

20. Холодов В. М., Трофимова Ж. П., Петлицкая Я. В., Тютюма С. А., Демидович Т. И. Исследование равномерности распределения конденсата на поверхности сферической детали различной кривизны// ОМП. 1988. № 4. С. 47—49.

21. Горелик Г. Е., Демидович Т. И., Лейцина В. Г., Трофимова Ж. П., Холодов В. М. Распределение конденсата на поверхности сферических деталей, совершающих сложное движение в вакуумной камере// Там же. № 11. С. 29—32.

22. Костюченко И. Г., Повещенко В. П., Понкратов В. В., Трофимова Ж. П., Тютюма С. А., Холодов В. М. Расчет распределения конденсата по приемной поверхности сложной формы// Там же. 1984. № 10. С. 36—39.

23. Ковалев Л. К. Осаждение конденсата на поверхность подвижного держателя образцов при некосинусоидальном законе распределения// Там же. № 3. С. 34—36.

24. Иванова Г. Е., Корбан В. Н., Трояк Б. Д., Фролова Т. В. Определение характера распределения конденсата по поверхности деталей при вакуумном напылении// Там же. 1987. № 6. С. 41—45.

25. Голубева Г. И. и др. Изготовление вакуумным методом интерференционных многослойных фильтров на неплоских поверхностях// Там же. 1968. № 11. С. 58—60.

26. Большанин А. Ф. и др. Вакуумное осаждение пленок из плоского испарителя больших размеров// Межвузовский

сб. Прогрессивные методы изготовления и контроля современных оптических и оптико-электронных приборов. — Новосибирск, 1982. С. 62—69.

27. Patent 4, 380,212, US Apr. 19. 1983.

28. А.с. 159459 от 4.08.80 г.

29. Трофимова Ж. П., Холодов В. М., Демидович Т. И., Петлицкая Я. В., Савченко А. В. Анализ распределения конденсата и выбор корректирующих масок для получения равномерных по толщине оптических покрытий// ОМП. 1987. № 6. С. 30—32.

30. Усоскин А. И. Корректирующие диафрагмы для повышения равномерности толщины вакуумных покрытий// Там же. 1984. № 8. С. 33—36.

31. Абзалова Г. И., Сабиров Р. С., Михайлов А. В. Нанесение равномерных по толщине покрытий на большие поверхности методом электронно-лучевого испарения в вакууме// Оптический журнал. 2005. Т. 72. № 10. С. 76—78.

32. Берднт К. Г. Методы контроля и измерения толщины пленок и способы получения пленок, однородных по толщине// Сб. "Физика тонких пленок". Т. 3/Под ред. Г. Хасса и Р. Э. Туна. — М.: Мир, 1968. С. 7—57.

33. Краснов М. Л., Киселев А. И., Макаренко Г. И. Интегральные уравнения. — М.: Наука, 1976.

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2006 г.

The method of definition of the area of a functional mask for vacuum aspherezation

B. N. Senik

JSC "Krasnogorsky Zavod", Krasnogorsk, Moscow region, Russia

The quality of optical and constructional coverings in many respects depends on drawing rated thickness of layers on all area of optical elements. The method of definition of the area of the functional mask, used as the tool in technology vacuum aspherezation is offered for consideration.

УДК 535.2

Применение кристаллов в перспективных разработках гиперспектральных оптических систем

Б. Н. Сенник

ФНПЦ ОАО "Красногорский завод им. С. А. Зверева", г. Красногорск, Московская обл., Россия

Рассмотрена возможность разработок гиперспектральных оптических систем на базе использования оптических кристаллов с широким спектральным диапазоном пропускания в целях создания оптико-электронных систем с повышенной информативностью и уменьшенными массогабаритными характеристиками.

Одна из актуальных задач сегодняшнего дня — решение ряда технических задач, связанных с расширением возможностей оптико-электронных систем и комплексов, а именно возможность одновременного функционирования в видимом- и ИК-диапазонах, что очень важно для изделий как

специального, так и гражданского назначения (повышение информативности и обеспечение более широких эксплуатационных характеристик изделий).

Некоторые оптические кристаллы (сульфид цинка, селенид цинка, хлористый калий, хлористый натрий) обладают расширенным спектраль-

ным диапазоном пропускания, что в свою очередь позволяет на их основе разрабатывать оптические гиперспектральные системы.

Сульфид цинка ZnS

Интерес к поликристаллическому сульфиду цинка как к оптическому материалу определяется его свойствами: высоким интегральным пропусканием (~0,72) в диапазоне 400—14000 нм, термостабильностью и высокой механической прочностью.

Сульфид цинка используется для изготовления оптических элементов различного назначения: проходных элементов лазеров, работающих в ближнем и среднем ИК-диапазонах, линз и зеркал, защитных окон и элементов для авиационных и космических аппаратов, устройств самонаведения [1].

