

РАСЧЕТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 681.7; 681.7.03

ОДНОЭЛЕМЕНТНЫЙ ТРЕХДИАПАЗОННЫЙ СПЕКТРОДЕЛИТЕЛЬ

© 2011 г. В. Е. Сабинин, канд. хим. наук; С. В. Солк, канд. техн. наук; О. А. Лебедев

НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: solk@sbor.net

Рассмотрены возможности спектроделения на основе оптических свойств некоторых кристаллических материалов. Разработана конструкция объектива, состоящего из одного оптического элемента, осуществляющего деление спектра на три диапазона, расположенные в окнах прозрачности атмосферы.

Ключевые слова: спектроделитель, объектив.

Коды OCIS: 220.4830, 230.1360.

Поступила в редакцию 09.12.2010.

В настоящее время одним из основных направлений развития оптического приборостроения является создание систем, работающих одновременно в нескольких спектральных диапазонах. Как правило, это видимый, ближний инфракрасный (ИК) и средний либо дальний ИК диапазоны. Особый интерес представляют системы с полным либо частичным совпадением визирных осей. В работах [1] и [2] приведены примеры объективов либо с входным зрачком, разделенным на два канала, либо с использованием дихроичных зеркал.

В данной работе рассмотрена возможность применения для разделения каналов естественных оптических свойств ряда кристаллических материалов. Такая возможность была впервые продемонстрирована еще в XIX веке Николсом [3], который при изучении отражательной способности кристаллического кварца обнаружил зону спектра, в которой коэффициент зеркального отражения R_z оказался аномально высоким. Впоследствии эта особенность кварца использовалась для выделения участков ИК диапазона в способе, получившем название “метод остаточных лучей”. Долгое время он был практически единственным для монохроматизации длинноволнового излучения.

На рис. 1а показана спектральная зависимость R_z для кристаллического кварца в диа-

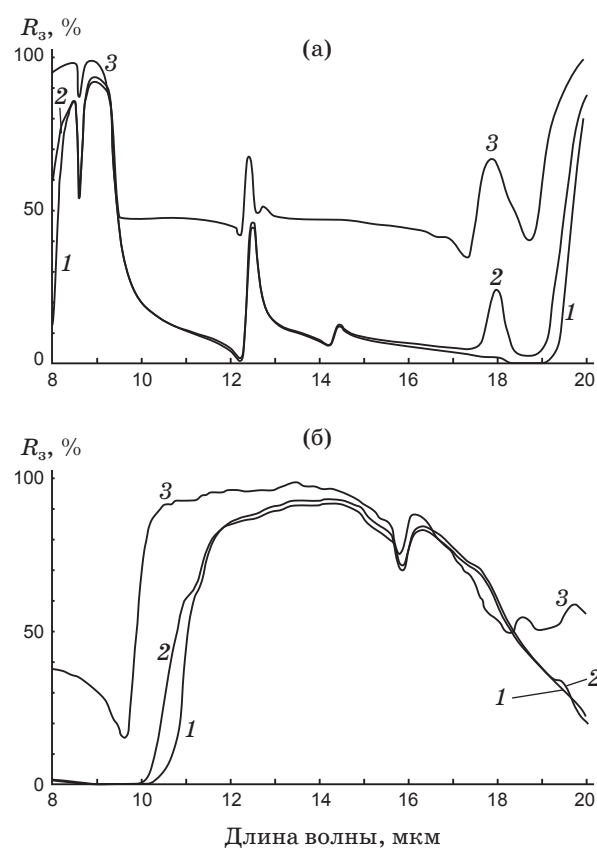


Рис. 1. Спектральная зависимость коэффициента зеркального отражения кристаллического кварца (а) и лейкосапфира (б) для различных углов падения. 1 – 10°, 2 – 45°, 3 – 80°.

