

УДК 535.428

Акустооптический метод спектрально-поляризационного анализа изображений

В. С. Анчуткин, А. Б. Бельский, В. Б. Волошинов, К. Б. Юшков

Рассмотрена система спектрального и поляризационного анализа изображений на основе перестраиваемого акустооптического фильтра. Использована особая геометрия дифракции Брэгга в парателлурите, при которой ортогонально поляризованные компоненты светового поля рассеиваются в противоположные дифракционные порядки. Для сравнения интенсивностей пучков с различной поляризацией применяется одновременная регистрация +1 и -1 порядков дифракции.

PACS: 41.20.-q

Ключевые слова: акустооптика, спектральный анализ, поляризационный анализ, гиперспектральное изображение, парателлурит.

Введение

Известно, что акустооптические (АО) методы обработки оптических сигналов находят применение в оптике и спектроскопии [1, 2], в частности, перестраиваемые АО-фильтры обеспечивают спектральную и пространственную фильтрацию световых пучков. Управление параметрами проходящего через фильтр излучения осуществляется в режиме реального времени путем изменения характеристик управляющего высокочастотного (ВЧ) сигнала. В основе работы таких устройств лежит явление дифракции света на фазовых решетках, индуцированных ультразвуком в кристаллах. Если на фильтр падает световой пучок с широким спектром длин волн света λ , то в первом брэгговском дифракционном порядке оказывается сосредоточено узкополосное излучение в диапазоне длин волн $\Delta\lambda$. Частота радиосигнала, подаваемого на АО-ячейку, определяет цвет пропускаемого излучения, а амплитуда управляющего сигнала определяет интенсивность проходящего света. Для обеспечения возможности обработки неколлимированных световых пучков и оптических изображений используется особая геометрия дифракции Брэгга в кристаллах, называемая тангенциальной. Такая геометрия взаимодействия является

широкоапертурной, поскольку дифракция света может наблюдаться с высокой эффективностью (более 50 %) в диапазоне углов падения света, достигающем нескольких десятков градусов [3]. Таким образом, становится возможным обеспечить спектральную фильтрацию двумерных оптических изображений.

Важным свойством дифракции в оптически анизотропных средах является зависимость условий фазового синхронизма от поляризации падающего электромагнитного излучения [1, 2]. Это означает, что при заданной частоте ультразвука углы Брэгга для обыкновенно и необыкновенно поляризованных волн в общем случае отличаются. Во избежание этого недостатка был предложен ряд оптических схем [4—7], с другой стороны, на основе этого явления может быть осуществлен поляризационный анализ изображений [8]. Было обнаружено, что исследование поляризации отраженного света наряду с его спектральным составом оказывается полезным в задачах определения искусственных объектов на естественном фоне [9]. В работе исследована спектральная АО-система обработки изображений в реальном времени, способная также регистрировать поляризацию падающего излучения. В системе применены перестраиваемый АО-фильтр и две ПЗС-камеры, позволяющие одновременно регистрировать ортогонально поляризационные пучки на выходе АО-ячейки.

АО-дифракция с пространственным разделением различных поляризаций света

Поляризационно-независимая геометрия брэгговской дифракции

Известно, что АО-взаимодействие может происходить с высокой эффективностью при условии

Анчуткин Владимир Степанович, зам. начальника НИЦ, нач. лаб.

Бельский Александр Борисович, зам. генерального директора по науке.

ОАО "Красногорский завод им. С. А. Зверева".
Россия, 143400, г. Красногорск, Московская обл., ул. Речная, 8.
Тел. (495) 561-26-02. E-mail: kmz@zenit-foto.ru

Волошинов Виталий Борисович, доцент.

Юшков Константин Борисович, аспирант.
МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет.
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 2.
Тел. (495) 939-44-04.

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2008 г.

выполнения брэгговского условия фазового синхронизма [1, 2]. Для монохроматического света это условие связывает между собой угол Брэгга θ , длину волны света λ и частоту ультразвука f . Это уравнение может быть получено с помощью векторных диаграмм взаимодействия, обуславливающих связь волновых векторов падающего и дифрагированного света, \mathbf{k}_i и \mathbf{k}_d , с волновым вектором ультразвука \mathbf{K} :

$$\mathbf{k}_i \pm \mathbf{K} = \mathbf{k}_d, \quad (1)$$

где "i" — индекс, обозначающий величины, относящиеся к световой падающей волне;

"d" — то же, к дифрагированной.