Возможность получения этого материала в виде габаритных заготовок различной формы в сочетании с относительно невысокой стоимостью открывают новые перспективы использования ZnS для других оптических применений. В настоящее время для изготовления оптического ZnS развиты три способа промышленных технологий получения крупногабаритных заготовок:

метод высокотемпературного прессования порошка;

метод сублимационно-конденсационного выращивания;

метод химического газофазного осаждения.

Результаты исследования физико-механических свойств образцов сульфида цинка, получаемых различными методами, показывают, что по совокупности свойств лучшими являются образцы, полученные методом химического газофазного осаждения (CVD) (табл. 1). Одним из достоинств

метода CVD, основанного на реакции паров цинка и сероводорода, является возможность получения материала при относительно низких температурах. Это в свою очередь обуславливает малые значения размеров зерна, кристаллизацию в фазе сфалерита как более плотной модификации и более высокую в сравнении с другими способами получения чистоту материала. Последний фактор очень важен для обеспечения низких оптических потерь ZnS.

Значительная часть работ посвящена получению поликристаллического сульфида цинка методом высокотемпературного прессования порошка. Метод привлекателен тем, что дает возможность получать разнообразные профильные заготовки с помощью пресс-форм.

Оптимальные условия получения оптической керамики ZnS: $P = 500\text{—}600 \text{ кг/см}^2$; $T = 925\text{—}950 \text{ }^\circ\text{C}$; время выдержки 0,5—1,5 ч; частота исходного порошка 99,8 %; размер частиц порошка 1—2 мкм.

Эти условия обеспечивают 70 % светопропускания на длине волны $\lambda = 1,064 \text{ мкм}$ (при толщине образцов 2 мм).

Недостаток данного метода — полная непрозрачность образцов в видимом диапазоне спектра. Для улучшения оптических характеристик ZnS исследовалось влияние термообработки и легирования исходного порошка на свойства поликристаллического материала.

В качестве легирующих добавок использовали медь в виде хлорида и сульфата, хлорида натрия, иттрия и гадолиния. Термообработка при $T = 750 \text{ }^\circ\text{C}$ обеспечивала очистку сырья от кислородосодержащих примесей, негативно влияющих на светопропускание образцов. В результате получена оптическая керамика, прозрачная в видимой- и ИК-областях спектра.

Таблица 1

Сравнительные механические характеристики образцов ZnS, получаемых различными методами

Материал	Размер зерна, мкм	Прочность, кг/мм ²	Модуль Юнга, 10 ⁻⁵ кг/см ²	Коэф. Пуассона, отн. ед.	Микротвердость, кг/мм ²	Трещиностойкость, МПа·м ^{1/2}	Термостойкость ΔT , °C
ZnS—CVD "желтый"	3—10	11,8	8,39	0,34	218	0,78	180
ZnS—CVD "белый"	3—10	7,5	—	—	197	0,88	158
ZnS—CVD (HIP)	100—200	8,3	8,3	0,358	182	0,90	158
PO2	До 1000	4,3	8,28	0,357	199	0,45	90
KO2-B	1—2	8,5	8,93	0,317	221	0,59	125
ZnS—CVD "Raytran"	20—100	10,54	7,6	—	250 Кнуп	—	—
ZnS—CVD (HIP) "Cleartran"	75	5,27	—	—	160 Кнуп	—	—
"Irtran 2"	—	9,93	8,55	—	354	—	—

В настоящее время за рубежом основная часть производимого поликристаллического сульфида цинка для оптических элементов так называемых FLIR-систем (Forward Looking Infra Red) представлена материалом, получаемым газофазным химическим осаждением. Рабочий диапазон пропускания таких элементов 0,4—14 мкм. Оптические свойства деталей из сульфида цинка показаны на рис. 1, а, б.

