

---

---

# ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

---

---

УДК 535.31

А. П. ГРАММАТИН, Е. А. ЦЫГАНОК

## ОСОБЕННОСТИ ВТОРИЧНОГО СПЕКТРА ОБЪЕКТИВОВ КОЛЛИМАТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ В ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН 400—900 нм

Исследуется вторичный спектр оптических систем, состоящих из бесконечно тонких линз, из которых стекло хотя бы одной линзы обладает особыми свойствами. Исследование проводилось с помощью программного комплекса САРО.

*Ключевые слова:* хроматические aberrации, вторичный спектр, „особые“ стекла, диаграмма Аббе.

Приборы, предназначенные для сумеречного наблюдения, содержат приемники оптического изображения, работающие в широкой спектральной области и обеспечивающие высокую чувствительность. Для них необходима разработка соответствующих объективов. Так, например, приемник фирмы “TOSHIBA” (Япония) практически работает в диапазоне от 400 до 900 нм.

При угловых полях изображения, достигающих величин порядка  $2\omega \geq 20^\circ$ , использование зеркальных объективов исключено. В длиннофокусных линзовых системах, свободных от центрального экранирования и не содержащих асферических поверхностей, aberrацией, определяющей качество изображения в широком спектральном диапазоне длин волн, является вторичный спектр. Для его уменьшения необходимо применение оптических сред с наиболее близкими значениями частных относительных дисперсий при возможно большой разности коэффициентов дисперсий [1].

Вторичный спектр зависит от относительных частных дисперсий стекол различных марок, и для „обычных“ стекол параметры  $p$  и  $v$  связаны линейной зависимостью:  $p = B - Av$  [2].

Для оптической системы, состоящей из двух простых бесконечно тонких склеенных линз, ахроматизированной для заданных спектральных линий, вторичный спектр в случае бесконечно удаленного предмета вычисляется по формуле [2]

$$S'_{\lambda_2} - S'_{\lambda_1} = f' \frac{(p_{0-2})_2 - (p_{0-2})_1}{v_1 - v_2} = f'A.$$

Следовательно, чтобы определить вторичный спектр двухлинзовой системы, достаточно соединить прямой линией точки диаграммы, относящиеся к используемым маркам стекол: тангенс угла, образованного прямой с осью абсцисс, будет равен величине  $A$ . Для большинства пар стекол величина  $A$  изменяется в небольших пределах [2].

Оптические стекла, параметры  $p$  и  $v$  которых не удовлетворяют линейной зависимости, называются „особыми“ стеклами. Существенно уменьшить вторичный спектр с одновременным достижением достаточно больших числовых апертур можно путем применения оптических сред,

величины частных относительных дисперсий которых близки к дисперсиям „обычных“ стекол при возможно большой разности коэффициентов дисперсии.

При использовании комбинаций „обычных“ стекол в спектральном диапазоне 400—900 нм происходит увеличение вторичного спектра в 7,5 раз по сравнению со спектральным диапазоном 480—643,8 нм. Поэтому для уменьшения вторичного спектра необходимо использовать хотя бы одну линзу из „особого“ стекла или материалы с нелинейным ходом дисперсии, такие как флюорит, фтористый барий, фтористый литий и др.

Практически все графики вторичного спектра для оптических систем с фокусным расстоянием  $f' = 1000$  мм, содержащих комбинации из двух стекол (ОК1 и СТК12), одно из которых „особое“, в спектральном диапазоне 400—900 нм имеют два экстремума (рис. 1), которые отсутствуют в комбинациях из двух „обычных“ стекол (К8 и ТФ1) (рис. 2). Наличие нескольких экстремумов на графике вторичного спектра впервые было замечено Л. Н. Андреевым для сочетания флюорита и кварцевого стекла в диапазоне длин волн 240—656,3 нм. В рассматриваемом случае вторичный спектр определяется расстоянием между этими экстремумами.

