

16. Рогожников А. В., Савенков А. Н. Речная гидроакустика – перспективы развития // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. 2012. № 1. С. 94–96.

17. Воронин В. А., Тарасов С. П., Тимошенко В. И. Гидроакустические параметрические системы. Ростов н/Д.: Ростиздат, 2004.

A. P. Voloshchenko
Southern Federal University

APPLICATION OF SIDE-SCAN SONAR TO LOCATE FISHING NETS

The use of side-scan sonar to combat fish poaching is considered. Illegal extraction of aquatic biological resources poses a serious threat to the economic and environmental security of Russia. The main fishing tool for poachers is a fishing net, which is located in the water column. Therefore, it is very difficult to detect it visually from a helicopter or boat. At the same time, the fishing net can be easily found using sonar systems. In 2017, the employees of the Southern Federal University and LLC «NOLACS» carried out experimental studies in the water area of the Taganrog Bay, confirming this assumption. A typical scheme of active sonar is presented and described. The principles of the active sonar operation are explained. The principle of operation of side-scan sonar is described. The diagram is given and the principle of obtaining an acoustic image by side-scan sonar is described. The scheme is given and the methods and conditions of research are described. The main characteristics of the used side-scan sonar are given. Several acoustic images of fishing nets are presented as results. Equipping fish protection vessels and boats of border guards with side-scan sonars will allow the employees of these departments to timely detect and eliminate fishing nets. The cost of purchasing, installing and maintaining sonars is significantly less than the damage caused by poachers.

Active sonar, side-scan, acoustic wave, beam width, sonogram, acoustic shadow, echo pulse

УДК 623.4

Е. Ю. Михтеева
Российский государственный гидрометеорологический университет

С. Ш. Михтеев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Оптические материалы для пассивных систем наблюдения

Вследствие снижения заметности современных воздушных и морских объектов повысился интерес к пассивным системам наблюдения и распознавания, основным элементом которых служит оптико-электронная система. В качестве материала в оптической системе используется кварцевое стекло, но оно имеет ограничения по пропусканию электромагнитного излучения в среднем инфракрасном диапазоне, что снижает эффективность системы. Для перспективных пассивных систем наблюдения необходимы материалы с расширенной областью пропускания электромагнитного излучения в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах. Одним из вариантов решения этой задачи может стать внедрение новых материалов в оптико-электронную систему. Такими материалами могут быть многокомпонентные фторидные стекла с их оптическими и термомеханическими характеристиками, способные воспринимать информацию о целях одновременно в различных областях инфракрасного диапазона, в том числе и в дальней инфракрасной области.

Фторидные стекла, инфракрасные материалы, оптико-электронные системы, объектив оптико-электронного модуля, оптические и термомеханические характеристик стекол

В связи с совершенствованием традиционных систем наблюдения и обнаружения повысился интерес и к исследованию других информационных

признаков объектов наблюдения, которые позволили бы применять пассивные системы наблюдения, в частности тепловые и оптико-корреляционные.

В пассивных системах наблюдения основные элементы изготавливаются из оптических материалов, определяющих работу этих систем – это обтекатели, интерференционные фильтры, окна пропускания приемников лучистой энергии, объективы, линзы, призмы и т. д. К физическим и химическим свойствам этих материалов предъявляются особые требования, они должны также обладать особыми эксплуатационными характеристиками. Окна приемников пассивных систем, объективы, обтекатели должны изготавливаться из материалов с низким показателем преломления, что позволит отказаться от просветляющих пленок и упростить технологию их изготовления. Оптические материалы не должны поглощать водяные пары из воздуха, взаимодействовать с той средой, в которой они будут эксплуатироваться. При конструировании оптических систем важно, чтобы все детали, находящиеся в контакте, имели близкие коэффициенты теплового расширения α . Современные пассивные системы наблюдения и распознавания воспринимают электромагнитное излучение в инфракрасном диапазоне с учетом снижения тепловой заметности наблюдаемых объектов. На оптические материалы, используемые в инфракрасной технике, накладываются дополнительные требования к химическим и физическим характеристикам: температура плавления t_f , твердость, модуль упругости, диапазон пропускания излучения.