"+" — знак, соответствующий "+1"-порядку дифракции;

"—" — знак для рассеяния света в "-1"-порядок.

В литературе было показано, что в особых случаях условие (1) может выполняться одновременно как для обыкновенно, так и необыкновенно поляризованного излучений [10], при этом выполняются следующие уравнения:

$$\mathbf{k}_{io} - \mathbf{K} = \mathbf{k}_{de}, \quad (2)$$

$$\mathbf{k}_{ie} + \mathbf{K} = \mathbf{k}_{do}, \quad (3)$$

где o, e — нижние индексы, обозначающие обыкновенно и необыкновенно поляризованные волны, соответственно.

На рис. 1 представлены соответствующие диаграммы для положительного одноосного кристалла. Основные показатели преломления обозначены как n_o и n_e , а угол α представляет собой угол среза плоскости пьезопреобразователя АО-ячейки. Известно, что в приближении малого двухлуче-преломления $\Delta n \equiv n_e - n_o \ll n_o$ показатель преломления для необыкновенной волны может быть приблизительно вычислен по формуле

$$n_i \approx n_o + \Delta n \sin^2(\theta + \alpha).$$

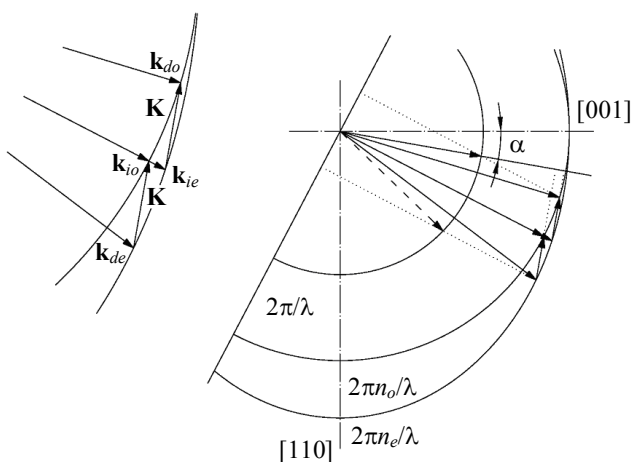


Рис. 1. Векторная диаграмма анизотропной брэгговской дифракции произвольно поляризованного света

В этом случае условие Брэгга может быть записано в следующем виде:

$$f \approx \frac{V}{\lambda} \Delta n \frac{\sin^2(\theta + \alpha)}{\sin \theta}, \quad (4)$$

где V — фазовая скорость ультразвука, определяемая углом среза кристалла α .

Кроме того, в кристаллах упругие волны могут обладать значительным сносом энергии, характеризующимся углом ψ между фазовой и групповой скоростями.

Полоса пропускания АО-фильтра

Из векторной диаграммы (1) можно найти полосу частот ультразвука Δf , соответствующую уровню коэффициента пропускания АО-фильтра не менее -3 дБ [1]:

$$\Delta f = \frac{0,8V}{l_{PT}} (\operatorname{tg}\psi + \operatorname{ctg}\theta), \quad (5)$$

где l_{PT} — длина пьезоэлектрического преобразователя.

Посредством условия Брэгга (4) эта величина взаимосвязана с полосой пропускания фильтра [11]

$$\Delta \lambda = \frac{0,8\lambda^2 \cos \theta}{\Delta n l_{PT} \sin^2(\theta + \alpha)} (1 + \operatorname{tg}\psi \operatorname{tg}\theta). \quad (6)$$

Например, АО-фильтр на основе парателлуриата (TeO_2) с углом среза $\alpha = 10^\circ$ и длиной пьезопреобразователя $l_{PT} = 1,2$ см обладает полосой пропускания $\Delta \lambda = 15 \text{ \AA}$ на длине волны света $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$, что соответствует полосе частот ультра $\Delta f \approx 310 \text{ кГц}$.