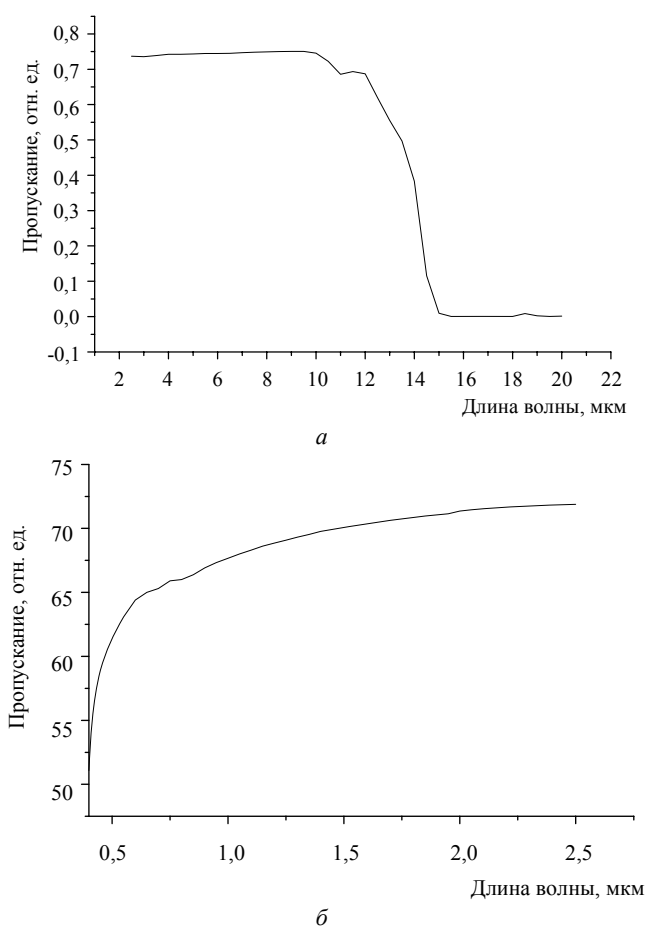


Рис. 1. Пропускание пластины сульфида цинка:

а — в ИК-области спектра; б — в ближней области спектра

В коротковолновом интервале ZnS—CVD обладает значительным рассеянием, обусловленным наличием пор. Для расширения возможностей использования материала во всем диапазоне прозрачности и прежде всего для увеличения пропускания в видимом диапазоне используют последующую обработку кристаллов в газостатах. Процесс заключается в одновременном воздействии высоких температур (800 — >1000 °С) и давлений инертного газа (34—205 МПа). (Принятая в литературе аббревиатура процесса — HIP — high temperature isostatic pressure.) В процессе обработки ZnS происходят превращение некубических полиморфных форм в кубические, уменьшение содержания как растворенных примесей, так и включений второй фазы, уменьшение равновесной

концентрации атомов замещения и вакансий кристаллической решетки. Но основной целью использования газостатического прессования является повышение плотности материала, в результате чего происходит уменьшение содержания пор, являющихся основными источниками оптических потерь. При этом наблюдается не только уменьшение рассеяния в видимом и ближнем ИК-диапазонах, но и снижение поглощения (табл. 2).

Таблица 2

Значения коэффициентов поглощения ZnS—CVD

Длина волны, мкм	Значения коэффициента, см ⁻¹	
	до HIP	после HIP
2,8	$4,09 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$
3,8	$2,19 \cdot 10^{-2}$	$8,16 \cdot 10^{-3}$
9,27	$8,12 \cdot 10^{-2}$	$1,29 \cdot 10^{-2}$
10,6	$2,54 \cdot 10^{-1}$	$1,92 \cdot 10^{-1}$

Решение задачи получения материала с высокими оптическими и механическими характеристиками возможно на основе оптимизации условий синтеза и последующей газостатической обработки. Поиск таких условий составляет основное направление современных исследований в области получения CVD сульфида цинка как материала для ИК-оптики.

В Институте химии высокочистых веществ РАН (ИХВВ РАН) впервые в нашей стране разработана двухстадийная технология поликристаллического сульфида цинка и получен патент на способ изготовления прозрачного в видимой- и ИК-областях спектра сульфида цинка с высокими механическими характеристиками. Технология производства позволяет выращивать заготовки диаметром до 100 мм и толщиной до 15 мм.

Селенид цинка ZnSe

Развитие военной техники и соответствующих технологий привело к существенному прогрессу в области разработки высококачественных ИК-материалов. И если, например, германий и кремний могли конкурировать с селенидом цинка при использовании в системах для получения информации в окнах прозрачности атмосферы 1—3; 3—5; 8—14 мкм, например в приборах ночного видения, то требование прозрачности материала в видимом диапазоне делает селенид цинка несомненным лидером при использовании одновременно в видимой и ИК-областях спектра.

Следует отметить, что даже в конце 80-х годов этот материал еще не считался перспективным для лазерных применений. Разработанные методы горячего прессования, сублимации и выращивания из расплава не позволяли получить материал необходимого качества. И только развитие CVD-

технологии дало возможность получить селенид цинка с предельными оптическими и механическими характеристиками [2].

Как уже отмечалось, основными областями применения селенида цинка являются лазерная оптика и устройства приема и регистрации слабого ИК-излучения. И если для применения в мощных лазерных системах в области 10,6 мкм селенид цинка в настоящее время практически является незаменимым материалом, то по-иному обстоит дело, когда речь идет об его использовании в так называемых FLIR-системах (Forward Looking Infra Red — systems).