Характеристики германия, синтетического сапфира, плавленого кварца и других материалов, используемых в настоящее время для элементов пассивных систем наблюдения и распознавания, показаны в табл. 1: температура плавления t_f , показатель преломления n_D , измеренный для желтого света, испускаемого парами натрия ($\lambda =$

$= 0.5893$ мкм); плотность ρ (удельный вес); коэффициент теплового расширения $\alpha \cdot 10^{-6} (\dots)^{-1}$, определяющий устойчивость материала к температурным колебаниям и возможности сочленения деталей оптической системы. Эти материалы дороги и требуют особых технологий при изготовлении из них деталей и узлов оптико-электронных систем. Кроме того, их нельзя использовать без просветляющей пленки из-за невысокого коэффициента пропускания в инфракрасной области [1]. Возникает необходимость замены этих материалов на новые, более дешевые и технологичные, и поэтому исследование возможностей совершенствования пассивных систем наблюдения и распознавания, улучшения их технических и экономических характеристик особенно актуально в настоящее время.

Сравнивая различные классы стекол – оксидные, халькогенидные, германатные и фторидные, – следует отметить, что последние обладают рядом преимуществ. Составы этих стекол можно легко варьировать, вводя ионы стронция, иттрия, индия, лантана, лантаноидов в широких интервалах – с молярной долей 10 % и более. Это позволяет получать материалы с необходимыми характеристиками.

В пассивных системах в качестве обтекателей и объективов применяются кварцевые стекла. Они имеют высокий коэффициент затухания оптического сигнала и ограничения пропускания излучения в среднем инфракрасном диапазоне. Фторидные стекла имеют незначительное затухание оптического сигнала и расширенную область пропускания электромагнитного излучения. От идеи использования этих материалов для дальних волоконно-оптических линий связи пришлось отказаться, однако они могут быть использованы в оптических устройствах для приема излучения в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах.

Таблица 1

Наименование материала	Состав	Практическая верхняя граница диапазона пропускания, мкм	t_f , °C	n_D	ρ , г/см ³	$\alpha \cdot 10^{-6}$, (\dots) ⁻¹
Плавленый кварц	SiO ₂	до 4.8	1700	1.46	2.20	0.5
Синтетический сапфир	Al ₂ O ₃	до 6	2030	1.76	3.98	6.66
Германий	Ge	1.6...6; 40...55	936	4.11	5.30	5.75
Фтористый кальций	CaF ₂	до 8	1360	1.44	3.18	±21
Фтористый натрий	NaF	до 11	980	1.30	2.79	32.2
Фтористый барий	BaF ₂	до 13.5	1280	1.60	4.83	32
Хлористый натрий	NaCl	15	801	1.52	2.16	44
Хлористый калий	KCl	20	776	1.46	1.98	36
Хлористое серебро	AgCl	22	458	2.00	5.56	30
Бромистый калий	KBr	27	730	1.53	2.75	41

Оптико-электронные системы применяются для преобразования электромагнитного излучения в инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра в приборах ночного наблюдения, а также для приема слабого светового излучения в сложных метеоусловиях. При приеме инфракрасного излучения именно в дальнем диапазоне резко повышается дальность обнаружения цели, улучшается тепловой контраст объекта. В итоге это позволяет добиться более эффективного применения инфракрасных прицелов, систем наблюдения и распознавания.

При проектировании систем наблюдения и распознавания объектов необходимо решить задачу обнаружения высокоскоростных целей с незначительной эффективной поверхностью рассеяния.

При проектировании пассивных систем с учетом приема и обработки информации в реальном масштабе времени оптико-электронные системы планируется внедрять в устройства, которые будут использоваться для обнаружения и сопровождения различных целей со сниженной тепловой заметностью. Таковыми для современных и перспективных оптико-электронных систем будут как воздушные, так и морские цели, в конструкции которых будут использованы материалы по программе «stealth», позволяющие значительно снизить их физические поля, а вместе с тем и контрастность в радиочастотном диапазоне. Опыт локальных конфликтов в различных регионах мира в последние годы показал невысокую эффективность традиционных систем обнаружения и наблюдения малораз-

мерных воздушных целей с незначительной эффективной поверхностью рассеяния.