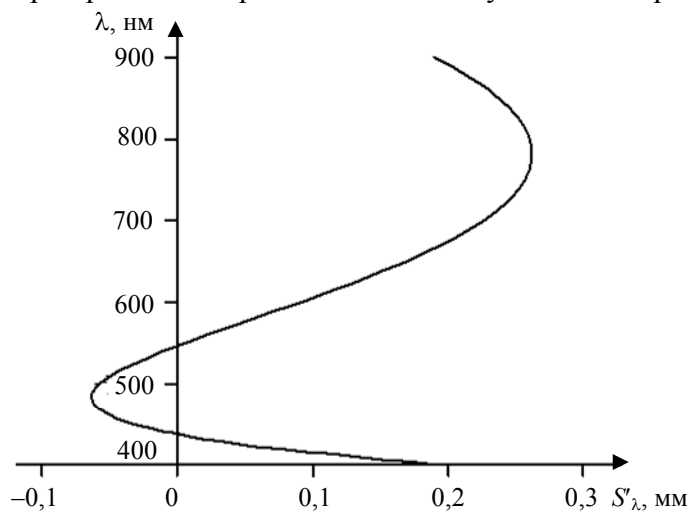


Рис. 1

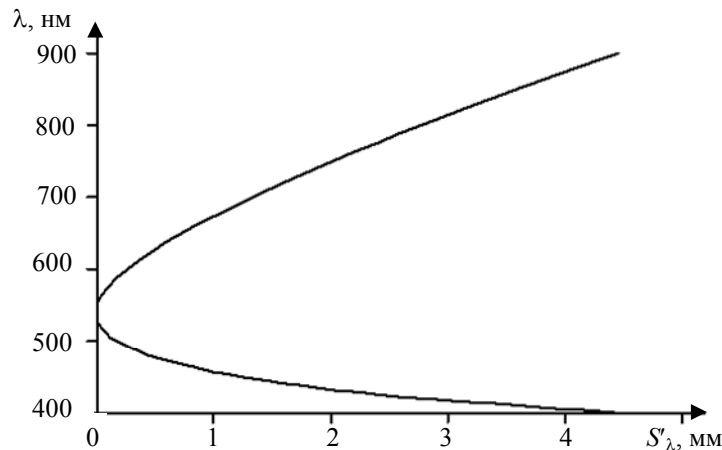


Рис. 2

Характеристики качества изображения необходимо определять для пяти длин волн: основной, крайних длин волн спектрального диапазона и длин волн, соответствующих экстремальным значениям графика вторичного спектра. При этом значения последних остаются неизменными в каждой комбинации, содержащей „особое“ стекла.

При изменении основной длины волны изменяется расстояние от ее параксиального изображения до параксиального изображения крайних длин волн. Следовательно, будет изменяться качество изображения на длинах волн, соответствующих экстремальным значениям, но расстояние между экстремумами и вид графика останутся неизменными.

Кроме „особых“ стекол, для ахроматизации оптических систем, в первую очередь объективов микроскопов, традиционно используется флюорит. Однако в рассматриваемом спектральном диапазоне он дает малый эффект по сравнению с „особыми“ стеклами, что позволяет отказаться от флюорита в их пользу.

Как показали проведенные исследования, минимальным вторичным спектром в диапазоне 400—900 нм обладает (согласно ГОСТ 3514-94) пара стекол ОК1 ( $n_e=1,523894$ ,  $v=28,44$ ,  $p=0,5635$ ) и СТК12 ( $n_e=1,695006$ ,  $v=20,42$ ,  $p=0,5651$ ):  $S'_{\lambda 2} - S'_{\lambda 1} = 1/3125 \cdot f'$ .

По данным диаграммы зависимости относительной частной дисперсии от коэффициента дисперсии наименьшим вторичным спектром должна обладать комбинация „особых“ стекол ОК4 ( $n_e=1,4485$ ,  $v=34,64$ ,  $p=0,5639$ ) и ОФ6 ( $n_e=1,604012$ ,  $v=18,78$ ,  $p=0,5651$ ).

Использование трехлинзовых систем позволяет достичь лучших результатов в уменьшении вторичного спектра (рис. 3).

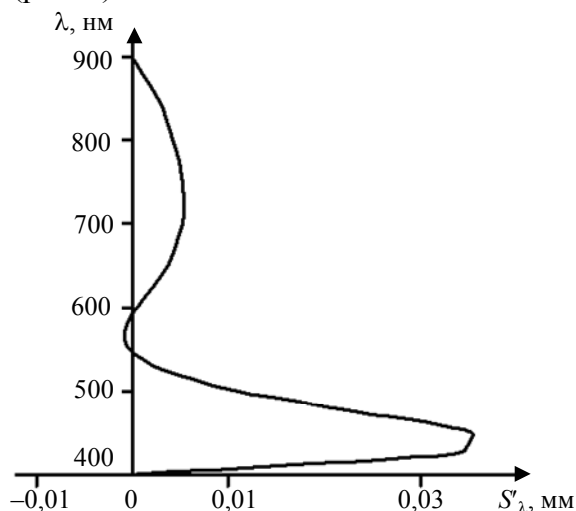


Рис. 3

Применение таких систем, при удачно выбранных комбинациях стекол, позволяет создать суперапохромат, работающий в спектральном диапазоне 400—900 нм. С помощью компьютерного моделирования была получена композиция стекол из групп ОК, ТФ, СТК, вторичный спектр которой в 10 раз меньше, чем у композиций из двух материалов. При этом количество экстремумов на графике вторичного спектра увеличивается.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балащенко О. Н., Грамматин А. П. Объективы-апохроматы без кристаллов // Оптический журнал. 2002. № 2. С. 21—24.
2. Панов В. А., Андреев Л. Н. Оптика микроскопов. Л.: Машиностроение, 1976.

## Сведения об авторах

- Александр Пантелеймонович Грамматин** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра прикладной и компьютерной оптики; E-mail: gramm44@rambler.ru
- Елена Анатольевна Цыганок** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра прикладной и компьютерной оптики; E-mail: llenal@mail.ru

Рекомендована кафедрой  
прикладной и компьютерной оптики

Поступила в редакцию  
24.06.10 г.