Пространственное разрешение

На рис. 2 представлена зависимость частоты ультразвука от угла Брэгга в кристалле парателлуриата с углом среза $\alpha = 10^\circ$. Пунктирные линии обозначают границы области $f \pm \Delta f/2$ в соответствии с уравнением (5), в которой эффективность дифракции превышает 50 % для АО-ячейки, имеющей длину пьезопреобразователя $l_{PT} = 1,2$ см. Очевидно, что наибольшая угловая апертура дифракции наблюдается в точке локального минимума частоты ультразвука $f_0 = f(\theta_0)$. Также видно, что в точке пересечения ветвей углочастотной характеристики, соответствующих различным поляризациям падающего света, реализуется геометрия рассеяния, представленная на рис. 2. В этой рабочей точке обыкновенно поляризованный свет рассеивается в "-1"-порядок в соответствии с уравнением (2), а необыкновенно поляризованная волна

испытывает дифракцию в "+1"-порядок согласно (3). Одновременная разнонаправленная дифракция наблюдается на частоте ультразвука $f = 119,8$ МГц при угле Брэгга $\theta = 12,4^\circ$. Угловая апертура дифракции в этой точке составляет величину $\Delta\theta = 0,6^\circ$, что значительно меньше, чем в широкоапертурной геометрии при $f_0 = 119,6$ МГц, однако достаточна для обработки изображений [4].

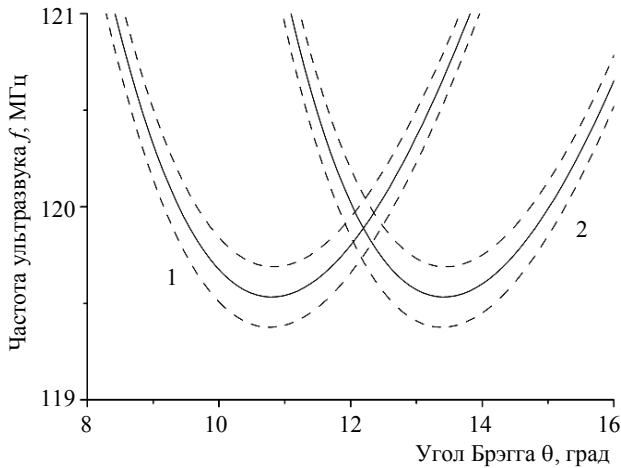


Рис. 2. Углочастотная характеристика дифракции в парателлуриде с углом среза 10° на длине волны света $\lambda = 0,63$ мкм:
 ---- — границы полосы пропускания по уровню -3 дБ;
 1 — обычная поляризация; 2 — необыкновенная поляризация

Из оптики известно, что число разрешимых элементов в изображении может быть найдено как отношение угловой апертуры линейной системы $\Delta\theta$ к угловому размеру минимального разрешимого элемента $\delta\theta$:

$$N = \frac{\Delta\theta}{\delta\theta}$$

Величина $\delta\theta$ определяется дифракцией света на апертуре АО-ячейки a , а также дополнительными хроматическими aberrациями, возникающими в процессе АО-рассеяния света. Тем не менее, при правильной конфигурации оптической системы, формирующей изображение, возможно достичь дифракционного предела разрешения $\delta\theta = 1,22 \lambda/a$ [12, 13].

Для определения угловой апертуры АО-взаимодействия удобно воспользоваться разложением частоты в ряд Тейлора по степеням угла Брэгга в окрестности локального минимума:

$$f(\theta) = f_0 + \Phi_2(\theta - \theta_0)^2,$$

где Φ_2 — квадратичный коэффициент разложения частоты в степенном ряду.

