5—24,2^\circ$. Как известно, достижение вышеуказанных характеристик

требует применения 8—12 однородных сферических линз.



Конструкция объектива:

a — четырехлинзовая; *б* — шестилинзовая с одной АП 6-го порядка и двумя градиентными элементами с функцией РПП 3-го порядка; *в* — шестилинзовая с двумя АП 6-го порядка и двумя градиентными элементами с функцией РПП 6-го порядка; *г* — семилинзовая

Применение градиентных элементов с осевым РПП и АП в одной схеме может быть показано на примере из [9] (см. рисунок, *г*). В данном случае объектив состоит из семи линз, пятая и седьмая из которых имеют по одной АП 6-го порядка, а вторая линза изготовлена из материала с функцией РПП 2-го порядка

$$n = n_0 + n_1z + n_2z^2 + n_3z^3 + \dots \quad (4)$$

Объектив имеет следующие характеристики: $f' = 7\text{--}21$ мм; $f'/D = 2,8$; $2\omega = 60,1\text{--}20,7^\circ$.

Анализ рассмотренных примеров показывает несомненные преимущества совместного применения АП и градиентных сред для достижения качественных характеристик оптических систем и уменьшения количества линз. Однако при этом значительно возрастают требования к технологии изготовления подобных систем, а также стоимость и длительность их получения, связанные с тем, что нанесение АП и получение градиентной среды продолжительны во времени. Несомненно, формирование АП и градиентной среды в одном технологическом процессе позволило бы значительно сократить продолжительность получения нетрадиционных элементов, а также снизить себестоимость оптической системы. Одним из путей решения данного вопроса является получение АП методом вакуумного напыления с одновременным управлением изменения показателя преломления в напыляемом слое. Изучение данной возможности представляет интерес как с научной, так и с практической точек зрения. В данном случае может быть обеспечено распределение показателя преломления (4). При этом также получается минимальная толщина градиентного слоя. Следует отметить, что подобная проблема с точки зрения управления aberrациями в оптической системе в настоящее время не рассматривалась.

Л и т е р а т у р а

1. Patent 4655556 US, G 02 13/08. Lens system for optical disks. 07.07.1985.
2. Patent 4571034 US, G 02 B13/08. Lens system for optical recording disks. 25.07.1983.
3. Patent 4684221 US, G 02 B3/04. Graded refractive index single lens system. 04.08.1987.
4. Patent 4772105 US, G 02 B3/04. Graded refractive index lens system. 20.09.1988.
5. Patent 4063312 JP, G 02 B9/00. Refractive index distribution type single lens. 28.02.1992.
6. Patent 3194508A JP, G 02 B9/00, 26.08.1991.
7. Patent 63067114 JP, G 02 B29C33/12. Mold assembly for ruleanizing tire. 25.03.1988.
8. Patent 415610 JP, G 02 B9/00. 21.01.1991.
9. Patent 3158817 JP, G 02 B15/20. Variable power lens. 07.08.1991.

Статья поступила в редакцию 22 декабря 2005 г.

A. I. Goev, V. I. Kazakov, V. V. Potelov, B. N. Senik
JSC “Krasnogorsky Zavod im. S. A. Zvereva”, Krasnogorsk, Russia

High correction of aberrations which is necessary for high resolution systems may be sufficient only at the expense of using a great number of components. It makes the design of the devices more complex, decreases the transmission factor, increases the weight and dimensions characteristics and the cost value. The said problems are settled in optical systems mainly by means of using the aspherical components. Use of the gradient-aspherical components in optical systems permits to increase the design characteristics of the system, in particular to make a numerical aperture greater, to decrease its in optical systems dimensions and weight.