К окнам FLIR-систем предъявляются высокие требования. Окно должно:

пропускать излучение на соответствующих длинах волн без большого ослабления;

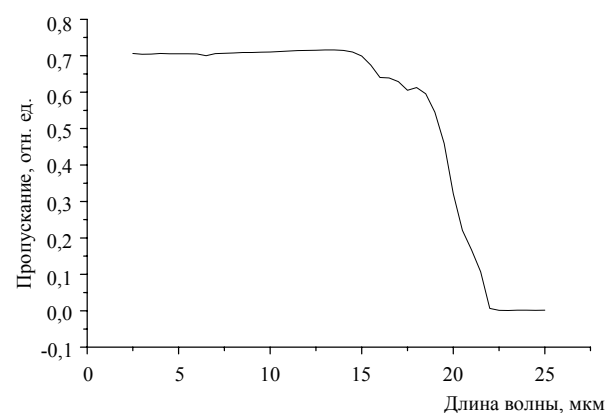
выдерживать механические и тепловые нагрузки, возникающие при сверхскоростном полете, и обладать высокой коррозионной устойчивостью;

вносить лишь незначительные искажения в изображение, формируемое оптической системой; излучать лишь незначительное количество энергии в рабочем диапазоне длин волн;

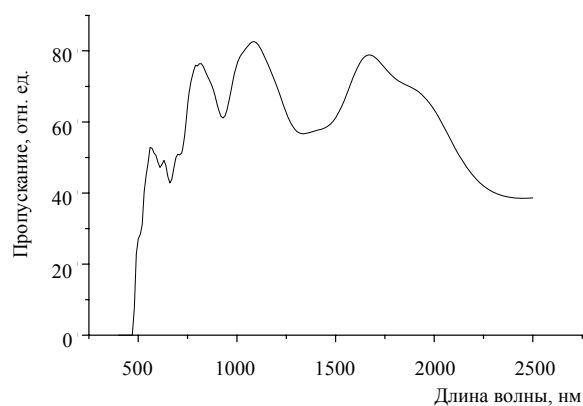
отвечать требованиям простоты изготовления и ухода за ним при наземном обслуживании;

иметь максимальную апертуру в целях повышения разрешающей способности ИК-системы в целом.

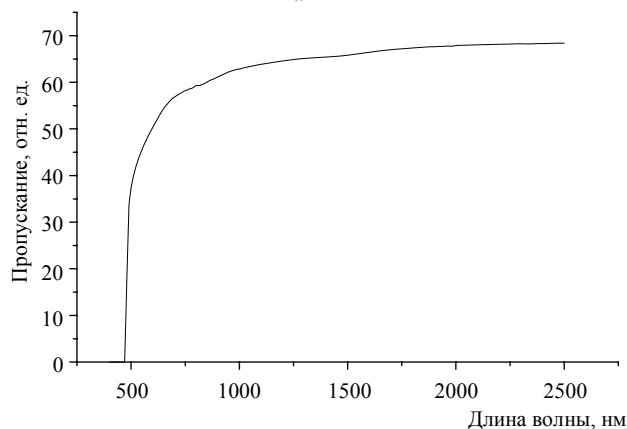
Оптическое пропускание пластины из селенида цинка в ИК-области спектра показано на рис. 2, а.



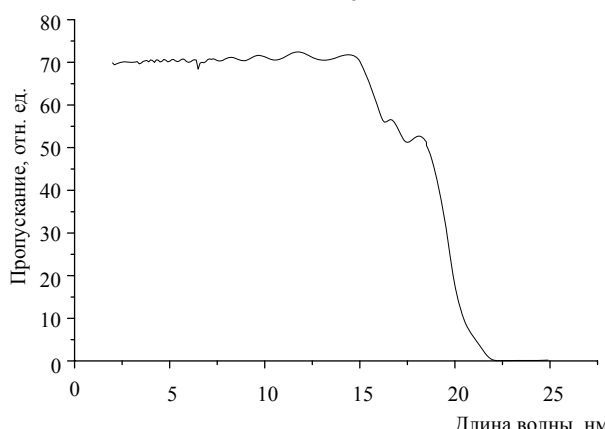
а



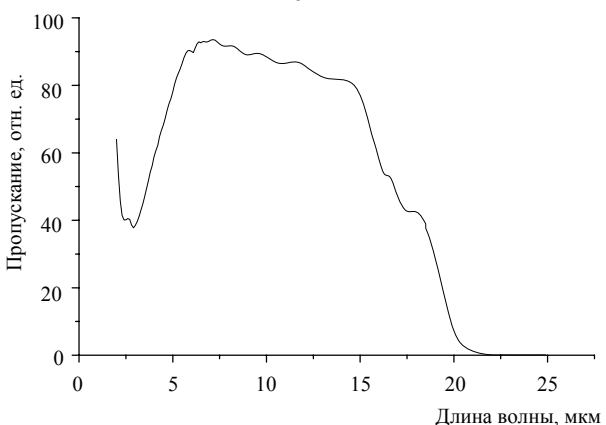
б



в



г



д

Рис. 2. Пропускание пластины из селенида цинка:
 а — в ИК-области спектра; б — в ближней области с просветлением Сагу-5000; в — в ближней области пластины без просветления Сагу-5000;
 г — в ИК-области без просветления Equinox 55;
 д — в ИК-области с просветлением Equinox 55