В этом случае можно вывести, что величина угловой апертуры определяется соотношением

$$\Delta\theta = \frac{\Delta f}{\Phi_2 \vartheta_{dif}}, \tag{7}$$

где использована следующая величина угла дифракции, определяемая из векторной диаграммы (1) в приближении малого двухлучепреломления:

$$\vartheta_{dif} \approx \frac{\Delta n}{n_0} \sin^2(\theta + \alpha) \operatorname{ctg} \theta.$$

Известно, что селективность АО-дифракции определяется длиной области взаимодействия света и звука, которая в случае ортогональной геометрии взаимодействия пропорциональна длине пьезоэлектрического преобразователя. Из формул (5) и (6) видно, что полоса пропускания также зависит от угла среза кристалла α . Очевидно, что угловая апертура взаимодействия также определяется этими параметрами АО-ячейки. Из уравнений (5) и (7) следует, что величина $\Delta\theta$ обратно пропорциональна длине пьезопреобразователя l_{PT} , в то же время зависимость $\Delta\theta$ от α оказывается более сложной, поскольку все величины, входящие в выражение (7), зависят от угла среза кристалла. На рис. 3 представлена зависимость угловой апертуры в точке пересечения углочастотных характеристик при фиксированной длине преобразователя $l_{PT} = 1,2$ см. Видно, что при угле среза $\alpha \approx 10^\circ$ угловая апертура оказывается минимальной. Увеличение апертуры при малых углах среза вызвано уширением полосы пропускания фильтра, а при больших углах среза сказывается уменьшение крутизны углочастотной характеристики по мере приближения к критическому углу среза $19,7^\circ$ [14].

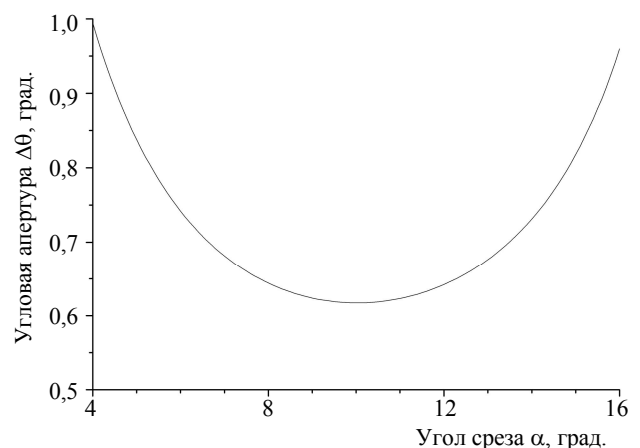


Рис. 3. Зависимость угловой апертуры фильтра от угла среза кристалла парателлурида при длине пьезоэлектрического преобразователя $l_{PT} = 1,2$ см

Очевидно, с точки зрения увеличения пространственного разрешения и снижения потребляемой мощности, которая растет с увеличением

угла среза [1, 2], целесообразно использовать АО-фильтры с углом среза менее 10° . Тем не менее анализ выражения (6) показывает, что с уменьшением угла среза кристалла возрастает полосу пропускания фильтра.

Таким образом, выбор геометрии АО-ячейки должен осуществляться с учетом требований как на пространственное, так и на спектральное разрешение устройства. Согласно расчету при угле среза $\alpha = 10^\circ$ угловая апертура составляет величину $\Delta\theta \approx 0,6^\circ$, что позволяет обрабатывать изображения с количеством элементов $N \approx 10^2$ в красной области спектра. При более коротких длинах волн как пространственное, так и спектральное разрешение фильтра увеличивается [15].

Оптическая система обработки изображений с анализом поляризации

Принципиальная схема системы

Важное достоинство АО-систем обработки изображений — простота оптической схемы. В общем случае установка состоит из АО-ячейки, ПЗС-камер для регистрации сигнала, а также диафрагм и линз, формирующих изображение. Отсутствие подвижных частей обеспечивает надежность функционирования и быстроту работы устройств. Для обработки неполяризованных изображений можно использовать оптическую схему с совмещением "+1"- и "-1"-порядков дифракции [4].

В настоящей работе, напротив, исследовали оптическую систему с разделением поляризаций и их одновременной регистрацией. Таким образом была обеспечена возможность сравнения компонент светового поля, имеющих различную поляризацию. Такой анализ позволяет определять искусственные объекты на природном фоне с большей точностью, чем простой анализ спектра отраженного излучения [9].