К основным техническим требованиям, предъявляемым к системам наблюдения и распознавания объектов различного назначения, относится скрытность при приеме информации о цели и возможность получения информации одновременно в нескольких диапазонах. Исходя из этого положения, при разработке новых перспективных систем наблюдения в их состав необходимо внедрить оптико-электронный модуль, воспринимающий информацию одновременно от объекта в нескольких диапазонах: ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном и особенно – в дальнем инфракрасном. Получение информации, таким образом, позволит прежде всего повысить помехозащищенность систем наблюдения и обнаружения целей.

Оптико-электронные системы включают в себя оптический блок формирования изображения (объектив), фотоприемник излучения, электронный тракт обработки сигналов и устройства воспроизведения и анализа изображения. На рис. 1 представлена структурная схема оптико-электронного модуля на основе фторидных стекол: 1 – объектив из фторидного стекла; 2 – светоразделительная пластина из допированного фторидного стекла; 3 – блок охлаждения и аналого-цифровой обработки ИК-канала; 4 – микрокомпьютер; 5 – блок аналого-цифровой обработки УФ-канала; 6 – буферный цифровой накопитель; 7 – блок питания; 8 – передатчик в линию [2].

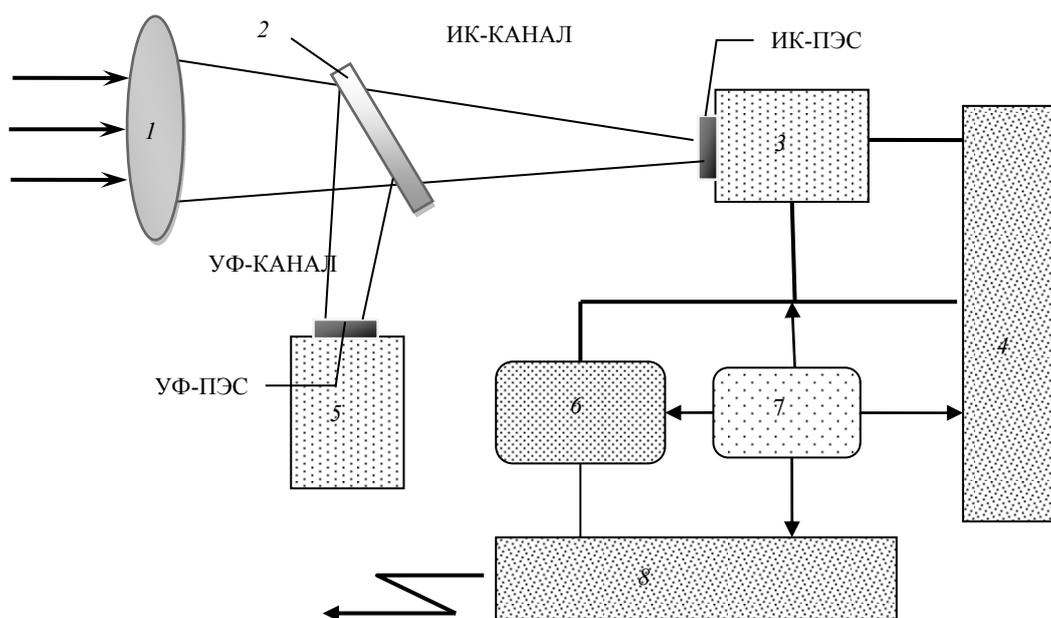


Рис. 1

Разработка перспективных оптико-электронных систем невозможна без внедрения новых оптических материалов, имеющих такие характеристики, которые позволили бы воспринимать информацию в более широком спектре излучения. Соответственно, таким системам необходимы более мощные фотоприемные устройства и средства обработки цифровой информации для увеличения объема восприятия.

Получение информации оптико-электронными системами определяется возможностью многоспектрального наблюдения в реальном масштабе времени. Оптико-электронные системы должны обладать спектральной чувствительностью от нижней ультрафиолетовой области (0.2...0.4 мкм) до среднего (3...5 мкм) и дальнего (8...14 мкм) инфракрасных диапазонов, причем этот режим желательно реализовать одним и тем же составом аппаратуры.

При проектировании современных воздушных и перспективных морских объектов разработчики, используя организационно-технические и конструктивно-технологические мероприятия, стремятся свести к минимуму вероятность обнаружения объектов с помощью радиолокационных станций, использующих радиочастотный диапазон. Снижение тепловой заметности воздушных и морских объектов, а также зависимость от метеословий пассивных систем обнаружения, работающих в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, снижают их эффективность работы. Следовательно, возникает необходимость приема информации одновременно в нескольких диапазонах, а особенно в дальнем инфракрасном.

