



## СОВРЕМЕННЫЕ ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ ВИДИМОГО, УФ- И БЛИЖНЕГО ИК-ДИАПАЗОНОВ СПЕКТРА ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ "ЦНИИ "ЭЛЕКТРОН"

*О.Алымов, И.Васильев, В.Минкин,  
С.Татаурщииков, к. т. н.; www.electron.spb.ru*

В условиях осознания тех опасностей, которые несет Земле метеороидно-астероидная угроза, а геостационарным спутникам – космический мусор, системы дистанционного зондирования Земли и космического мониторинга привлекают повышенное внимание. Точность обнаружения приближающихся малоразмерных тел на фоне ярко излучающих объектов можно повысить путем использования фотоприемных устройств, работающих в "солнечно-слепом" участке УФ-спектра излучения. Статья знакомит с фотоприемными изделиями, предназначенными для работы многоспектральных оптико-электронных систем в видимом, ультрафиолетовом и ближнем инфракрасном диапазоне длин волн.

Современные фотоприемные устройства (ФПУ), выпускаемые компанией ОАО "ЦНИИ "Электрон", отличаются от производимых ранее моделей более высокими значениями рабочих характеристик – прежде всего это относится к чувствительности, разрешающей способности и уровню шума для спектра, простирающегося от видимого УФ- до ближнего ИК-диапазона. Добиться предельных для современного технологического уровня производства ФПУ значений физических параметров удалось за счет государственной поддержки, осуществляемой в рамках Федеральной целевой программы "Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники". Анализ научных исследований и разработок современной фотоэлектроники показал, что в области конструирования ФПУ наметились два очень

## UNIFIED SERIES OF MODERN PHOTODETECTORS DEVELOPED AND PRODUCED BY OJSC "NRI "ELECTRON" FOR VISIBLE, ULTRAVIOLET AND NEAR-INFRARED SPECTRAL RANGES

*O.Alymov, I.Vasiliev, V.Minkin, S.Tataurschikov,  
Ph.D., OJSC "NRI "Electron",  
www.electron.spb.ru*

Acquisition accuracy of approaching small-sized bodies in the bright lighting objects field can be increased with the help of solar-blind in the UV radiation spectrum photodetectors. The article introduces photodetector device for multiband electrooptical visual, UV and near-infrared radiation spectrums.

Nowadays OJSC National Research Institute "Electron" takes part in Federal Target Program on development of modern photodetectors (PD) differing with utmost physical parameters, first of all such as sensitivity, resolution and low noise level for given spectral ranges. In 2013 OJSC "NRI "Electron" successfully completed two design and development works: "Development of unified series of FPU based on large-format charge-coupled devices (CCD) for visible, ultraviolet and near-infrared wavelength ranges for earth remote sensing systems", "Fotik-3" code, and "Development of unified series of promising channels modules of ultraviolet spectral range for optoelectronic systems", "Fotik-4" code. These works cover two most promising directions of modern photonics development:

- FPU based on large-format thinned CCD with backside illumination with quantum efficiency in spectral range maximum more than 80%;
- FPU based on coupled image intensifier and CCD with opportunity to read out



перспективных, с практической точки зрения, направления. Первое направление – это создание ФПУ, конструкция которых базируется на основе крупноформатных утоненных фоточувствительных приборов с переносом заряда (ФППЗ), освещаемых со стороны подложки. Их квантовая эффективность в максимуме спектрального диапазона превышает 80%. Второе – ФПУ на базе сочлененных устройств ЭОП плюс ФППЗ с возможностью считывания однофотонных сигналов в диапазоне спектральной чувствительности, определяемом материалом фотокатода электронно-оптического преобразователя (ЭОПа).

В 2013 году ОАО "ЦНИИ "Электрон" успешно завершил две опытно-конструкторские работы: "Разработка унифицированного ряда ФПУ на

of single photon signals in spectral sensitivity range defined by the image intensifier photocathode material.

