

РАДИОФИЗИКА, ЭЛЕКТРОНИКА, АКУСТИКА

Компенсация хроматических aberrаций в акустооптических системах спектрального анализа изображенийВ. Б. Волошинов^{1,a}, К. Б. Юшков^{2,b}, Т. В. Юхневич¹¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики колебаний. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.²Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Научно-технологический и учебный центр акустооптики. Россия, 119049, Москва.E-mail: ^avolosh@phys.msu.ru, ^bkonstantin.yushkov@misis.ru

Статья поступила 18.11.2011, подписана в печать 29.05.2012.

В работе рассмотрены усовершенствованные оптические схемы акустооптических систем спектрального анализа изображений, характеризующиеся низким уровнем продольных и поперечных хроматических aberrаций. Рассмотрены физические механизмы компенсации хроматизма акустооптической дифракции за счет оптимального использования дисперсионных свойств пассивных оптических элементов системы. Снижение продольных хроматических aberrаций рассмотрено для системы с одним объективом и дополнительной рассеивающей линзой, а также в конфокальной системе, сформированной двумя объективами. Экспериментальное исследование в видимом диапазоне спектра показало снижение продольных смещений в 2.5 раза и поперечных смещений на два порядка и более.

Ключевые слова: акустооптика, акустооптические фильтры, обработка изображений, продольные и поперечные смещения изображений.

УДК: 534.23:535.42:535.243.3:681.7.012.2. PACS: 42.15.Fr; 42.25.Fx; 42.30.Va; 42.79.Jq.

Введение

Известно, что брэгговская дифракция света в анизотропных средах используется для управляемой спектральной фильтрации световых пучков [1–4]. Переключаемые спектральные фильтры являются одним из основных классов акустооптических (АО) устройств, находящихся применение при создании уникальных приборов и систем. Неколлинеарные АО фильтры, в которых свет распространяется под небольшим углом к акустическому волновому фронту, позволяют обрабатывать неколлимированные световые пучки [1–5]. Таким образом, на основе широкоапертурных АО фильтров становится возможным создание спектральных систем для анализа изображений с электронной перестройкой и возможностью синтеза многополосной функции пропускания, с рабочим диапазоном, превышающим октаву, и характерным быстродействием менее миллисекунды [5–15].

При перестройке длины волны света, пропускаемого АО фильтром, в обрабатываемых изображениях возникают хроматические aberrации, которые можно разделить на продольные и поперечные [4]. Поперечные aberrации вызваны зависимостью угла дифракции от длины волны света [6–9]. Общая схема АО системы обработки изображений и возникающие в ней хроматические aberrации представлены на рис. 1. Влияние поперечных aberrаций заключается в боковом смещении изображения в плоскости дифракции на угол γ' , как показано на рисунке. Продольные хроматические aberrации обусловлены изменением оптической длины пути в системе из-за дисперсии показателей преломления АО кристалла [7]. В результате плоскость наилучшей резкости перемещается вдоль оптической оси системы

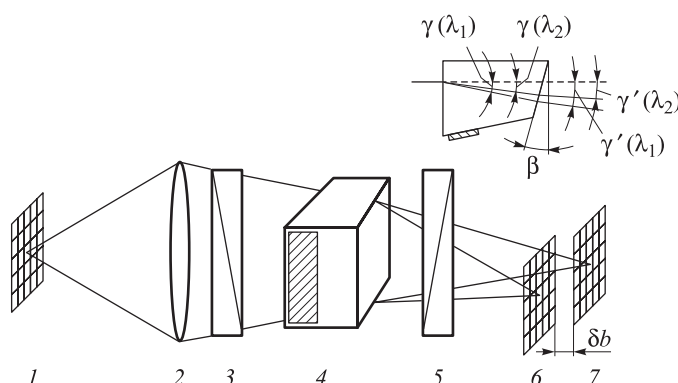


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема системы обработки изображений с АО фильтром: 1 — объект с широкополосным спектром излучения; 2 — объектив; 3 — поляризатор; 4 — перестраиваемый АО фильтр; 5 — скрещенный поляризатор; 6 — изображение в первом дифракционном порядке на длине волны λ_1 ; 7 — изображение в первом дифракционном порядке на длине волны λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$). На вставке схема хода лучей в акустооптическом фильтре