Для решения данной задачи проанализируем свойства материалов оптических преобразующих устройств, приведенных в табл. 2. Их анализ по-

казывает, что наряду с такими характеристиками, как температуры стеклования t_g , кристаллизации t_c и плавления t_f , показатель преломления n , плотность ρ (удельный вес), коэффициент теплового расширения α , стойкость к воздействию жидкостей на поверхность материала, твердость, модуль упругости, радиочастотные свойства материала (при комплексном использовании инфракрасных и радиолокационных систем), важнейшими параметрами оптических материалов, применяемых в оптических модулях, становятся область пропускания излучения, а также коэффициент пропускания электромагнитных волн без применения просветляющей пленки. Для надежной работы пассивной системы диапазон пропускания используемых оптических материалов должен перекрывать атмосферные окна прозрачности. На сегодняшний день перечень таких материалов ограничен. К ним можно отнести монокристаллы KF, KBr, KCl, KI, NaBr, NaF, NaCl, CsI, CsCl, CsBr, PbF₂, CaF₂, BaF₂, SrF₂ и фторидные стекла.

Спектры пропускания исследуемых новых оптических материалов были сняты в институте химии ДВО РАН с помощью спектрофотометра Spесord M-80 при температуре 20 °С, погрешность измерений составила не более $\pm 1\%$.

В системах ZrF₄-BaF₂, сравнивая спектры фтороцирконатных стекол: 1 – 60ZrF₄-32BaF₂-4GdF₃-3AlF₃-1LaF₃ и 2 – 60ZrF₄-32BaF₂-4YbF₃-3AlF₃-1LaF₃ (рис. 2), можно заметить, что близкие по составу многокомпонентные стекла имеют практически совпадающий диапазон пропускания электромагнитного излучения. Он не зависит от конкретного состава стекла, эту зако-

Таблица 2

Составы стекол (моль %)	t_g , °С	t_c , °С	t_f , °С	n_D	ρ , г/см ³	$\alpha \cdot 10^{-6}$, (...°) ⁻¹
60ZrF ₄ – 32BaF ₂ – 4GdF ₃ – 3AlF ₃ – 1LaF ₃	308	377	516	1.519	4.71	18
60ZrF ₄ – 32BaF ₂ – 4YbF ₃ – 3AlF ₃ – 1LaF ₃	312	369	499	1.521	4.78	18
45PbF ₂ – 20MnF ₂ – 2AlF ₃ – 5YF ₃ – 30FeF ₃	249	317	524	1.639	5.90	18
36PbF ₂ – 24MnF ₂ – 34GaF ₃ – 4YF ₃ – 2ZrF ₄	263	341	515	1.577	5.20	18
34PbF ₂ – 22MnF ₂ – 35GaF ₃ – 5YF ₃ – – 2CuF ₂ – 2SrF ₃	273	336	526	1.576	5.60	18
30BaF ₂ – 18InF ₃ – 12GaF ₃ – 20ZnF ₂ – 10YbF ₃ – 4ZrF ₄ – 6ThF ₄	332	460	576	1.505	5.44	17.1
20BaF ₂ – 32InF ₃ – 8GaF ₃ – 20ZnF ₂ – 20SrF ₃	304	411	579	1.506	5.12	17.0
18BaF ₂ – 32InF ₃ – 8GaF ₃ – 20ZnF ₂ – 20SrF ₃ – 2CaF ₂ ;	306	431	582	1.509	5.20	17.0
11PbF ₂ – 32BaF ₂ – 17YF ₃ – 40InF ₃	304	372	562	1.549	5.50	17.1

