

V. P. Afanasjev, A. S. Gudovskikh  
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

## AMORPHOUS/SINGLE-CRYSTALLINE SILICON HETEROSTRUCTURE SOLAR CELLS

*The structural features and physics of heterostructure solar cells based on a heterojunction between amorphous hydrogenated silicon and crystalline silicon (a-Si:H/c-Si) are considered. The key role of the a-Si:H/c-Si interface properties for operation of solar cells is demonstrated. The effect of c-Si surface treatment on the interface properties and the photovoltaic efficiency is shown.*

**Solar cells, amorphous hydrogenated silicon, a-Si: H/c-Si heterostructures, interface properties**

УДК 623.4

Е. Ю. Михтеева  
Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ)

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

## Фторидные стекла – перспективные ИК-материалы для оптико-электронных приборов

*Рассматривается возможность при создании современных и перспективных оптико-электронных модулей систем наблюдения и распознавания различных целей использовать фторидные стекла с учетом их оптических и термомеханических характеристик, способных воспринимать информацию о целях 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 характеристики стекол**

Одним из основных преимуществ фторидных стекол по сравнению с другими классами – оксидными, халькогенидными, германатными и другими является широкая вариабельность составов, что позволяет вводить в их состав ионы редкоземельных элементов (РЗЭ) в широких интервалах молярных долей: 10 и более %. Интенсивные исследования возможности практического применения фторидных стекол проводятся в направлениях, представленных на рис. 1.

С момента получения новых стекол во фторцирконатной системе начался интенсивный поиск новых стеклообразующих составов во фторидных системах, поскольку из теоретических расчетов следовало, что затухание оптического сигнала в них должно быть на два порядка ниже, чем в кварцевых стеклах. Появилась надежда получить

новый материал для дальних волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). И хотя до сих пор не удалось создать ВОЛС на основе фторидных стекол, эти стекла нашли применение в различных оптических приборах, работающих в инфракрасном (ИК) диапазоне [1], [2].

В долгосрочных программах научного и технологического развития передовых стран мира вопросы, связанные с созданием приборов, в которых используются оптические системы распознавания предметов на основе формирования и обработки их изображений, также стоят на одном из первых мест. Неограниченные возможности здесь открывает переход от оптической формы представления изображений к электронной и обратно. Такие переходы осуществляются с помощью оптико-электронных систем (ОЭС) форми-



Рис. 1

рования и обработки изображения. Сочетание ОЭС с радиоэлектронными, химическими, акустическими и другими средствами при наличии новых вычислительных средств с очень большой скоростью обработки многомерной информации, получаемой от этих систем, позволяет в реальном масштабе времени достаточно надежно решать задачи обнаружения, распознавания, классификации и идентификации самых различных объектов.

Оптико-электронные системы применяются для преобразования невидимого глазом человека слабого светового, инфракрасного и ультрафиолетового (УФ) излучения в системах ночного и технического видения, наблюдения в сложных метеоусловиях. Они предназначены для переработки графической информации в системах коммуникации и другой аппаратуре с применением волоконной оптики; установлены на космических аппаратах для осуществления их ориентации и навигации, исследований Земли и Космоса; для зондирования атмосферы и океана с экологическими и метеорологическими целями.

ЭОС (приборы) используются в целях получения данных об объектах в классических системах наземной, воздушной, космической разведки и наблюдения с предварительным накоплением цифровой видеoinформации и последующей передачей ее по радиоканалу.

При разработке перспективных систем освещения воздушной обстановки весьма актуальна задача создания способов и средств обнаружения и пеленгации малоразмерных, высокоскоростных

целей с крайне малой эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР).

В процессе выработки идеологии построения системы и разработки схемы прохождения информации было определено, что оптико-электронные системы должны применяться в приборах, которые служат для обнаружения целей, их пеленгации и сопровождения, в обзорно-прицельных системах и системах наведения, а также для защиты объектов различного назначения. Поэтому комплексы, использующие ОЭС, должны включать в себя системы оперативной разведки целей, точного целеуказания и подготовки эталонной информации.

Целями для современных и перспективных ОЭС наблюдения и распознавания могут быть как пилотируемые, так и беспилотные высокоскоростные, маневренные летательные аппараты, а также морские объекты, созданные с применением технологий «stealth».