на расстояние δb , что является причиной дефокусировки изображения. Негативное влияние хроматических aberrаций на характеристики АО систем обработки изображений особенно возрастает для фильтров со сверхшироким рабочим диапазоном, имеющим дисперсию показателя преломления [12]. В подобных системах диапазон перестройки длин волн света превышает две октавы, что неизбежно приводит к поперечным и продольным смещениям отфильтрованного изображения. Компенсация aberrаций необходима и в устройствах, работающих в спектральном диапазоне, близком к границе про-

зрачности кристалла [13, 14]. Например, в кристалле парателлурита, выбранном для исследования в настоящей работе, aberrации наиболее сильны в ультрафиолетовом диапазоне на длинах волн $\lambda > 350$ нм [15].

В настоящей работе рассмотрены некоторые методы, позволяющие компенсировать продольные и поперечные хроматические aberrации в широком спектральном диапазоне. Общей чертой использованных методов является компенсация хроматических aberrаций, вызванных акустооптической дифракцией, за счет дисперсии оптических элементов, приводящих к aberrациям противоположного знака. Рассмотрены особенности конструкции АО ячеек, позволяющие заметно снизить поперечные aberrации, а также оптические схемы, позволяющие уменьшить продольные или поперечные aberrации. Численные оценки в настоящей работе сделаны для АО фильтра на основе парателлурита с рабочим диапазоном длин волн от $\lambda_{\min} = 400$ нм до $\lambda_{\max} = 1000$ нм и с центральной длиной волны $\lambda_0 = 633$ нм. Падающая на кристалл волна является необыкновенной, поляризация которой лежит в плоскости АО взаимодействия в кристалле.

1. Снижение поперечной aberrации

Для снижения поперечной хроматической aberrации в АО фильтрах наиболее часто используется метод, при котором выходная грань фильтра наклоняется по отношению к входной грани на некоторый угол [6–9]. Физический принцип данного метода заключается в том, что дисперсия угла дифракции и угла рефракции света на выходной грани могут иметь противоположные знаки и, следовательно, частично компенсировать друг друга. Входная грань кристалла выполняется ортогонально падающему пучку для снижения оптических потерь на отражение и облегчения юстировки прибора. Известно, что при широкоугольной геометрии дифракции лучевые векторы нулевого и первого порядков параллельны. Поэтому угол отклонения волнового вектора дифрагировавшего луча γ зависит от угла падения света θ_i , отсчитываемого от кристаллографической оси Z , по формуле [10]

$$\gamma = \theta_i - \arctg[(n_o^2/n_e^2) \operatorname{tg} \theta_i], \quad (1)$$

где n_o и n_e — главные показатели преломления кристалла. Если плоскость выходной оптической грани развернута относительно входной на угол β , то после преломления на выходе из фильтра дифрагировавшая волна распространяется под углом

$$\gamma' = \beta + \arcsin[n_o \sin(\gamma - \beta)] \quad (2)$$

к направлению распространения падающей волны. Именно этот угол определяет поперечные смещения отфильтрованного изображения.

Оптимальная величина угла β определяется численными методами на основании уравнений (1) и (2) с учетом дисперсии показателей преломления кристалла $n_o(\lambda)$ и $n_e(\lambda)$. Критерием выбора значения β является достижение минимального по абсолютному значению сканирования дифрагировавшего луча в диапазоне рабочих длин волн фильтра от $\lambda_{\min}$ до $\lambda_{\max}$. Для наиболее эффективного снижения поперечной хро-

матической aberrации угол наклона выходной грани β_1 определяется выражением

$$\beta_1 \approx \frac{n_o(\lambda_{\min})\gamma(\lambda_{\min}) - n_o(\lambda_{\max})\gamma(\lambda_{\max})}{n_o(\lambda_{\min}) - n_o(\lambda_{\max})}, \quad (3)$$