### FPU "FOTIK-3" BASED ON A LARGE-FORMAT CCD

Currently photodetectors (PD) based on large-format thinned CCD are the most difficult of all modern solid state photosensitive devices. Their application extends to areas where it is necessary to provide the maximum physical parameters, especially sensitivity and resolution, and hence the range and accuracy of object detection and definition of its parameters.

Development of unified series of PD (FPU-1M with 1536×1536 CCD pixels and

**Таблица 1.** Нормы электрических и фотоэлектрических параметров ФПУ-1М и ФПУ-2М при приемке и поставке в нормальных климатических условиях

**Table 1.** Electrical and photoelectrical parameters of FPU-1M and FPU-2M at under normal climatic conditions

Параметры Parameter	Обозначение Symbol	Норма / Value	
		≥	≤
Напряжение насыщения, мВ Saturation voltage, mV	$U_s$	600	Не определено
Заряд насыщения, тыс. электрон Saturation charge, thousand of electrons	$Q_s$	120	Не определен
Динамический диапазон, крат Dynamic range	D	2400	Не определен
Квантовая эффективность в максимуме спектрального диапазона, % Quantum efficiency in spectral range maximum, %	QE	80	Не определена
Относительная неравномерность выходного сигнала, % Relative output signal nonuniformity, %	$\delta U$	Не определена	10
Относительная неравномерность темнового сигнала, % Relative dark signal nonuniformity, %	$\delta U_d$	Не определена	2
Темновой сигнал, мВ/с Dark signal, mV/s	$U_d$	Не определен	400
Эффективность переноса по горизонтали, отн. ед. Transfer efficiency along the horizontal, per unit	TE <sub>h</sub>	0,99995	Не определена
Эффективность переноса по вертикали, отн. ед. Transfer efficiency along the vertical, per unit	TE <sub>v</sub>	0,99995	Не определена
Число дефектных элементов, шт. Number of defect pixels, pcs	N	Не определено	2000

базе крупноформатных ФППЗ для видимого, ультрафиолетового и ближнего инфракрасного диапазонов длин волн для систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)" (рабочее название "Фотик-3") и "Разработка унифицированного ряда модулей перспективных каналов ультрафиолетового диапазона спектра для оптико-электронных систем" (рабочее название "Фотик-4").

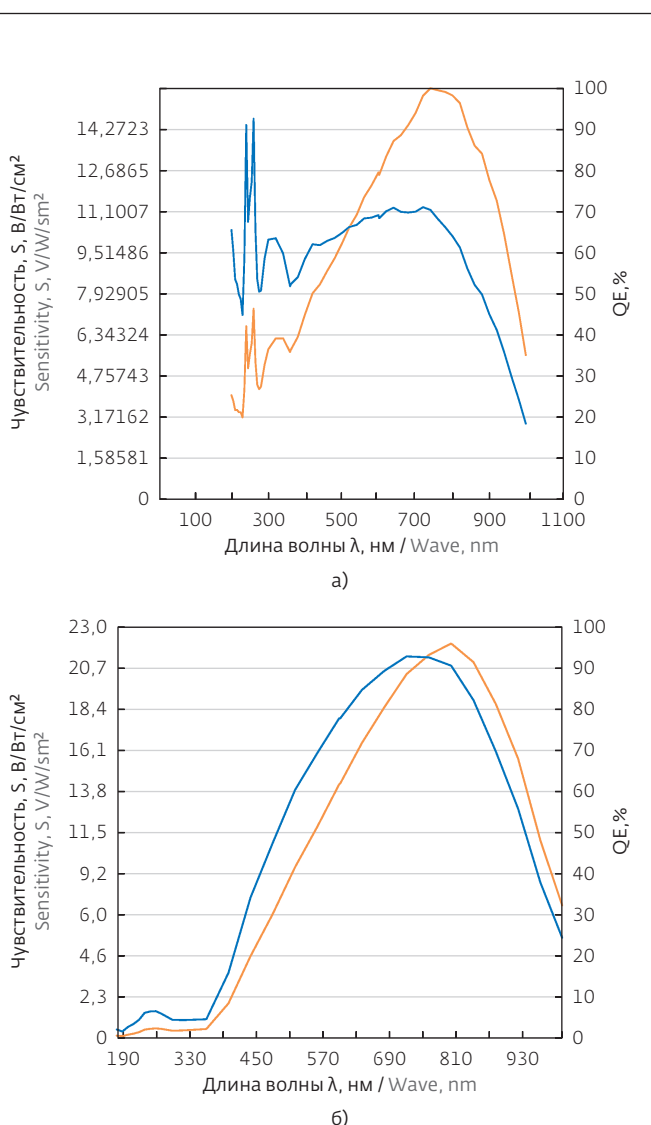
### ФПУ "ФОТИК-3" НА БАЗЕ КРУПНОФОРМАТНЫХ ФППЗ