Одним из важнейших требований, предъявляемых к окну, является требование внесения минимальных искажений в информационный сигнал от объекта и высокая чувствительность системы в целом, которая определяется отношением сигнал/шум и которая ухудшается при увеличении температуры окна из-за возрастания тепловых шумов. В случае использования окна из ZnSe ухудшения качества системы по этому параметру практически не происходит, а оптические свойства германия и кремния быстро ухудшаются с повышением температуры за счет резкого увеличения концентрации свободных носителей заряда.

Однако селенид цинка — мягкий материал и слишком чувствителен к столкновениям с каплями дождя и твердыми частицами. Поэтому из селенида цинка изготавливаются окна для космических аппаратов, где практически нет атмосферы, и оконный элемент не подвергается эрозионному воздействию.

При использовании окна в летательных устройствах, эксплуатируемых в плотных слоях атмосферы, важно, чтобы элемент не деградировал и не разрушался при контакте с частичками пыли, льда, влаги и т. д. С этой целью ранее использовались окна из германия, который обладает превосходными механическими свойствами, но не годится для применения там, где возможен аэродинамический нагрев. Так, например, полет на высоте ниже 1,5 км при скорости около 1000 км/ч (0,8 М) приводит к уменьшению пропускания окна из германия на 40 %. Практически окна из германия становятся непрозрачными при температурах 150 °С. При скорости 5000 км/ч (4М) в плотных слоях атмосферы температура окна может достигать 400 °С, поэтому сейчас в основном окна и колпаки FLIR-систем для таких скоростных летальных аппаратов изготавливают из сульфида цинка. Однако при использовании последнего возникает проблема, связанная с тем, что с повышением температуры существенно увеличивается экстинкция в длинноволновой части полосы пропускания FLIR-системы из-за резкого возрастания решеточного поглощения окна.

Эта проблема может быть решена путем упрочнения поверхности толстого окна из селенида цинка тонким слоем сульфида цинка. Как показали многочисленные эксперименты, слои сульфида цинка толщиной, не превышающей 0,5 мм, могут обеспечить такую твердость, которая сравнима с твердостью монокристаллических окон из сульфида цинка. Такие композиты обладают хорошими оптическими качествами и в них не происходит расслоения несмотря на развитие значительных напряжений за счет различия в коэффициентах теплового расширения. Такой слоистый материал ZnS/ZnSe под

названием Tufran применяется за рубежом при конструировании FLIR-систем.

Наиболее перспективный подход к упрочнению поверхности ИК-оптики из селенида цинка — нанесение на внешнюю поверхность оптических элементов покрытий из поликристаллического алмаза. С одной стороны, это новый уникальный материал, обладающий рядом рекордных характеристик, из которых для рассматриваемой задачи важны прежде всего микротвердость 90—100 ГПа и теплопроводность на уровне 10—20 Вт/см·град, с другой стороны, — алмаз прозрачен как в видимой области спектра, так и инфракрасной для длин волн более 5 мкм. К сожалению, нет технологии нанесения пленок со структурой алмаза, не имеющих поглощения в видимой- и ИК-областях спектра. При получении пленок в них неизбежно появляется примесь графита, что и приводит к большому поглощению.

Для упрочнения поверхности деталей из селенида цинка (ZnSe) на ФНПЦ ОАО "Красногорский завод им. С. А. Зверева" разработано упрочняющее просветляющее покрытие, значительно повышающее прочность поверхности к воздействию эксплуатационных параметров (холод, жара, конденсат, иней, динамическая пыль, влага и т. д.) при обеспечении высоких оптических характеристик изделия в целом.

Спектральная кривая пропускания оптических элементов из поликристаллического селенида цинка с просветляющим покрытием приведена на рис. 2, б—д.

В основном ZnSe используется во всем мире для применения в CO₂-лазерах. Для этих целей за рубежом применяется селенид цинка, имеющий марку LASERTRAN, и годовая потребность в этом материале, по оценкам зарубежных экспертов, составляет около 250 тыс. шт., или примерно 10—12 т материала.