В данной ситуации жизненно важно, какими пассивными средствами обнаружения можно выявить указанные цели, сохраняя свою скрытность. Одним из таких средств на практике могут быть оптические системы. Следовательно, для обнаружения целей, соблюдая свою скрытность и расширяя диапазон работы систем наблюдения и распознавания нового поколения, целесообразно иметь в их составе оптико-электронные модули, созданные на основе разработки новых оптических материалов, способные воспринимать информацию в различных областях ИК-диапазона.

Наряду с тенденцией уменьшения габаритных размеров воздушных целей все шире используются покрытия, поглощающие электромагнитное излучение радиодиапазона, что снижает вероятность их обнаружения с помощью традиционных радиолокационных станций. Использование же лишь видимого и ближнего ИК-диапазонов затруднено вследствие высокого уровня естественных помех и применения ложных целей, снижения яркости факела и температуры газов или отключения двигателей летательных аппаратов на завершающей стадии полета. Отсюда возникает задача создания средств обнаружения, работающих одновременно как в традиционных видимом и ближнем ИК-диапазонах, так и в новых областях оптического спектра.

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. 2 представлена структурная схема оптико-электронного модуля на основе материала из 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.

Усовершенствование ОЭС связано с улучшением параметров составляющих их блоков. При-

менение новых оптических материалов, фотоприемных устройств и увеличение мощности и графических возможностей современных компьютеров, открывающих широкие возможности использования цифровых алгоритмов обработки изображений, позволяет увеличить информативность подобных систем.

Наиболее важной оптической характеристикой фторидных стекол, используемых в качестве материалов для ОЭС, является диапазон пропускания излучения. В идеале окно прозрачности этих материалов должно быть шире диапазона пропускания атмосферы. На сегодня существует ограниченное количество таких материалов. Это монокристаллы NaF, NaCl, NaBr, KF, KCl, KBr, KI, CsCl, CsBr, CsI, BaF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub>, CaF<sub>2</sub>, PbF<sub>2</sub> и фторидные стекла. Диапазон пропускания фторцирконатных стекол исследовался авторами настоящей статьи и мн. др. В системах ZrF<sub>4</sub>-SnF<sub>2</sub> и ZrF<sub>4</sub>-BaF<sub>2</sub> он варьировался от 0.15...0.20 до 6...7 мкм в зависимости от состава стекол.

В системе ZrF<sub>4</sub>-PbF<sub>2</sub>-BiF<sub>3</sub> удалось добиться некоторого смещения ИК-края в длинноволновую область спектра. Однако существенного сдвига достичь не удалось, поскольку наличие большого количества тетрафторида циркония препятствует этому. Замена его на трифторид индия привела еще к небольшому смещению полосы пропускания, но все же, как видно из рис. 3, где показано пропускание оптических материалов в различных областях