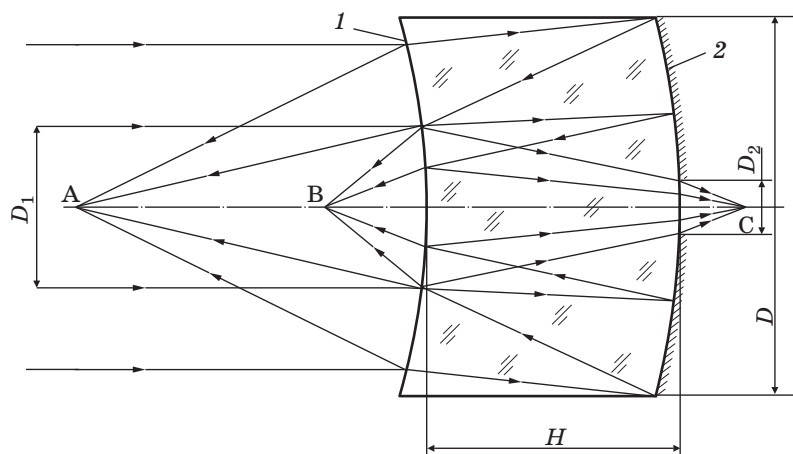


Рис. 2. Одноэлементный объектив-спектроделитель. Пояснения в тексте.

пазоне длин волн от 8 до 20 мкм, измеренная нами под углами 10° , 45° и 80° . Аналогичная зависимость для лейкосапфира приведена на рис. 16. Анализ этих рисунков показывает, что R_3 достигает значений более 0,9, хотя и в достаточно узких спектральных диапазонах. Однако в некоторых случаях этого достаточно для построения полноценной оптической системы. Использование этих и подобных материалов для разделения потоков излучения на отраженное от первой поверхности и проходящее сквозь нее в спектральном диапазоне прозрачности кристалла позволяет сократить количество оптических элементов (ОЭ), входящих в состав объектива, и упростить его конструкцию. Особенно в случаях, когда необходимо совместное использование диапазонов 8,0–14,0 мкм и видимого. Отпадает необходимость использования сложных, многослойных (иногда до 20–30 слоев) дихроичных покрытий, плохо воспроизводимых и, что наиболее важно, имеющих склонность к деградации под воздействием таких внешних факторов, как влажность и перепад температур.

На рис. 2 показан объектив, в котором использовано описанное свойство кристаллического кварца, разделяющий поток излучения на три спектральных диапазона и имеющий единую визирную ось [4]. На сферическую поверхность 1 с радиусом кривизны R_1 в центральной зоне диаметром D_1 нанесено покрытие из германия. На сферическую поверхность 2 с радиусом кривизны R_2 , кроме центральной зоны диаметром D_2 , нанесено отражающее покрытие из алюминия. Излучение в спектральном диапазоне 8,0–10,0 мкм, отразившись от кольцевой зоны поверхности 1 вне диаметра

D_1 , фокусируется в точку А. Излучение в спектральном диапазоне прозрачности кристаллического кварца 0,2–3,7 мкм преломляется на кольцевой зоне поверхности 1 и отражается от поверхности 2. Затем излучение диапазона 1,8–3,7 мкм преломляется на поверхности 1 в зоне D_1 и фокусируется в точку В. Излучение диапазона 0,2–1,8 мкм отражается от поверхности 1 в зоне D_1 , преломляется на поверхности 2 в зоне D_2 и фокусируется в точку С. При необходимости согласования по спектру с имеющимися фотоприемными устройствами границы спектроделения могут быть смещены путем замены германия на дихроичное покрытие или, например, кремний.

В табл. 1 приведены оптические характеристики этого объектива с конструктивными параметрами: $D = 80$ мм, $D_1 = 34,6$ мм, $D_2 = 3,0$ мм, $R_1 = R_2 = -139,64$ мм, $H = 50$ мм.

Конечно, качество получаемого изображения невысокое, однако есть возможности его исправления путем замены сферических поверхностей на асферические либо путем введения в оптическую схему дополнительных ОЭ. Кроме того, существуют задачи, для которых предельное качество изображения не является обязательным, а приоритетными являются массогабаритные характеристики, технологическая доступность, длительный срок службы и т. д. (например, в охранных, различных сигнальных системах, некоторых эндоскопических устройствах).