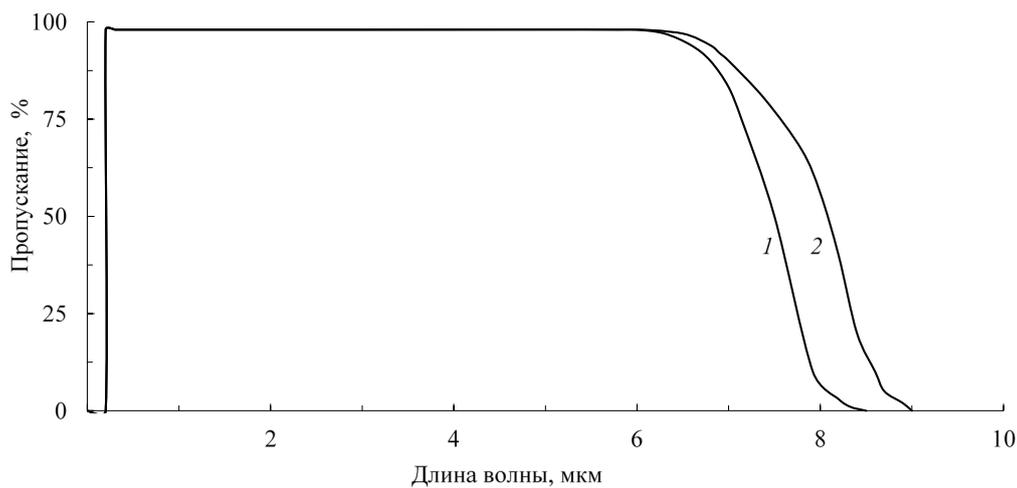


Рис. 2

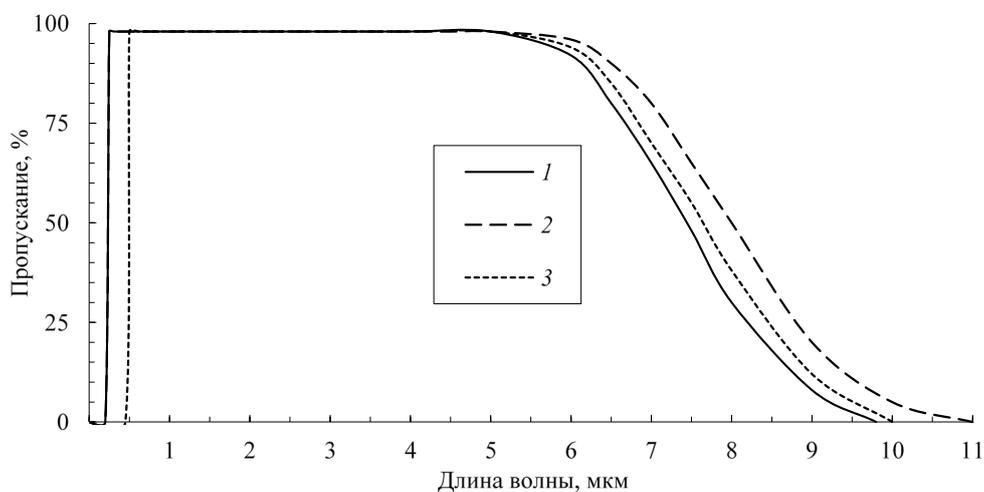


Рис. 3

номерность можно объяснить только особенностями взаимодействия между компонентами стекла и технологией его получения. Диапазон прозрачности этих стекол находится в интервале от 0.15...0.20 до 6...7 мкм.

Стекла составов 1 – 45PbF₂–20MnF₂–30FeF₃–5YF₃–2AlF₃, 2 – 34PbF₂–22MnF₂–35GaF₃–2SrF₃–2CuF₂–5YF₃–2AlF₃ и 3 – 36PbF₂–24MnF₂–4YF₃–34GaF₃–2ZrF₄ имеют более широкую область пропускания в инфракрасном диапазоне (см. рис. 3), но технологические свойства этих материалов низки. Получение объемных образцов из этих стекол оказалось невозможным [3].

Стекла составов BThZnYb и BInZnGa: 1 – 30BaF₂–18InF₃–12GaF₃–20ZnF₂–10YbF₃–6ThF₄–4ZrF₄ и 2 – 20BaF₂–32InF₃–8GaF₃–20ZnF₂–20SrF₃ (рис. 4) имеют еще более широкую область пропускания в инфракрасном диапазоне (50 % пропускание приходится на длину волны 10 мкм), тем не менее, этот диапазон не перекры-

вает в дальней зоне атмосферное окно прозрачности.