в котором угол падения света θ_i выступает в качестве параметра, определяющего геометрию АО взаимодействия. При разработке фильтров также часто используется конфигурация кристалла, при которой дифрагировавший луч распространяется параллельно падающему. Условие $\gamma' = 0$ позволяет получить уравнение для величины угла наклона выходной грани кристалла $\sin \beta = n_o \sin(\beta - \gamma)$, откуда в приближении малых углов величина β определяется выражением

$$\beta_2 \approx n_o \gamma / (n_o - 1). \quad (4)$$

Сравнение расчетных спектральных изменений угла распространения света при дифракции приведено на рис. 2 для выражений (3) и (4), а также для АО фильтра без наклона выходной грани. Для анализа был выбран широкоапертурный фильтр на кристалле парателлурита с плоскостью акустооптического взаимодействия (110) и медленной сдвиговой акустической волной, распространяющейся под углом $\alpha = 10^\circ$ к оси [110] [15]. При вычислении величина угла падения света была выбрана равной $\theta_i = 23.4^\circ$, что соответствует углу $\alpha = 10^\circ$ между направлением волнового фронта ультразвука и осью z . При этом на центральной длине волны $\lambda_0 = 633$ нм угол отклонения волнового вектора обыкновенной волны от оси z равен $\gamma = 2.6^\circ$. Соответствующие значения углов наклона выходной грани равны $\beta_1 = 6.6^\circ$ и $\beta_2 = 4.8^\circ$. Из представленных данных видно, что для данной геометрии кристалла выбор оптимального угла наклона выходной грани (кривая 1) приводит к снижению углового отклонения луча на 2 порядка по сравнению с плоскопараллельным исполнением кристалла (кривая 3). Если наклон выходной грани соответствует преломлению дифрагировавшего луча в направлении, параллельном падающему лучу (кривая 2), то снижение угла отклонения происходит приблизительно в 3 раза относительно конфигурации

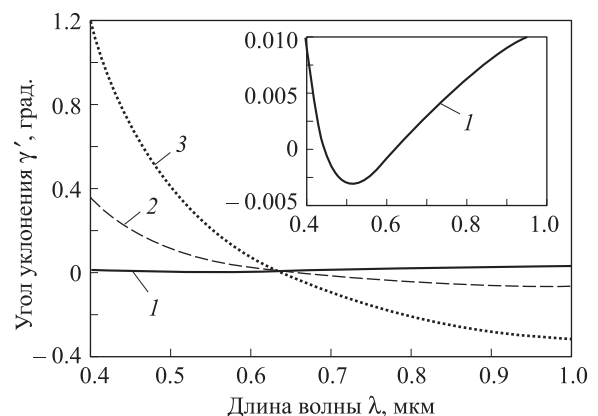


Рис. 2. Поперечное смещение луча при дифракции немонахроматического излучения: 1 — при максимальной компенсации поперечной aberrации ($\beta = \beta_1$); 2 — при сохранении направления распространения луча ($\beta = \beta_2$); 3 — для плоскопараллельного кристалла без компенсации ($\beta = 0$). На вставке — кривая 1 в увеличенном масштабе

с углом наклона $\beta = 0$. С другой стороны — угол отклонения лучей при сохранении направления света оказывается больше минимально достижимого, реализуемого при $\beta = \beta_1$.

Для компенсации поперечных aberrаций АО фильтров может быть использована конфокальная оптическая схема [11]. В такой системе используются две линзы, формирующие изображение объекта на фотоприемной матрице. Акустооптическая ячейка размещается в плоскости изображения, формируемого первой линзой, и эта же плоскость является объектной плоскостью второй линзы. Для разделения нулевого и первого порядков дифракции и в такой системе необходимо использовать телецентрические диафрагмы. Более подробно конфокальная система рассматривается в следующем разделе, при этом основное внимание уделяется возникающим в ней продольным хроматическим aberrациям.

2. Оптические схемы с компенсацией продольной aberrации

Продольная хроматическая aberrация существенным образом зависит от оптической схемы, используемой для формирования изображения. В качестве линз в системах формирования изображений, как правило, используются анахроматические объективы. Также на практике вместо линз часто используется зеркальная оптика, полностью лишенная собственных хроматических aberrаций. Поэтому в настоящей работе при расчетах параметров системы собственные хроматические aberrации используемой оптики не учитывались.