Приходится отметить, что из всех современных твердотельных ФПУ фотоприемные устройства на основе крупноформатных утоненных ФППЗ пока являются самыми сложными в изготовлении приборами. Такие ФПУ используются в тех областях науки и техники, где от них требуется высокая точность обнаружения объекта при значительной дальности, при этом в задачу диагностики входит определение параметров объекта. Поэтому в производстве подобных ФПУ необходимо добиться для создаваемых изделий получения предельно исполняемых значений физических параметров, прежде всего чувствительности и разрешающей способности.

В компании была разработана линейка изделий на базе высокочувствительных утоненных ФППЗ, освещаемых с обратной стороны. Мы представляем унифицированный ряд ФПУ (ФПУ-1М с числом элементов ФППЗ 1536×1536 и ФПУ-2М с числом элементов ФППЗ 4096×4096). Работа была проведена в рамках государственного контракта №11411.1000400.11.146 от 02.12. 2011 года.

На этапе постановки задачи рассматривались те области, в которых в будущем изделия должны найти себе применение. Это системы повышенной точности обнаружения малоразмерных объектов, а также системы дистанционного зондирования Земли из космоса. Поэтому спектральный диапазон работы изделий унифицированного ряда ФПУ на базе крупноформатных ФППЗ охватывает оптический спектр от УФ- до ближней ИК-области.

Использование разработанных ФПУ позволяет повысить дальность обнаружения и вероятность распознавания малоразмерных объектов, а также улучшить точность определения их координат. Бесспорно, эти приборы обеспечат создаваемым космическим



**Рис.1.** Спектральные характеристики ФПУ-1М с различной чувствительностью: а) максимум чувствительности в УФ-области спектра; б) максимум чувствительности в ИК-области спектра  
**Fig. 1.** Spectral sensitivity of FPU-1M: а) with increased sensitivity in UV spectral range; б) with increased sensitivity in red spectral range

FPU-2M with 4096×4096 CCD pixels) based on low light level thinned CCD with back-side illumination was carried out under the state contract of 02.12.2011.

Purpose of the work was the development of unified series of PD based on large-format CCD for visible, ultraviolet and near-infrared spectral ranges based on high-tech photosensitive charge-coupled devices.



системам ДЗЗ расширение их функциональных возможностей.

Разработанный унифицированный ряд ФПУ на базе высокочувствительных утоньшенных ФППЗ, освещаемых с обратной стороны, ориентирован на серийное изготовление в ОАО "ЦНИИ "Электрон". Электрические и фотоэлектрические параметры ФПУ-1М и ФПУ-2М при приемке и поставке в нормальных климатических условиях соответствуют нормам, приведенным в табл.1.

ФПУ разработаны в соответствии с РАГС.463260.001(002) ТУ, предназначены для работы в температурном диапазоне от  $-60$  до  $60^{\circ}\text{C}$ , имеют наработку на отказ не менее 50 000 часов, ускоренные испытания показали, что их срок сохраняемости составляет не менее 20 лет. Во время отработки технологического процесса были получены и исследованы опытные образцы ФППЗ, максимум спектральной чувствительности которых приходился на разные области спектра. Местоположение локализации экстремумов чувствительности зависело от технологии просветления и очувствления кремния (рис.1).