Объемные образцы селенида цинка можно получать разными методами: выращиванием из расплава, горячим прессованием порошка, кристаллизацией из паровой фазы (PVD), химическим осаждением из газовой фазы (CVD). В зависимости от используемого метода свойства получаемого материала могут существенно различаться (см. табл. 1). Это связано с влиянием условий получения материала на его структуру, примесный состав, наличие объемных дефектов и их концентрацию.

За рубежом основное развитие получил метод химического осаждения из газовой фазы (CVD-метод), в нашей стране традиционно развивались методы выращивания из расплава, горячего прессования и вакуумной сублимации (конденсации).

Основными производителями CVD—ZnSe являются американские фирмы II—VI Inc. и Rohm and Haas. Небольшое количество этого материала производят фирмы Phase IV (США) и Sumitomo (Япония).

Оптические элементы из селенида цинка изготавливаются значительно большим числом компаний, основными из которых являются II—VI Inc., Laser Power Corp., RMI, LPO (все США), VS Scientific (Великобритания), Artas, LOT—Oriol (Германия) и др. В ИХВВ РАН работы по получению высококачественного CVD—ZnSe проводятся с 1982 г.

Выполненные исследования позволили выявить оптимальные кинетические и термодинамические параметры проведения процесса CVD—ZnSe и создать крупногабаритные установки, на которых были получены заготовки диаметром до 230 мм и толщиной до 20 мм.

В качестве справочных данных в табл. 3 приводятся значения показателей преломления сульфида и селенида цинка во всей рабочей спектральной области.

Для разработки оптической гиперспектральной системы с высокими выходными оптическими характеристиками и минимизацией аббераций, в частности хроматической, требуется определенная номенклатура кристаллов с высокими и низкими показателями преломления. Вышеуказанные кристаллы — сернистый цинк (ZnS) и селенид цинка (ZnSe) — относятся к оптическим средам с высокими показателями преломления. К одним из лучших прозрачных материалов, используемых в качестве оптических элементов, относятся щелочно-галогенидные кристаллы (ЩГК) — хлористый калий (KCl), хлористый натрий (NaCl) [группа водорастворимых кристаллов].

**Хлористый калий (KCl),
хлористый натрий (NaCl)**

Монохроматические хлориды калия и натрия нашли широкое применение в качестве проходных оптических элементов для мощных технологических CO₂-лазерных систем, что объясняется его малым объемным поглощением и относительно низкой стоимостью.

Наиболее распространенная форма оптических элементов — это диски, плоские или сферические поверхности которых отполированы и, при необходимости, на них нанесены защитно-просветляющие покрытия.

Одной из наиболее эффективных технологий получения кристаллов NaCl и KCl является технология скоростного выращивания профилированных кристаллов [4].

Таблица 3

Зависимость показателей преломления селенида цинка и сульфида цинка (CVD-метод) от длин волн спектра при температуре 20 °С [3]

Длина волны, мкм	Показатель преломления, отн. ед.	
	ZnSe	ZnS
0,42	—	2,516
0,46	—	2,458
0,50	—	2,419
0,54	2,6754	2,391
0,58	2,6312	2,371
0,62	2,5994	2,355
0,66	2,5755	2,342
0,70	2,5568	2,332
0,74	2,5418	2,323
0,78	2,5295	2,316
0,82	2,5193	2,310
0,86	2,5107	2,305
0,90	2,5034	2,301
0,94	2,4971	2,297
0,98	2,4916	2,294
1,00	2,4892	2,292
1,40	2,4609	2,275
1,80	2,4496	2,267
2,20	2,4437	2,263
2,60	2,4401	2,260
3,00	2,4376	2,257
3,40	2,4356	2,255
3,80	2,4339	2,253
4,20	2,4324	2,251
4,60	2,4309	2,248
5,00	2,4295	2,246
5,40	2,4281	2,244
5,80	2,4266	2,241
6,20	2,4251	2,238
6,60	2,4235	2,235
7,00	2,4218	2,232
7,40	2,4201	2,228
7,80	2,4183	2,225
8,20	2,4163	2,221
8,60	2,4143	2,217
9,00	2,4122	2,212
9,40	2,4100	2,208
9,80	2,4077	2,203
10,20	2,4053	2,198
10,60	2,4028	2,192
11,00	2,4001	2,186
11,40	2,3974	2,180
11,80	2,3945	2,173
12,20	2,3915	2,167
12,60	2,3883	2,159
13,00	2,3850	2,152
13,40	2,3816	2,143
13,80	2,3781	2,135
14,20	2,3744	2,126
14,60	2,3705	2,116
15,00	2,3665	2,106
15,40	2,3623	2,095
15,80	2,3579	2,084
16,20	2,3534	2,072
16,60	2,3487	2,059
17,00	2,3438	2,045
17,40	2,3387	2,030
17,80	2,3333	2,015
18,20	2,3278	1,998