Задержка оптического пути в кристалле равняется

$$\Delta l = (n_o - 1)L_c, \quad (5)$$

где L_c — длина кристалла. При проведении расчетов был выбран показатель преломления обыкновенной волны, так как при малых углах падения света, наиболее часто реализуемых в широкоугольной геометрии дифракции, $n_i \approx n_o$, где n_i — показатель преломления падающего на кристалл света. Важно, что при сделанных предположениях величина продольной aberrации не зависит от фокусного расстояния объектива F_0 . Анализ показал, что в простейшей системе, модель которой представлена на рис. 1, продольное смещение изображения при перестройке длины волны определяется выражением (5). Для количественного описания дисперсии показателей преломления АО материала удобно использовать величину относительной дисперсии [4]

$$d(\lambda) = \frac{n_o(\lambda) - n_o(\lambda_0)}{n_o(\lambda_0) - 1}. \quad (6)$$

Таким образом, продольное смещение или продольная aberrация, обусловленная дисперсией кристалла, определяется выражением [7]

$$\delta b_c(\lambda) \approx \frac{\partial n_o}{\partial \lambda} \frac{1}{n_o^2} L_c (\lambda - \lambda_0). \quad (7)$$

Величина продольной aberrации в данной схеме может быть существенно снижена, если в оптической схеме устройства дополнительно использовать рассеивающую линзу, не имеющую компенсации собственной хроматической aberrации. Модель такой системы представлена на рис. 3, а. Анализ доказывает, что

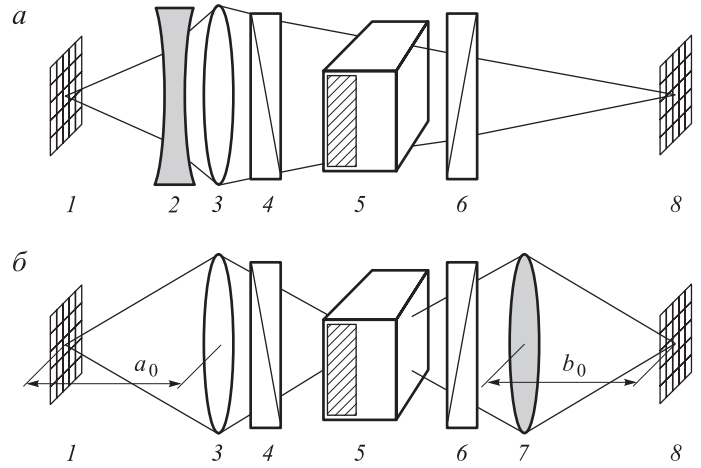


Рис. 3. Усовершенствованные оптические схемы систем спектрального анализа изображений со снижением продольной хроматической aberrации с дополнительной рассеивающей линзой (а) и двухлинзовая конфокальная система (б): 1 — объект; 2 — рассеивающая линза; 3 — объектив; 4 — поляризатор; 5 — перестраиваемый АО фильтр; 6 — скрещенный поляризатор; 7 — дополнительная линза; 8 — изображение в первом дифракционном порядке

рассеивающая линза 2 на рис. 3 с показателем преломления $n_i(\lambda)$ и фокусным расстоянием $F_l(\lambda) = 0.5R_l \times (n_i(\lambda) - 1)^{-1}$ при одинаковых радиусах кривизны поверхностей $R_l < 0$ вносит отрицательную продольную хроматическую aberrацию

$$\delta b_l(\lambda) = d_l(\lambda) \left[\frac{a_1 F_0}{a_1(l_1 - F_0) - (a_1 + l_1 - F_0)F_l(\lambda_0)} \right]^2 F_l(\lambda_0), \quad (8)$$

которая зависит от расстояния между объектом и рассеивающей линзой $a_1 > 0$, а также от расстояния между рассеивающей линзой и объективом $l_1 > 0$, где $d_l(\lambda) = (n_l(\lambda) - n_l(\lambda_0))/(n_l(\lambda_0) - 1)$. Таким образом, выбор двух параметров a_1 и l_1 определяет величину $\delta b_l(\lambda_{\min}) - \delta b_l(\lambda_{\max}) < 0$, что позволяет скомпенсировать положительное смещение $\delta b_c(\lambda_{\min}) - \delta b_c(\lambda_{\max})$, определяемое уравнением (7). Необходимо отметить, что на величины a_1 и l_1 накладывается следующее ограничение, обусловленное требованием формирования объективом действительного изображения на конечном расстоянии:

$$l_1 - \frac{a_1 F_l}{a_1 - F_l} > F_0. \quad (9)$$

Таким образом, полная величина продольной хроматической aberrации в рассматриваемой системе определяется выражением

$$\delta b = \delta b_c + \delta b_l. \quad (10)$$

При определении оптимальных параметров оптической системы с учетом aberrаций, рассчитанных по формулам (7) и (8), эффективное фокусное расстояние основного объектива считалось постоянным, $F_0 = 8.5$ см. Также учитывалось, что фокусное расстояние рассеивающей линзы на центральной длине волны составляло величину $F_l(\lambda_0) = -35$ см, равную

фокусному расстоянию линзы, использованной в эксперименте. При анализе в качестве параметров оптимизации были выбраны расстояния между оптическими элементами a_1 и l_1 .