На рис. 3 показан зеркально-линзовый объектив с зеркалами 1 и 2, построенный по схеме Кассегрена, с помощью которого можно получать изображения достаточно высокого качества. В нем ОЭ из сапфира 3, изготовленный по

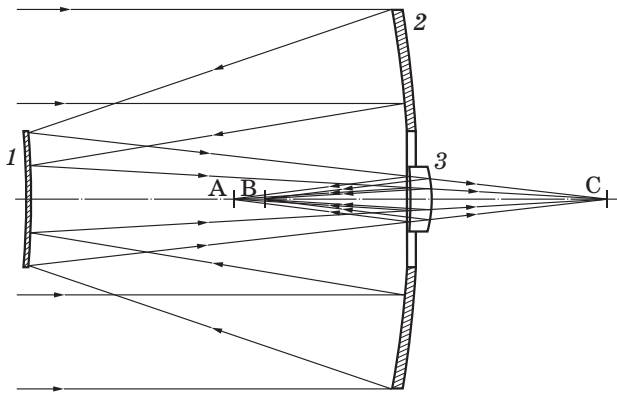


Рис. 3. Зеркально-линзовый объектив. Пояснения в тексте.

схеме объектива-спектроделителя, показанной на рис. 2, одновременно делит излучение на три спектральных диапазона и является компенсатором полевых aberrаций. В табл. 2 приведены диаметры пятен рассеяния в центре и по полю в фокальных плоскостях (А), (В) и (С) для выделенных спектральных диапазонов объектива. Апертура объектива 300 мм, коэффициент экранирования 0,37, полное поле зрения 1° .

Увеличивая апертуру главного зеркала и уменьшая центральное экранирование, можно увеличивать количество фокусируемой световой энергии и компенсировать такой недостаток однолинзового объектива-спектроделителя, как невысокий коэффициент пропускания. Следует отметить, что в расчетах мы не учитывали поляризационные эффекты, что в отдельных ситуациях может оказаться значимым.

Анализ зависимости R_3 от угла падения (рис. 1а и 1б) показывает возможность управления параметрами отражения при изменении

Таблица 1. Оптические характеристики одноэлементного объектива-спектроделителя

Спектральный диапазон $\Delta\lambda$, мкм	Фокусное расстояние, мм	Диаметр пятна рассеяния (83,8% энергии), мм	Коэффициент пропускания с учетом экранирования
8,0–14,0	69,8	0,37	0,7
1,8–3,7	54,5	1,41	0,35
0,2–1,8	89,4	0,85	0,2

Таблица 2. Оптические характеристики зеркально-линзового объектива

Спектральный диапазон $\Delta\lambda$, мкм	Фокусное расстояние, мм	Относительное отверстие	Диаметр пятна рассеяния (83,8% энергии), мм	
			центр	край поля
0,4–0,7	1300,1	1 : 4,3	0,013	0,084
10–14	-1258,6	1 : 4,2	0,164	0,187
3,0–5,5	-1117,0	1 : 3,7	0,073	0,144

угла падения излучения. Подобного результата можно добиваться также изменяя температуру кристалла [3].

Дополнительно хотелось бы обратить внимание на принципиальную возможность работы в спектральном диапазоне от 15 до 100 мкм и далее, где метод остаточных лучей с использованием металл-галлоидных кристаллов позволяет выделять участки оптического спектра, в настоящее время практически неиспользуемые.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Терешин Е.А., Шатунов К.П., Журавлев П.В. Объективы с разделенным входным зрачком для двух-спектральных оптико-электронных приборов // Изв. вузов. Приборостроение. Т. 44. № 8. 2001. С. 58–62.
2. Моисеев В.А., Терешин Е.А., Демьянов Э.А., Журавлев П.В., Ульянова Е.О., Шатунов К.П., Чурилов С.М. Принципы построения многоспектральных комплексированных оптико-электронных систем // Изв. вузов. Приборостроение. Т. 47. № 9. 2004. С. 51–57.
3. Борисевич Н.А., Верещагин В.Г., Валидов М.А. Инфракрасные фильтры. "Наука и техника", 1971. 228 с.
4. Сабинин В.Е., Солк С.В., Лебедев О.А. Спектроделитель // Патент России на полезную модель № 100307. 2010.