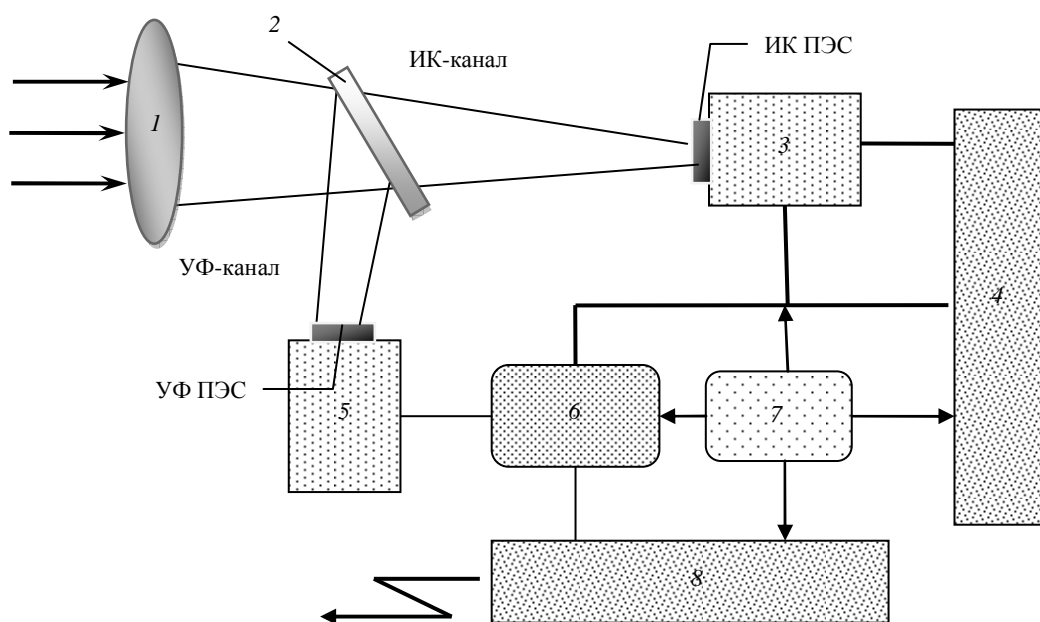


Рис. 2

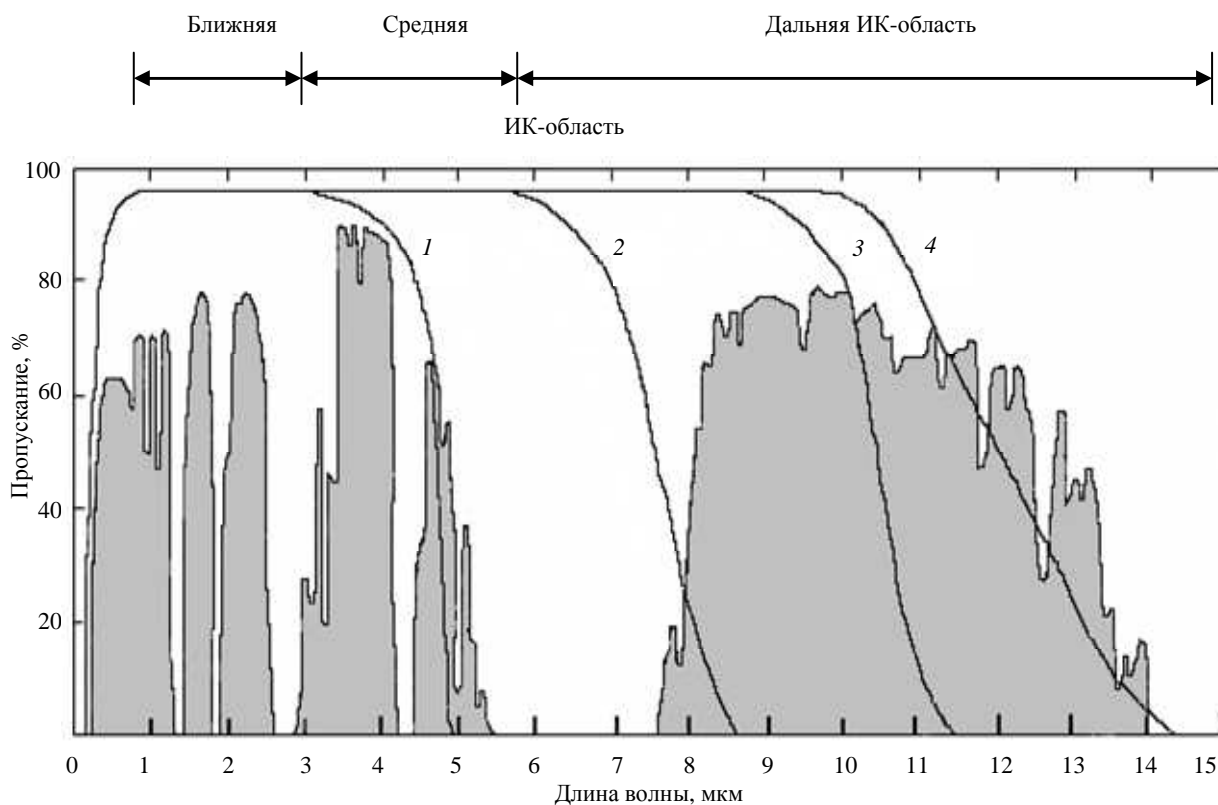


Рис. 3

электромагнитного спектра на фоне атмосферных окон прозрачности: 1 – плавленого кварца; 2 – фторцирконатных стекол; 3 – фториндатных стекол, эти стекла не могут быть применены в четвертом окне прозрачности атмосферы.

Для дальнейшего смещения полосы пропускания были исследованы стекла на основе дифторида свинца. Было проведено исследование влияния введения добавок фторидов элементов первой–четвертой групп Периодической системы на смещение ИК-края матрицы на основе дифторида свинца и построение прогноза наиболее перспективных стеклообразующих систем для изготовления объектива для оптико-электронного модуля (рис. 3, где спектры пропускания 4, 5 – стекла на основе фторида свинца).