В системах спектрального анализа изображений наряду с простой оптической системой, изображенной на рис. 1 и сформированной единственным объективом 2, также зачастую применяются конфокальные системы, основанные на двух объективах [11]. К преимуществам таких систем относятся гибкость характеристик (возможность изменять коэффициент линейного увеличения изображения при постоянных фокусных расстояниях линз) и возможность компенсировать продольную хроматическую aberrацию АО фильтра [8]. Оптическая схема конфокальной системы приведена на рис. 3, б, в которой по сравнению со схемой на рис. 3, а использована фокусирующая линза 8 и исключена рассеивающая линза 2. Кроме того, возможно использование афокальной двухлинзовой системы. В этой системе объект расположен в передней фокальной плоскости первого объектива, а изображение формируется в задней фокальной плоскости выходного объектива. Такая система лишена продольной хроматической aberrации, однако поперечные aberrации проявляются в ней наиболее сильно. Другим недостатком афокальной системы является фиксированный коэффициент линейного увеличения изображения, что ограничивает возможности согласования поля зрения прибора с размерами светочувствительной матрицы.

Ниже подробно рассматривается продольная aberrация в конфокальной системе. Считается, что система сформирована двумя одинаковыми объективами с фокусным расстоянием F_0 , расстояние между смежными главными плоскостями которых составляет величину L_0 . Объект расположен на расстоянии a_0 от передней главной плоскости первого объектива, а изображение при центральной длине волны λ_0 сфокусировано в плоскости на расстоянии b_0 от задней главной плоскости второго объектива. Изменение оптического пути между линзами за счет дисперсии показателей преломления кристалла приводит как к изменению положения главных плоскостей системы в целом, так и к изменению ее эффективного фокусного расстояния. В результате смещение положения плоскости изображения может быть найдено как функция длины волны света:

$$\delta b_0(\lambda) = \frac{aF_0^2 d\Delta l [3a(l - 2F_0) + 4F_0^2 + ad\Delta l]}{[a(l - 2F_0) - F_0^2]^2 (l - 2F + d\Delta l)}, \quad (11)$$

где приняты обозначения $l = l_0 + \Delta l$ и $a = a_0 - lF_0/(l - 2F_0)$, а относительная дисперсия $d = d(\lambda)$ определяется выражением (6). Величины Δl и F_0 конструктивно определены выбором линз и размеров акустооптической ячейки, в то время как расстояния a_0 , l_0 и b_0 могут меняться при юстировке системы.

Выражение (11) получено в приближении малой дисперсии $d(\lambda) \ll 1$ при $\lambda_{\min} < \lambda < \lambda_{\max}$. При определенных параметрах оптической системы зависимость $\delta b_0(\lambda)$ является немонотонной, что позволяет провести эффективную компенсацию продольной хроматической aberrации в широком спектральном диапазоне. Проведенный анализ доказывает, что наилучшая ком-

пенсация aberrации достигается в том случае, если выполнено условие $b_0(\lambda_{\min}) = b_0(\lambda_{\max})$. Это условие означает, что величине относительной дисперсии при перестройке длины волны света в диапазоне длин волн от $\lambda_{\min}$ до $\lambda_{\max}$ соответствует нулевой сдвиг изображения $\delta b_0 = 0$. Из последнего условия было получено уравнение, связывающее параметры оптической схемы a и l , с величиной относительной дисперсии d в качестве параметра:

$$a = -\frac{4F_0^2}{3(l - 2F_0) + d\Delta l}. \quad (12)$$

Оказалось, что выбор значений a и l в соответствии с уравнением (12) оставляет возможность свободного изменения коэффициента увеличения системы.

3. Экспериментальное исследование продольного смещения изображения на выходе фильтра

Измерение продольной хроматической aberrации проводилось как для простой однолинзовой системы с дополнительной рассеивающей линзой, показанной на рис. 3, а, так и для конфокальной системы, сформированной двумя объективами и представленными на рис. 3, б. Измерения проводились в видимом диапазоне спектра на длинах волн от $\lambda_1 = 450$ нм до $\lambda_2 = 650$ нм.