Традиционные методы оптико-механической обработки, особенно полировка, встречаются с большими трудностями при обработке кристаллов больших сечений. Так, удовлетворительные параметры плоскостей $\sim 200 \times 200$ мм получать регулярно практически не удается. Перспективным является метод обработки алмазного точения. Совместно с Институтом сверхтвердых материалов (ИСМ) АН Украины разработан и изготовлен плоскофрезеро-вальный станок мод. САФ-600 с диаметром обрабатываемых деталей до 600 мм. Шероховатость обработанных на этом станке пластин ДКДР 210×210 мм составила до 300 \AA . Дальнейшее развитие технологии обработки позволит уменьшить шероховатость до $150\text{—}200 \text{ \AA}$.

Развитие новой технологии оптико-механической обработки потребовало разработки средств измерения параметров поверхности. Совместно с ИСМ АН Украины разработан автоматизированный (на микро-ЭВМ типа ДВК) лазерный интерферометр Физо на апертуру ~ 400 мм. Разработана лазерно-дифракционная методика измерения шероховатости поверхностей с шероховатостью до $\sim 50 \text{ \AA}$. Методика позволяет получать репрезентативные результаты для больших поверхностей с высокой экспрессностью. Измерения автоматизированы на микро-ЭВМ и осуществляются непосредственно на станке без съема детали.

Для вышеуказанных кристаллов характерно сочетание следующих свойств: невысокая теплопроводность, значительный коэффициент линейного расширения ($335 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ при $t = 60 \text{ }^\circ\text{C}$), небольшой предел упругости и высокая гигроскопичность. Это приводит к низкой термомеханической прочности, т. е. способности выдерживать без разрушения температурные градиенты. В работе [5] описываются пути решения этих проблем.

Из-за гигроскопичности кристаллов эксплуатировать элементы из них необходимо с покрытиями, защищающими от разрушающего воздействия атмосферной влаги. Для формирования покрытий следует выбирать нерастворимые в воде материалы, образующие малопористые плотные пленки. Для одновременного обеспечения функции просветления элемента покрытия должны быть выполнены из непоглощающих материалов. Соединения, обладающие перечисленным набором свойств, немногочисленны. Защищающие от воды полимерные покрытия на практике используются лишь для межоперационной защиты из-за поглощения излучения с длиной волны $10,6$ мкм. Наиболее подходящими из неорганических соединений являются халькогениды мышьяка: сульфид и селенид мышьяка, а также фтористый свинец.

Халькогенидные стекла практически нерастворимы в воде, имеют уровень объемного поглощения около 1 см^{-1} , образуют плотные малопористые пленки. Фтористый свинец в паре с халькогенидом мышьяка образуют пригодную для защитного покрытия пару. Покрытия обеспечивают защиту оптических элементов от воздействия атмосферного воздуха, повышенной влажности.

Элементы с покрытиями первого типа могут надежно эксплуатироваться в условиях относительной влажности $82\text{—}85 \%$. Коэффициент достаточного отражения на рабочей длине волны покрытий первого типа менее $0,5 \%$. Величины порогов лазерного разрушения оптических элементов с покрытиями близки к порогам разрушения чистой поверхности элемента при импульсном, импульсно-периодическом и непрерывном воздействиях излучения CO_2 -лазера [6].

В работе [7] исследована возможность использования полимеров в качестве защитных покрытий в целях повышения надежности и долговечности деталей из ЦГК. Исследована влагостойкость полимерных образцов. Определены сорбционно-диффузионные характеристики: коэффициенты диффузии воды, влагопроницаемости, растворимости; величина сопротивления пограничного слоя; значения краевого угла смачивания водой пленок полимера. Полученные результаты свидетельствовали о высоких гидрофобности и влагостойкости исследованных сополимеров.

Оптические свойства хлористого калия

Показатель преломления $n_d = 1,4902$; средняя дисперсия $n_f - n_c = 0,01181$; коэффициент дисперсии $\nu_d = 43,85$. Показатели преломления в ультрафиолетовой, видимой- и ИК-областях спектра при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ следующие:

λ , мкм	0,185	0,250	0,405	0,546	,0706	1,083	5,303	8,250	11,786
n_λ	1,8270	1,5903	1,5099	1,4929	1,4851	1,4787	1,4698	1,4625	1,4490

Спектральная кривая коэффициента пропускания представлена на рис. 3, а.