PD is intended for use in systems of high accuracy detection of low-sized objects, as well as to solve problems of earth remote sensing from space.

Application of PD will increase the range of detection and recognition of low-sized objects and improve the accuracy of their location, as well as to provide the creation of earth remote sensing space systems with advanced performance.

The developed unified series of PD based on low light level thinned CCD with back-side illumination are intended for serial production in OJSC "NRI "Electron".

Electric and photoelectric parameters of FPU-1M and FPU-2M under normal climatic conditions are in accordance with standards presented in Table 1.

FPU developed in accordance with Specifications (RAGS.463260.001(002) TU) is intended for use in temperature range from  $-60$  to  $+60^{\circ}\text{C}$ . Its mean time between failures (MTBF) is not less than 50 000 hours. Storage ability time is not less than 20 years.



Таблица 2. Нормы основных параметров ФПУ-4П

Table 2. Basic parameters of FPU-4P module

Параметры Parameter	Норма / Value	
	$\geq$	$\leq$
Пороговая облученность на длине волны 280 нм, Вт/см <sup>2</sup> Threshold irradiation at $\lambda=280$ nm, W/cm <sup>2</sup>	Не определена	$5 \times 10^{-10}$
Квантовая эффективность фотокатода приемника на длине волны 255 нм, % Receiver photocathode quantum efficiency at $\lambda=255$ nm, %	20	Не определена
Рабочий диаметр фотокатода приемника, мм Receiver photocathode active area, mm	18	
Темновой ток фотокатода при температуре 25±5°С, эл/с Photocathode dark current at temperature 25±5°C, el/s	Не определен	50
Разрядность цифрового видеосигнала, бит Video signal bit capacity, bit	14	
Формат выходного изображения, пиксел Output image format, pixels	768×580	
Диапазон спектральной чувствительности, нм Spectral sensitivity range, nm	от 200 до 350	

Таблица 3. Нормы основных параметров модуля ФПУ-4А

Table 3. Basic parameters of FPU-4A module

Параметр Parameter	Норма Value	
	$\geq$	$\leq$
Пороговая облученность на длине волны 280 нм, Вт/см <sup>2</sup> Threshold irradiation at $\lambda=280$ nm, W/cm <sup>2</sup>	Не определена	$5 \times 10^{-10}$
Квантовая эффективность фотокатода приемника на длине волны 255 нм, % Receiver photocathode quantum efficiency at $\lambda=255$ nm, %	10	Не определена
Рабочий диаметр фотокатода приемника, мм Receiver photocathode active area, mm	18	
Темновой ток фотокатода при температуре 25±5°С, эл/с Photocathode dark current at temperature 25±5°C, el/s	Не определен	50
Разрядность цифрового видеосигнала, бит Video signal bit capacity, bit	14	
Формат выходного изображения, пиксел Output image format, pixels	1024×1024	
Среднеквадратичная полуширина (полная ширина на половине высоты) "однофотонной" сцинтилляции на экране ЭОП, мкм Single photon scintillation FWHM (full width at half maximum) on image intensifier screen, $\mu$ m	Не определена	100
Длительность импульса электронного затвора, нс Electronic shutter pulse duration, ns	Не определена	10
Частота следования "отпирающих" импульсов, с <sup>-1</sup> "Enabling" pulses repetition frequency, s <sup>-1</sup>	Не определена	500
Диапазон спектральной чувствительности, нм Spectral sensitivity range, nm	от 200 до 350	



#### ФПУ "ФОТИК-4" НА БАЗЕ СОЧЛЕНЕННЫХ ЭОП И ФПЗ

Задача этой разработки касалась изготовления двух унифицированных гибридных солнечно-слепых фотоприемных модулей. Они предназначались для оптико-электронных