В зависимости от рабочего диапазона ОЭС можно применять стекла на основе различных фторидов. В диапазоне длин волн 0.2...6 мкм наиболее подходящими стеклами являются фторцирконатные, а наиболее широкий диапазон пропускания получен авторами статьи на основе  $PbF_2$ -стекол (характеристики фторидных стекол, %;  $t_g$ ,  $t_c$ ,  $t_f$  – температура стеклования, кристаллизации и плавления соответственно;  $n$  – показате-

ль преломления;  $\rho$  – плотность;  $\alpha$  – коэффициент теплового расширения приведены в таблице).

Оптические материалы на основе фторидных стекол с учетом их оптических и термомеханических характеристик могут быть использованы в ОЭС для средней и дальней ИК-областей. Стекла, полученные в системах с использованием фторидов свинца, имеют край пропускания в ИК-области до 12...14 мкм. Пока синтезированы стекла малой толщины и еще требуется разработать технологию и экспериментальное оборудование для получения равномерных по составу и структуре объемных образцов, но перспективность этого класса фторидных стекол очевидна, особенно в части их использования при создании приборов ИК-техники среднего и дальнего диапазонов. Поиск новых стеклообразующих фторидных систем открывает перспективы получения нового высокотехнологичного, дешевого, базового материала для создания объективов и других оптических элементов ИК-техники среднего и дальнего диапазонов.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает перспективность поиска фторидных стекол на базе  $PbF_2$ -матрицы для использования в качестве оптического материала для изготовления объектива оптико-электронного модуля [3].

Составы стекол, %	$t_g, ^\circ\text{C}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_f, ^\circ\text{C}$	$n_D$	$\rho, \text{г/см}^3$	$\alpha \cdot 10^{-6}, \text{К}^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7
50PbF <sub>2</sub> – 25GaF <sub>3</sub> – 25ZnF <sub>2</sub>	222	283	516	1.573	5.6	18
45PbF <sub>2</sub> – 20MnF <sub>2</sub> – 2AlF <sub>3</sub> – 5YF <sub>3</sub> – 30FeF <sub>3</sub>	249	317	524	1.639	5.9	18
36PbF <sub>2</sub> – 24MnF <sub>2</sub> – 34GaF <sub>3</sub> – 4YF <sub>3</sub> – 2ZrF <sub>4</sub>	263	341	515	1.577	5.2	18
34PbF <sub>2</sub> – 22MnF <sub>2</sub> – 35GaF <sub>3</sub> – 5YF <sub>3</sub> – 2CuF <sub>2</sub> – 2SrF <sub>3</sub>	273	336	526	1.576	5.6	18
25PbF <sub>2</sub> – 30NaF – 45GaF <sub>3</sub>	262	312	506	1.546	5.4	17.3
11PbF <sub>2</sub> – 32BaF <sub>2</sub> – 17YF <sub>3</sub> – 40InF <sub>3</sub>	304	372	562	1.549	5.5	17.1

Расширения диапазона оптического пропускания в сторону больших длин волн можно добиться получением составов фторидных стекол,

содержащих фториды первой, второй групп в качестве стеклообразующих систем и фториды иттрия, индия галлия в качестве стабилизаторов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Benhamidèche C., Boutarfaia A., Poulain M. Fluoroaluminate glasses // J. of Alloys and Compounds. 2004. Vol. 366, № 1–2. P. 233–240.
2. New fluoride glasses for laser applications / M. Mortier, P. Goldner, P. Féron, G. M. Stephan, H. Xu, Z. Cai // J. of Non-Cryst. Solids. 2003. Vol. 326–327. P. 505–509.
3. New lead-fluorozirconate glasses containing BIF<sub>3</sub> / E. V. Merkulov, V. K. Goncharuk, N. A. Logoveev, E. A. Tararako, E. Y. Mikhteeva // J. of Non-Cryst. Solids. 2005. Vol. 351, № 46–48. P. 3607–3609.

E. Yu. Mikhteeva

Rossiyskiy Gosudarstvennyy Gidrometeorologicheskiiy University «RGGMU»

S. Sh. Mikhteev

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

### FLUORIDE GLASSES AS A PROMISING IR-MATERIALS FOR OPTOELECTRONIC DEVICES

*Possibility of using fluoride glasses in promising optoelectronic module design is presented. These modules are part of observing and detection systems of different objects. The ability of fluoride glasses to take in the information about the target in different fields of infrared range is described. Optical and thermomechanical features of fluoride glasses are considered.*

**Fluoride glasses, infrared materials, optical-electronic system, the lens of the optoelectronic module, the optical and thermomechanical properties of glasses**