Для измерения продольной хроматической aberrации был использован АО фильтр на основе парателлуриита с углом наклона волнового вектора ультразвука $\alpha = 10^\circ$ и длиной кристалла $l_c = 2.7$ см [15]. При данной конфигурации кристалла, имеющего при $\lambda_0 = 633$ нм главные показатели преломления $n_o = 2.26$ и $n_e = 2.41$, показатель преломления для необыкновенной волны в направлении $\theta_i = 23.6^\circ$ составлял величину $n_i = 2.28$. В качестве основных объективов были использованы два одинаковых фотографических объектива-анахромата с эффективным фокусным расстоянием $F_0 = 8.5$ см, а также рассеивающая линза из плавляного кварца с фокусным расстоянием $F_l(\lambda_0) = -35$ см. В качестве источника света с непрерывным спектром применялась лампа накаливания, а отфильтрованное изображение регистрировалось с помощью приемной камеры или фиксировалось визуально с помощью микроскопа.

Основные результаты экспериментального исследования представлены на рис. 4. На рис. 4, а представлено сравнение величины продольной хроматической aberrации в системе с одним анахроматическим объективом, полученные без компенсации смещения (кривая 1) и с компенсацией при помощи дополнительной рассеивающей линзы (кривая 2). Сплошными линиями на рисунке показаны результаты расчетов. Из рисунка следует, что в интервале длин волн от $\lambda_1 = 450$ нм до $\lambda_2 = 650$ нм отфильтрованное изображение перемещается на выходе фильтра без компенсации aberrаций на расстояние δb_0 около 0.1 см. Применение рассеивающей линзы привело к снижению продольных смещений до величины $\delta b_0 \approx 0.03$ см. Таким образом, применение рассеивающей линзы заметно уменьшило нежелательный эффект продольного смещения изображения на выходе фильтра. Наблюдаемое на рис. 4, а незначительное расхождение наблюдаемых данных с расчетными объясняется тем, что при расчетах не могли быть

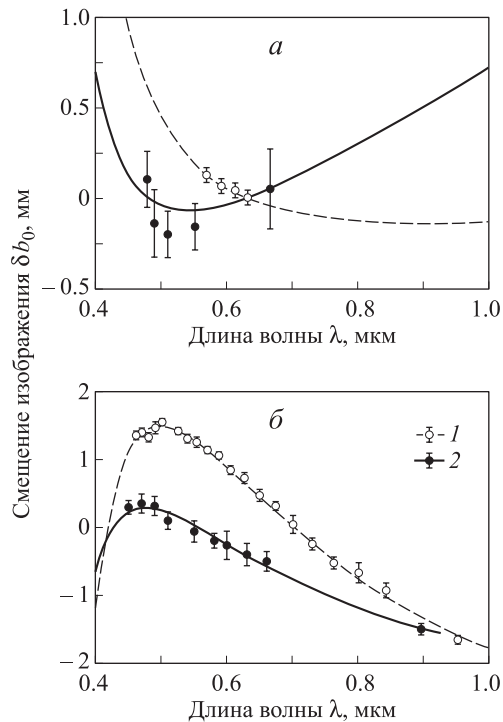


Рис. 4. Измерение продольного смещения изображения в видимой области спектра в системе с дополнительной рассеивающей линзой (а) и в двухлинзовой конфокальной системе (б). На рисунках: 1 — без компенсации; 2 — с компенсацией

учтены остаточные хроматические aberrации использованных в экспериментах объективов.

Результаты измерения продольной aberrации в конфокальной системе представлены на рис. 4, б. Кривая 1 соответствует оптической системе фильтрации без компенсации продольной aberrации. Приведенные на рис. 4, б данные доказывают, что после проведения компенсации по методике, описываемой формулой (11), величина продольной aberrации и видимом диапазоне была снижена более чем на 40% (кривая 2). При этом также в 1.5 раза возросла глубина резкости изображения, что удобно с практической точки зрения при создании систем обработки изображений. Сплошные линии на рис. 4, б соответствуют расчетному значению вторичного спектра aberrации, полученному в соответствии с выражением (11). Как и в случае применения рассеивающей линзы, компенсация смещений в конфокальной схеме значительно улучшает рабочие характеристики системы фильтрации изображений. С другой стороны, исследование также доказывает, что компенсация продольных смещений изображений

становится проблематичной в том случае, если длина волны оптического излучения близка к краю полосы пропускания кристалла парателлурита при $\lambda < 450$ нм.