Общая схема разработанной системы представлена на рис. 4. Произвольно поляризованный свет проходил через входную линзу и фокусировался на АО-ячейке, являвшейся управляемым дисперсионным элементом. Пространственный спектр пучков был ограничен ирисовой диафрагмой. Отфильтрованные пучки проходили через систему выходных линз, проецировавших изображение на регистрирующие ПЗС-матрицы. Для снижения паразитных засветок и увеличения контрастности получаемых изображений в выходных каналах системы могут быть использованы поляризационные фильтры. Изображение в "+1"-порядке было сформировано необыкновенно поляризованной компонентой падающего света, в то время как обыкновенно поляризованная составляющая исходного светового поля наблюдалась в "-1"-порядке.

Сравнение изображений в "+1"- и "-1"-порядках дает информацию о состоянии поляризации исходного света. Свет в нулевом порядке, не испытавший дифракцию, останавливается непрозрачным экраном для исключения паразитных засветок полезного сигнала.

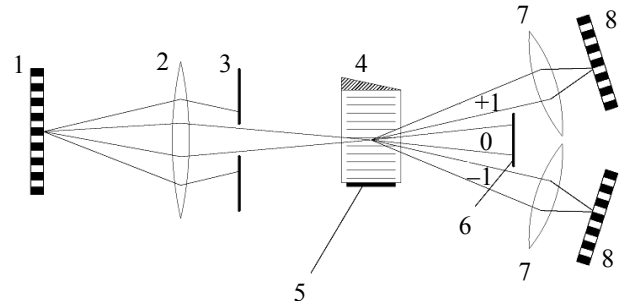


Рис. 4. Принципиальная схема системы спектрально-поляризационного анализа изображений:

- 1 — объект; 2 — входная линза; 3 — диафрагма;
4 — АО-ячейка; 5 — пьезоэлектрический преобразователь;
6 — экран; 7 — выходные линзы; 8 — ПЗС-матрицы

Перестройка длины волны пропускания АО-ячейки достигается за счет изменения частоты электрического сигнала, подаваемого на выводы пьезоэлектрического преобразователя. Таким образом, анализ поляризации излучения можно осуществлять при одновременном сканировании излучения по длинам волн.

Отметим, что при необходимости регулирования интенсивности дифракционных пучков осуществляется традиционным способом — посредством управления амплитудой электрического сигнала. Следовательно, возможна электронная, регулировка коэффициента пропускания АО-ячейки

$$T = (I_{+1} + I_{-1})/I,$$

где I_{+1} , I_{-1} — интенсивности световых пучков в "+1"- и "-1"- дифракционных порядках;

I — интенсивность падающего пучка.

Очевидно, что амплитудная модуляция электрического сигнала приводит к соответствующей модуляции интенсивностей дифрагированных световых пучков, что на практике обеспечивает улучшение отношения сигнал/шум АО-фильтра.

Выбранная геометрия хода падающего светового пучка в АО-ячейке обеспечивает дифракцию оптических пучков с широкими (вплоть до нескольких десятков угловых градусов) внешними оптическими апертурами. Однако реальная апертура АО-ячейки ограничена значением $\Delta\theta \approx 9^\circ$. При больших значениях апертур на выходе АО-ячейки происходит частичное наложение проходящего (нулевой порядок дифракции) и диффра-

гированных световых пучков, и разделение этих пучков, становится затруднительным.

Характеристики АО-ячейки

Спектральный рабочий диапазон и основные параметры АО-ячейки из различных материалов представлены в таблице.

Диапазон перестройки, мкм	$\Delta\lambda$, нм	T, %	Апертура		P, Вт	Материал
			$\Delta\theta$, град	$a \times b$, см		
0,25—0,45	0,6	60	2	0,7×1,0	1,0	KDP*
0,48—0,67	0,9	30	9	0,4×0,8	2,0	CaMoO ₄
0,35—0,50	0,9	90	5	0,6×1,0	0,6	TeO ₂
0,42—0,88	4,0	95	4	1,5×2,0	0,9	TeO ₂
0,77—2,10	12	93	4	1,5×2,0	1,5	TeO ₂
1,8—4,4	70	50	4	1,5×2,0	1,4	TeO ₂
1,5—4,6	10	50	8	0,6×1,2	2,0	TeO ₂