Various prototypes of CCD with maximum spectral sensitivity in different spectral ranges depending on silicon processing and sensitization technology were obtained and investigated during the work. CCD spectral characteristics



многоспектральных и автономных систем, работающих в "солнечно-слепом" участке УФ-спектра излучения. Дело в том, что поскольку фоновое излучение в этой спектральной области практически полностью отсутствует из-за его поглощения озоновым слоем Земли, данный участок спектра представляет большой интерес для создателей оптико-электронных систем. Таким образом, использование ФПУ, работающих в "солнечно-слепом" ультрафиолетовом диапазоне, в составе подобных систем особенно эффективно. С другой стороны, если учитывать назначение прибора - обнаружение малых объектов на больших расстояниях, - такой ФПУ должен быть практически нечувствительным к видимому и ИК-излучению. Но в то же время ФПУ должен обладать способностью регистрации одиночных фотонов.

Эту разработку унифицированного ряда модулей ФПУ на базе фоточувствительного прибора с переносом заряда (ФППЗ) 768×580 (ФПУ-4П) и на базе фоточувствительного прибора с переносом заряда (ФППЗ) 1024×1024 (ФПУ-4А) проводили в рамках государственного контракта №11411.1000400.11.094 от 29.11.2011 года. Разработанные модули предназначены для использования в пассивных (модуль ФПУ-4П) и активно-импульсных (модуль ФПУ-4А) солнечно-слепых каналах перспективных оптико-электронных комплексов, а также в рамках проекта ЕКС. Применение разработанных модулей увеличит также антитеррористическую безопасность полетов самолетов и вертолетов в современных условиях. Основные параметры ФПУ-4П приведены в табл.2, а модуля ФПУ-4А - в табл.3.

ФПУ, разработанные в соответствии с РАГС.463340.001(002) ТУ, предназначены для использования в температурном диапазоне от -40 до 50°C, имеют наработку на отказ не менее 10 000 часов и срок сохраняемости не менее 10 лет. Внешний вид ФПУ-1М, ФПУ-2М и ФПУ-4П представлен на рис.2.

\* \* \*

Таким образом, разработанные и освоенные в производстве ОАО "ЦНИИ "Электрон" фотоприемные устройства находятся на современном техническом уровне и позволяют потребителям данных изделий расширить функциональные возможности своих систем и повысить их точность. ■

of different sensitivities are shown in Figs. 1a and 1b.

### FPU "FOTIK-4" BASED ON COUPLED IMAGE INTENSIFIER AND CCD

Purpose of the work was the development of two unified hybrid solar-blind photodetector modules for optoelectronic multispectral and autonomous systems operating in the "solar-blind" range of UV radiation spectrum.

The use of solar-blind UV range in optoelectronic systems is particularly effective because the background radiation in this spectral region is practically absolutely absent due to its absorption by the ozone layer of the Earth. To solve problems of detection the solar-blind photodetector must be able to detect single photons in solar-blind part of UV-spectral range and be practically insensitive to visible and infrared radiation.

Development of unified series of modules of PD based on CCD, 768×580 pixels (FPU-4P) and based on CCD, 1024×1024 pixels (FPU-4A) was carried out under the state contract of 29.11.2011.

Developed modules are intended for use in passive (FPU-4P) and active-pulse (FPU-4A) solar-blind channels of promising optoelectronic systems. The usage of developed modules will also increase anti-terrorist safety of airplanes and helicopters in modern conditions. Main parameters of FPU-4P module meet the standards listed in Table 2. Main parameters of FPU-4A module are presented in Table 3.

PD developed in accordance with Specifications (RAGS.463340.001 (002) T) are intended for use in temperature range from -40 to +50°C. MTBF is not less than 10 000 hours. Storage ability time is not less than 10 years.

Appearance of FPU-1M, FPU-2M and FPU-4P is shown in figs. 2a-2c.

\* \* \*

Developed unified high sensitive photodetectors which are on the modern technical level enable customers to improve the accuracy of their systems. ■