Заключение

В работе были теоретически исследованы и экспериментально проверены методы снижения хроматических aberrаций в АО системах спектрального анализа изображений. В качестве основного метода снижения поперечной aberrации использован наклон выходной оптической грани кристалла. Для снижения продольной хроматической aberrации рассмотрено использование дополнительной длиннофокусной рассеивающей линзы в системе с одним основным объективом, а также предложен метод компенсации продольной хроматической aberrации в конфокальной оптической системе, сформированной двумя анахроматическими объективами. Измерение продольных aberrаций в системах с компенсацией показало существенное снижение влияния aberrации на качество отфильтрованного изображения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 10-07-00683 и 10-07-000623), а также Программы создания и развития НИТУ «МИСиС».

Список литературы

1. Балакий В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М., 1985.
2. Xu J., Stroud R. Acousto-optic Devices. N. Y., 1992.
3. Goutzoulis A., Pape D. Design and Fabrication of Acousto-optic Devices. N. Y., 1994.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1970.
5. Chang I.C. // Appl. Phys. Lett. 1974. **25**, N 7. P. 370.
6. Yano T., Watanabe A. // Appl. Opt. 1976. **15**, N 9. P. 2250.
7. Волошинов В.Б., Кулаков Л.А., Миронов О.В. // Радиотехн. и электрон. 1988. **33**, № 10. С. 2177.
8. Епихин В.М., Калинин Ю.К. // ЖТФ. 1989. **59**, № 2. С. 160.
9. Voloshinov V.B., Yushkov K.B., Linde B. // J. Opt. A: Pure and Appl. Opt. 2007. **9**, N 4. P. 341.
10. Волошинов В.Б., Москера Х.С. // Опт. спектр. 2006. **101**, № 4. С. 675.
11. Suhre D.R., Denes L.J., Gupta N. // Appl. Opt. 2004. **43**, N 6. P. 1255.
12. Gupta N., Voloshinov V.B. // Appl. Opt. 2007. **46**, N 7. P. 1081.
13. Gupta N., Voloshinov V. // Opt. Lett. 2005. **30**, N 9. P. 985.
14. Gupta N., Voloshinov V.B. // Appl. Opt. 2004. **43**, N 13. P. 2752.
15. Волошинов В.Б., Юшков К.Б. // Радиотехн. и электрон. 2007. **52**, № 6. С. 727.

Chromatic aberrations compensation in acousto-optic systems of spectral analysis of images**V. B. Voloshinov^{1,a}, K. B. Yushkov^{2,b}, T. V. Yukhnevich¹**¹ *Department of Oscillation Physics, Faculty of Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.*² *Acousto-Optical Research Center, National University of Science and Technology «MISIS», Moscow 119049, Russia.**E-mail: ^a volosh@phys.msu.ru, ^b konstantin.yushkov@mis.ru.*

The paper considers novel optical schemes related to acousto-optic systems of spectral analysis of images. The systems are characterized by a low level of transverse and longitudinal chromatic aberrations. Mathematical expressions describing magnitudes of the transverse aberration in various configurations of acousto-optic filters are derived. A decrease of the longitudinal chromatic aberrations is examined in an optical scheme based on a single objective lens and an additional negative lens. A similar analysis is carried out for a confocal system formed by two objective lenses. The experimental investigations carried out in the visible range of spectrum demonstrated a decrease in the longitudinal shifts of images to a factor of 2.5 and in the transverse image shifts to as much as one hundred of magnitude.

Keywords: acousto-optics, acousto-optic tunable filters, processing of images, longitudinal and transverse shifts of images.

PACS: 42.15.Fr; 42.25.Fx; 42.30.Va; 42.79.Jq.

Received 28 November 2011.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 5(2012).

Сведения об авторах

1. Волошинов Виталий Борисович — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: (495) 939-44-04, e-mail: volosh@phys.msu.ru.

2. Юшков Константин Борисович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 959-99-84, e-mail: konstantin.yushkov@mail.ru.

3. Юхневич Татьяна Викторовна — аспирантка; тел.: (495) 939-44-04, e-mail: yukhnevich@physics.msu.ru.