* Дигидрофосфат калия — KН₂РO₄

Разработанный АО-фильтр был сделан из монокристаллического парателлурита с углом среза $\alpha = 10^\circ$ относительно кристаллографической оси [110]. Фазовая скорость ультразвука в выбранном направлении равняется $V = 710$ м/с, а угол сноса акустической энергии достигает величины $\psi = 54^\circ$. Время прохождения ультразвукового импульса через апертуру фильтра $a = 0,7$ см составляет 10 мкс, что определяет быстродействие устройства. Широкополосное электрическое согласование пьезопреобразователя из ниобата лития было выполнено в диапазоне частот 75—180 МГц (по уровню -3 дБ), что соответствует оптическим длинам волн от 450 до 950 нм. При длине пьезопреобразователя $l_{PT} = 1,2$ см полоса пропускания (6) составила величину $\Delta\lambda = 16 \text{ \AA}$ на длине волны $\lambda = 633$ нм, что соответствует спектральному разрешению $R \equiv \Delta\lambda/\lambda^2 \approx 40 \text{ см}^{-1}$. При управляющей мощности ВЧ-сигнала 0,2 Вт интенсивность дифрагированного света на длине волны $\lambda = 0,63$ мкм достигала 96 % от интенсивности падающего света.

Заключение

В оптических много- и гиперспектральных системах, предназначенных для съемки земной поверхности из космоса, спектральная селекция излучения может осуществляться призмой (клиновым фильтром), дифракционной решеткой, интерферометром, интерференционными светофильтрами и перестраиваемым жидкокристаллическим фильтром [16]. Выбор того или иного способа спектральной селекции излучения определяется назначением оптоэлектронного устрой-

ства съемки, его конструктивными особенностями и условиями эксплуатации на борту носителя.

Технические решения с использованием вышеуказанных элементов характеризуются достаточной сложностью конструкции, высокой стоимостью, большими массами и габаритами, а также высоким энергопотреблением соответствующего узла спектральной селекции излучения.

В работе предложен новый подход в решении проблемы много- и гиперспектральной селекции излучения, базирующийся на использовании дифракции света на фазовых решетках, индуцированных ультразвуком в двухлучепреломляющих кристаллах.

Указанный эффект дает возможность для каждой из выделенных фильтром длин волн разделить неполяризованный и неколлимированный входной световой луч на два луча с ортогональными направлениями поляризации, отклоняющихся в противоположные (+1 и -1) дифракционные порядки.

К преимуществам предлагаемого технического решения можно отнести быструю электронную перестройку по длинам волн, относительную простоту его конструкции, высокую надежность и возможность улучшения чувствительности и обнаружительной способности оптоэлектронного устройства съемки за счет анализа и обработки ортогонально поляризованных пучков на выходе перестраиваемого АО-фильтра (ПАОФ) на базе АО-ячейки.

Следует отметить, что в отличие от России за рубежом ПАОФ (без разделения излучения по поляризации) находят широкое практическое применение. К числу интересных примеров можно отнести четырехканальный АО-спектрометр фирмы "BAE SYSTEM", разработанный в рамках программы "Космический телескоп Гершеля" (Herschel Space Telescope) по заказу Европейского Космического Агентства (European Space Agency (ESA)). Конструкция устройства удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам и приборам космического базирования (space-qualified design) и, в частности, следующим условиям эксплуатации: случайные вибрации по трем осям -14,1 g (RMS); термоциклирование, двенадцать циклов — от +65 до -37 C°; статическое ускорение по трем осям -11,8 g [17].

Этот пример иллюстрирует реальные возможности использования ПАОФ в качестве фильтрующего элемента при спектральной селекции излучения в оптоэлектронных устройствах космического базирования, входящих в состав гиперспектральной аппаратуры для съемки земной поверхности.

Перспективным направлением использования предлагаемого ПАОФ может оказаться его приме-

нение и в аппаратуре для гиперспектрального анализа изображений с целью контроля чистоты и качества продуктов питания [18—21]. Этот метод обладает также большими потенциальными возможностями в задачах обнаружения генетически модифицированных продуктов питания; публикация о работах в этом направлении появились совсем недавно [22, 23].

