

УДК 681.7+535.1

Д.С.Завгородный (3 курс, каф. ПФОТТ), С.А.Гусев, н.с.,  
В.Г.Ильин, к.т.н., с.н.с., Н.В.Ремизов, к.т.н., с.н.с.

## ХРОМАТИЗМ ГРАДАНОВ: РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСИИ

### В ГРАДИЕНТНЫХ СРЕДАХ

Расчет хроматических aberrаций граданов с фокусирующим свет распределением показателя преломления по данным о дисперсии распределения показателя преломления (РПП) принципиальных затруднений не вызывает и предпринимался неоднократно [1,2]. Удастся выбрать длину градана, при которой фокусные расстояния для двух длин волн совпадают [3], то есть выполнить условие ахроматизма увеличения. Компенсирующая хроматизм положения в градане – трансляторе эндоскопа – внешняя оптическая система предложена в работе [4]. Однако вопрос о хроматизме граданов должен, на наш взгляд, ставиться несколько шире. Анализ хроматизма полезен для разумного подхода к выбору методов синтеза граданов, поиску методов исправления хроматических aberrаций, к полезному использованию хроматизма. В области нормальной дисперсии  $\frac{\partial n}{\partial \lambda} < 0$ . Условием независимости траектории от длины волны для меридионального луча в градиентной осесимметричной среде является

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \ln \frac{n(r, \lambda)}{n(r_0, \lambda)} = 0, \quad (1)$$

что для известных материалов не выполняется. Иными словами, в настоящее время не существует материалов, в которых траектория лучей в той или иной степени не зависела бы от длины волны.

Спектральную зависимость параболического РПП (дисперсию РПП) можно представить в виде:

$$n^2(r, \lambda) = n_0^2(\lambda) [1 - g^2(\lambda) \cdot r^2], \quad (2)$$

где  $g$  – силовая постоянная градана и разделить влияние дисперсии РПП  $n_0$  на оси градана

$$\delta n_0 = n_0(\lambda_2) - n_0(\lambda_1) \approx \frac{\partial n_0}{\partial \lambda} \cdot \delta \lambda$$

и константы  $g$

$$\delta g = g(\lambda_2) - g(\lambda_1) \approx \frac{\partial g}{\partial \lambda} \cdot \delta \lambda.$$

Дисперсия  $\delta n_0$  имеет место всегда и всегда отрицательна, то есть с увеличением длины

волны ПП уменьшается. Дисперсия  $\delta g$  зависит от дисперсии градиента ПП. При дифференцировании (2) по  $\lambda$  для относительной дисперсии  $\delta g/g$  получается условие независимости от  $\lambda$ , аналогичное (1)

$$\frac{\delta g}{g} = \frac{n_R^2}{n_0^2 - n_R^2} \cdot \left( \frac{\delta n_0}{n_0} - \frac{\delta n_R}{n_R} \right) = 0 \quad (3)$$

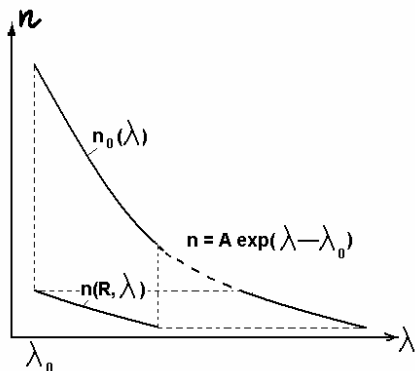


Рис. 1.

На рис.1 приведена схема спектральной зависимости ПП ( $\delta n_0$  и  $\delta n_R$ ), при которой силовая константа, согласно (3), не зависит от  $\lambda$ . Из рис. 1 видно, что  $n_0$  и  $n_R$  должны быть частями одной и той же экспоненты  $n = A \exp(\lambda - \lambda_0)$ .

На рис. 2 схематично представлены наиболее характерные случаи дисперсии распределений ПП: для градиентов на основе таллийсодержащих и литийсодержащих стекол. В первом случае (рис.2а) при изготовлении градиентов используется ионный обмен  $\text{P}(\text{стекло}) \ll \text{K}(\text{расплав соли})$ . Дисперсия таллиевого стекла на оси градиента и калиевого стекла на поверхности

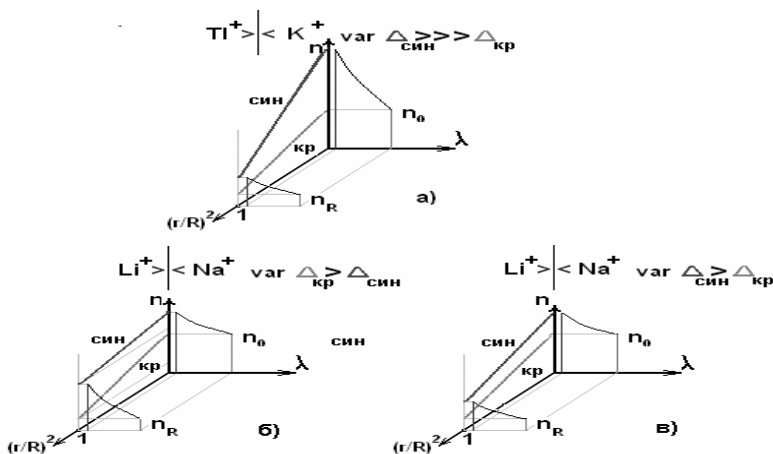


Рис. 2.

отличаются сильно, и перепад ПП возрастает в направлении коротковолновой области спектра. Причем  $\delta n_0/n_0$  превышает  $\delta n_R/n_R$ . Во втором случае (рис. 2б,в), общем для градиентов ионным обменом  $\text{Li}(\text{стекло}) \ll \text{Na}(\text{расплав соли})$ , дисперсия перепада ПП гораздо ниже и может менять знак. При формировании РПП конкурируют два фактора: изменение, в данном случае – увеличение, мольного объема стекла, и различие в поляризуемости обменивающихся компонентов.

Дисперсия стекла в результате изменения мольного объема уменьшается [5]. Так как дисперсия традиционно синтезированного натриевого стекла выше дисперсии аналогичного литиевого стекла, то градиенты на основе литийсодержащих стекол в зависимости от состава материнского стекла и режимов ионообменной обработки могут иметь как положительный (рис.2в), так и отрицательный продольный хроматизм (рис.2б). В первом случае преобладает фактор мольного объема, во втором – фактор поляризуемости. При отрицательном хроматизме лучи красной области спектра фокусируются сильнее, чем синей.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Sands P.J. Inhomogeneous lenses. V. Chromatic paraxial aberrations of lenses with axial or cylindrical index distributions// J.Amer.Opt.Soc.1971. V.61.N.11.P.1495-1500.
2. Miller M. Chromatic aberration of a gradient lens// Optoelectronics. 1970.V.2.N.3.P.109-113.
3. Kita H. et al. Light focusing glass fibers and rods// J.Amer.Cer.Soc.1971. V.54.N.7.P.321-326.
4. Leiner D.C., Prescott R. Correction of chromatic aberrations in GRIN endoscopes// Appl.Opt.1983. V.22.N.3.P.383-386.

5. Флоринская В.А. Изменение показателя преломления и дисперсии оптического стекла при тепловой обработке// Труды ГОИ. М.ГИЗ МОП. 1950. Т.19. Вып.131.109 с.