Оптические свойства хлористого натрия

Показатель преломления $n_d = 1,54428$; средняя дисперсия $n_f - n_c = 0,01275$; коэффициент дисперсии $\nu_d = 42,69$. Показатели преломления в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ следующие:

λ , мкм	0,119	0,253	0,404	0,706	1,06	1,768	5,893	8,0	12,50
n_λ	1,7963	1,65112	1,5666	1,53851	1,5313	1,5273	1,5159	1,5064	1,4758

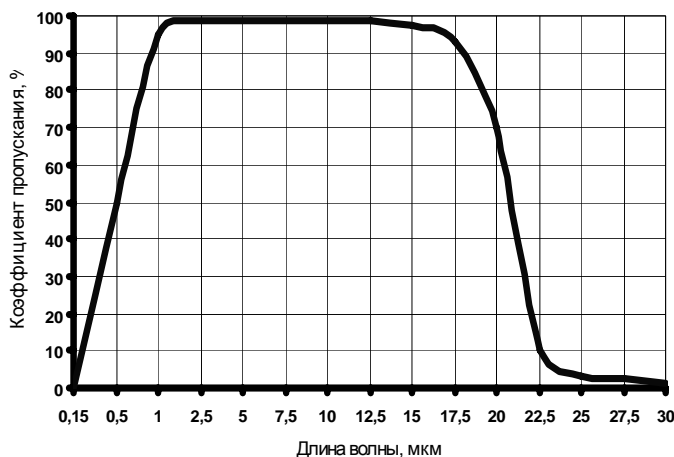
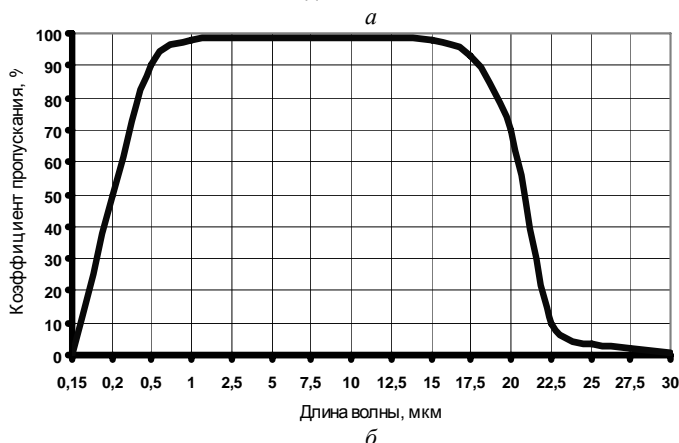


Рис. 3. Спектральная кривая пропускания:
а — хлористого калия; б — хлористого натрия



Значения коэффициента пропускания $\tau_i(\lambda)$ в области спектра 0,195—12,0 мкм слоя кристалла толщиной 10 мм следующие:

λ , мкм	0,195	0,253	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
$\tau_i(\lambda)$, %	7,2	95,5	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

Спектральная кривая коэффициента пропускания представлена на рис. 3, б.

Заключение

Из вышеуказанного следует, что в настоящее время существуют промышленные технологии выращивания и механической обработки кристаллов. Отработаны просветляющие и защитные покрытия. Проведены оптические и эксплуатационные испытания конкретных типов оптических элементов, подтверждающие возможность их применения в новых разработках оптико-электронных систем и комплексов как гражданского, так и специального назначения.

Литература

1. Гавришук Е. М., Караксина Э. В. Сравнительный анализ свойств поликристаллического сульфида цинка как материала ИК-оптики// Неорганическая химия. 2003. Т. 39. № 7. С. 786—792.
2. Гавришук Е. М., Яшина Э. В. Оптические элементы из сульфида цинка и селенида цинка для инфракрасной техники// Оптический журнал. 2005. № 7. С. 56—59.
3. Feldman A. et al. Optical materials characterization final technical report Feb. 1, 1978. Sept. 30, 1978; National bureau of standards technical note 933, Pages 53 and 54.
4. Беспалов В. И. и др. Достижения в скоростном выращивании водорастворимых кристаллов и их оптико-механическая обработка// Сб. тез. VIII Межотр. науч.-техн. совещания "Кристаллические и оптические материалы". — М.: НТЦ Информтехника. С. 15.
5. Глебов В. Н. и др. Повышение термомеханической прочности оптических элементов и монокристаллического хлорида калия// Там же. С. 84.
6. Гавриленко О. Ф. и др. Защитно-просветляющие покрытия для ИГК// Там же. С. 34.
7. Докунина А. Ф. и др. Полимерные защитные покрытия для оптических деталей из водорастворимых кристаллов// Там же. С. 35.

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2006 г.

Application of crystals in perspective development of hyperspectral optical systems

B. N. Senik

JSC "Krasnogorsky Zavod", Krasnogorsk, Moscow Region, Russia

In the article the opportunity of development of hyperspectral optical systems on the basis of use of optical crystals with a wide spectral range of gating with the purpose of creation of optico-electronic systems with raised self-descriptiveness and reduced characteristics of the weight and size is considered.

* * *