Л и т е р а т у р а

1. Балакиши В. И., Парыгин В. Н., Чирков Л. Е. Физические основы акустооптики. — М.: Радио и связь, 1985.
2. Xu J., Stroud R. Acousto-Optic Devices. — NY: Wiley, 1992.
3. Chang I. C. // Appl. Phys. Lett. 1974. V. 25. No. 7. P. 370.
4. Волошин В. Б., Молчанов В. Я., Бабкина Т. М. // ЖТФ. 2000. Т. 70. № 9. С. 93.
5. Антонов С. Н. // Там же. 2004. Т. 74. № 10. С. 84.
6. Pustovoit V. I., Pozhar V. E., Mazur M. M. et al. // Proc. SPIE. 2005. V. 5953. P. 200.
7. Магдич Л. Н., Юшков К. Б., Волошин В. Б. // Квант. электр., 2009 (в печати).
8. Voloshinov V. B., Molchanov V. Ya., Mosquera, J. C. // Opt. and Laser Tech. 1996. V. 28. No. 2. P. 119.
9. Gupta N., Denes, L., Gottlieb M. et al. // Appl. Opt. 2001. V. 40. No. 36. P. 6626.
10. Voloshinov V. B., Molchanov V. Ya. // Opt. and Laser Tech. 1995. V. 27. No. 5. P. 307.
11. Gupta N., Voloshinov V. B. // Appl. Opt. 2007. V. 46. No. 7. P. 1081.
12. Suhre D. R., Denes L. J., Gupta N. // Ibid. 2004. V. 43. No. 6. P. 1255.
13. Voloshinov V. B., Linde B., Yushkov K. B. // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 2007. V. 9. No. 4. P. 341.
14. Волошинов В. Б., Москера Х. С. // Опт. Спектр. 2006. Т. 101. No. 4. С. 675.
15. Suhre D. R., Gottlieb M., Taylor L. H., Melamed N. T. // Opt. Eng. 1992. V. 31. No. 10. P. 2118.
16. Научно-техническое справочно-аналитическое издание: "Космическая съемка земли". — М.: Радиотехника, 2008. Вып. 1—5.
17. www.atc.intranet.baesystems.com.
18. Kim M. S., Lefcourt A. M. et al. // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. 2002. V. 45. No. 6. P. 2027—2047.
19. Heitschmidt G. W., Lawrence K. C. et al. // Proc. SPIE. 2004. V. 5587. P. 101—111.
20. Nakariyakul S., Casasent D. P. // Appl. Opt. 2007. V. 46. No. 3. P. 357—364.
21. Nakariyakul S., Casasent D. P. // Opt. Eng. 2008 V. 47. No. 8. P. 087202-1—087202-9.
22. Nansen C., Kolomiets M., Gao Xiquan // J. Agric. Food Chem. 2008. V. 56. No. 9. P. 2933.
23. Savage L. M. // Photonic Spectra. June 2008. P. 103.

Acoustooptic method of spectro-polarimetric image processing

V. S. Anchyutkin, A. B. Belsky

Joint Stock Company "S. A. Zverev Krasnogorsky Zavod",
Rechnaya Str. 7, Krasnogorsk-7, 143400, Moscow Region, Russia
E-mail: kmz@zenit-foto.ru

V. B. Voloshinov, K. B. Yushkov

Faculty of Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University,
Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia

The report discusses operation principles of a hyperspectral imaging acousto-optic system intended to process optical images in visible and infrared regions of spectrum. A diffraction grating induced by ultrasound in a birefringent crystal selects color of transmitted light and also controls polarization of the incident radiation. In the developed system, arbitrary polarized divergent or convergent optical beam is split at output of the system into two orthogonally polarized optical beams that are simultaneously scattered into symmetrically situated +1 and -1 diffraction orders. If the incident beam forms an arbitrary polarized non-monochromatic optical image then as much as two images are observed at output of the device. Application of two CCD cameras provides registration in real time of the filtered images possessing orthogonal polarizations. Optical wavelengths selected by the filter are tuned by means of driving ultrasonic frequency. The transmission coefficient of the acousto-optic device is regulated by magnitude of the driving RF power.

PACS: 41.20.-q

Keywords: acousto-optics, spectral analysis, polarization analysis, hyperspectral imaging, paratellurite.

Bibliography — 23 references.

Received 11 December 2008

* * *