Многокомпонентные стекла с высоким содержанием фторида индия, которые получили название фториндатных стекол, привлекли к себе особое внимание. Они обладают повышенной термической устойчивостью, более технологичны (требуются меньшие скорости охлаждения стеклообразующих расплавов) по сравнению с фтороцирконатными стеклами. Из них возможно получение объемных образцов. Практически можно использовать стекло в системе PbF₂–BaF₂–InF₃–YF₃. Для более высокой стабильности и расширения диапазона пропускания в дальнем инфракрасном диапазоне 12...14 мкм (рис. 5), увеличили число компонентов системы. Это стекла составов 1 – 18BaF₂–32InF₃–8GaF₃–20ZnF₂–20SrF₃–2CaF₂ и 2 – 32BaF₂–17YF₃–40InF₃–11PbF₂.

Многокомпонентные материалы, полученные в системах, содержащих фторид свинца, имеют верхнюю границу пропускания в дальней инфра-

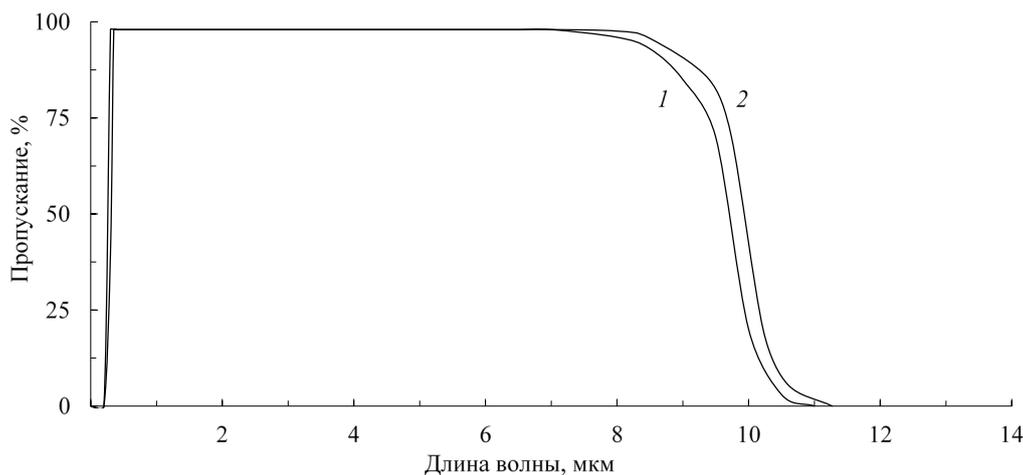


Рис. 4

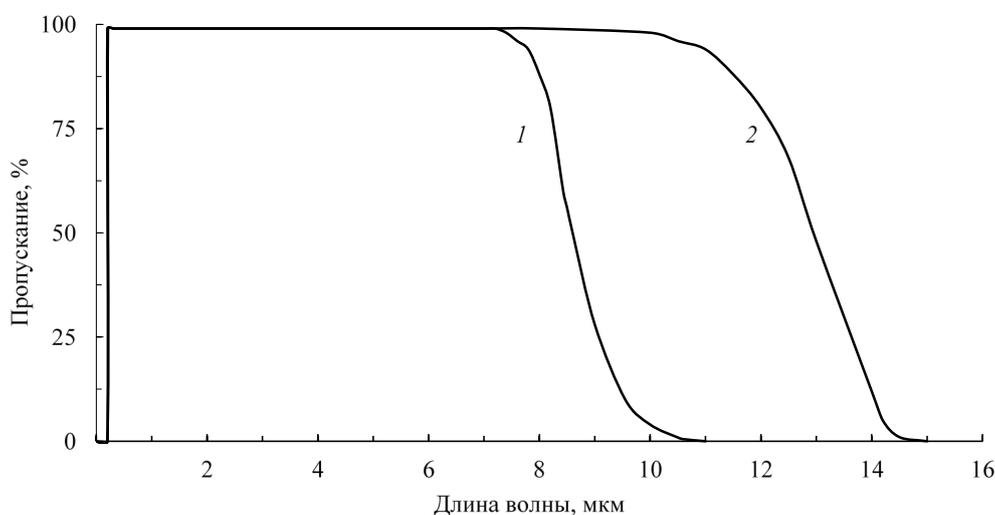


Рис. 5

красной области (12...14 мкм). При создании приборов инфракрасной техники среднего и дальнего диапазонов эти многокомпонентные материалы могут быть полезны.

При проектировании современных воздушных и морских объектов наряду с уменьшением их массогабаритных характеристик активно используются новые технологии, позволяющие снизить физические поля проектируемых объектов, особенно их тепловую заметность. Эти факторы уменьшают вероятность обнаружения и распознавания объектов радиолокационными системами, поэтому все больший интерес представляют пассивные системы наблюдения. Однако оптиче-

ские устройства современных систем воспринимают информацию, как правило, в ближнем и среднем инфракрасных диапазонах, что явно недостаточно для приема электромагнитного излучения в других спектрах. Одним из вариантов решения этой задачи может быть внедрение новых материалов в оптико-электронную систему – такими материалами могут быть многокомпонентные фторидные стекла. Это позволит создавать оптические системы наблюдения и распознавания объектов в различных диапазонах инфракрасного спектра, причем информация об объектах будет восприниматься в реальном масштабе времени, даже с учетом того, что контрастность целей и фона будет близка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптические материалы для инфракрасной техники / Е. М. Воронкова, Б. Н. Гречушников, Г. И. Дистлер, И. П. Петров. М.: Наука, 1965.

2. Михтеев С. Ш., Михтеева Е. Ю. Фторидные стекла – перспективные ИК-материалы для оптико-

электронных приборов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2017. № 4. С.15–19.

3. Оптические свойства фторидных стекол / В. К. Гончарук, С. Ш. Михтеев, Е. Ю. Михтеева, П. В. Гуменюк // Сб. статей. Тр. ДВГТУ. Владивосток: ДВГТУ, 2003. Вып. 135. С. 132–136.

E. Y. Mikhteeva
Russian State Hydrometeorological University

S. Sh. Mikhteev
Saint Petersburg Electrotechnical University

OPTICAL MATERIALS FOR PASSIVE SURVEILLANCE SYSTEMS

As a result of the reduced visibility of modern air and sea objects, interest in passive surveillance and recognition systems, the main element of which is the optoelectronic system, has increased. Quartz glasses are used as materials in the optical system, but they have limitations on the transmission of electromagnetic radiation in the mid-infrared range, which reduces their efficiency. Advanced passive surveillance systems require materials with an extended transmission range of electromagnetic radiation in the infrared, visible, and ultraviolet ranges. One of the solutions to this problem can be the introduction of new materials in the optoelectronic system, such materials can be multicomponent fluoride glasses, taking into account their optical and thermomechanical characteristics, which can simultaneously perceive information about targets in various areas of the infrared range, including in the far infrared region.

Fluoride glasses, infrared materials, optoelectronic systems, optoelectronic module lens, optical and thermomechanical properties of glasses

УДК 621.315.592

С. А. Шевченко, Б. В. Иванов, А. А. Смирнов, В. В. Лучинин,
В. А. Ильин, А. В. Афанасьев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

А. Ф. Кардо-Сысоев
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

О приближенной оценке оптимальных параметров одноконтурных генераторов сверхкоротких импульсов на основе дрейфовых диодов с резким восстановлением

На основании изложенного в [1] метода оценки максимального заряда неосновных носителей, запасаемого в слоях структур карбид-кремниевых дрейфовых диодов с резким восстановлением (ДДРВ) при пропускании через них импульса прямого тока накачки с заданной плотностью, предложен метод приближенной оценки параметров одноконтурных генераторов сверхкоротких импульсов напряжения (СКИ) на основе 4H-SiC ДДРВ. Методика апробирована сравнением с результатами численного моделирования схемы генератора СКИ на основе 4H-SiC ДДРВ в качестве сверхбыстродействующего размыкателя тока в САПР Synopsys. Предложенный способ оценки предназначен для выбора оптимальных режимов работы ДДРВ в составе схем генерации сверхкоротких импульсов напряжения, что позволяет получить максимально возможные для данных схем значения КПД, минимизировав тем самым коммутационные потери заряда при переключении диодов.

Дрейфовый диод с резким восстановлением, ДДРВ, генератор субнаносекундных импульсов, накопление заряда, моделирование в Synopsys Sentaurus TCAD

Мощные генераторы сверхкоротких импульсов напряжения с индуктивным накоплением энергии широко востребованы в радиолокации, преобразовательной технике, во многих областях

экспериментальной физики, а также в промышленных установках – например, в установках очистки воды или ионизации воздуха. Большую перспективу представляют генераторы на основе