

ФОТОПРИЕМНЫЕ ДАТЧИКИ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ВИДЕОИНФОРМАТИКИ

© 2012 г. О. В. Алымов; Г. В. Левко, канд. техн. наук

Центральный научно-исследовательский институт “Электрон”, Санкт-Петербург

E-mail: info@electron.spb.ru

Рассмотрены фотоприемные датчики и устройства ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов спектра, выпускаемые научно-исследовательским институтом “Электрон” для создания телевизионной и оптико-электронной аппаратуры видеоинформатики. Описаны основные параметры и особенности применения выпускаемых приборов.

Ключевые слова: видеоинформатика, электронно-оптический преобразователь, телевизионная система, электронно-оптическая система.

Коды OCIS: 040.0040, 040.1520, 040.5250

Поступила в редакцию 29.05.2012

Введение

Прикладные телевизионные и оптико-электронные системы активного и пассивного типа являются важной составной частью видеоинформатики [1]. Для корректного применения теории информации должны обязательно учитываться способы формирования

видеоинформации и основные характеристики датчиков и фотоприемных устройств [2]. Технические параметры телевизионных систем во многом определяются применяемыми преобразователями свет-сигнал [3, 4]. Основные направления работ ОАО ЦНИИ “Электрон” по созданию этих устройств иллюстрирует рис. 1.

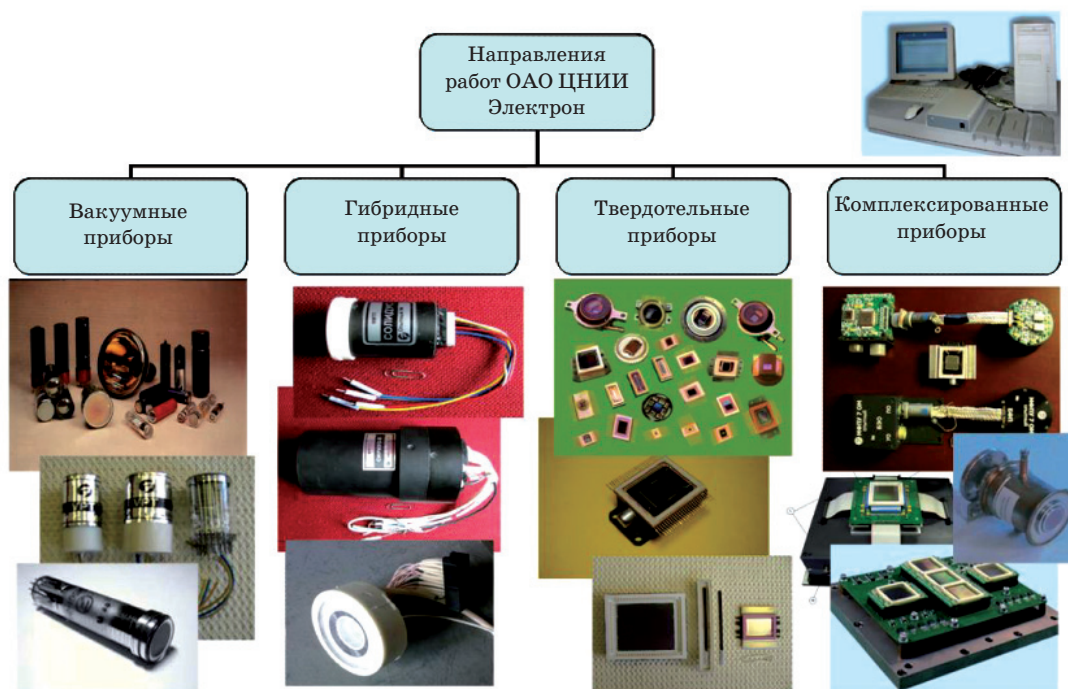


Рис. 1. Оптоэлектронные преобразователи и фотоприемные устройства, выпускаемые ОАО ЦНИИ “Электрон”.

Твердотельные фотоприемные устройства

Линейные и матричные твердотельные преобразователи широко применяются при создании прикладных телевизионных систем различного назначения. ОАО ЦНИИ “Электрон” выпускает их для диапазонов длин волн от 0,2 до 1,1 мкм, а также для диапазона 3–5 мкм. Особенно интересны новейшие, уникальные разработки института – линейный ФППЗ с числом элементов 12 000 и разработанный совместно с дочерней компанией ОАО НПП “Элар” матричный ФППЗ “Квадро” с числом элементов 4096×4096.

Линейный фоточувствительный прибор с переносом заряда ЛФППЗ-12000 имеет 12000 фоточувствительных элементов размером 6,5×6,5 мкм (рис. 2). Прибор имеет 4 выходных узла, содержит индивидуальные секции для детектирования и накопления зарядовых пакетов. Имеется встроенный антиблуминг с кратностью пересветки не менее 100 раз. Предусмотрен режим электронного экспонирования (табл. 1). Разработанная архитектура и конструкция прибора позволили создать функциональный ряд ЛФППЗ с числом элементов 2×2600, 4700, 8000 и 12 000. Такое решение в четыре раза понизило тактовую частоту вывода информации, уменьшило тепловыделение и улучшило параметры переноса зарядов. Типовая характеристика относительной спектральной чувствительности ЛФППЗ приведена

Таблица 1. Основные параметры прибора ЛФППЗ-12000

Количество фоточувствительных элементов	12 000
Размер фоточувствительного элемента, мкм	6,5×6,5
Диапазон спектральной чувствительности, нм	200–1100
Число выходных узлов	4
Динамический диапазон	5000
Чувствительность, В/Лк с	2,5
Относительная световая неравномерность, %	±10
Относительная темновая неравномерность, %	±1,0
Максимальная частота, МГц	5

на рис. 3. Приборы ориентированы на применение в спектроскопии, координатно-измерительных телевизионных системах, системах пространственной ориентации и космическом приборостроении. Учитывая большой линейный размер фоточувствительной области, большое количество элементов, широкий динамический диапазон и низкие шумы на их основе могут быть созданы телевизионные системы, имеющие сверхвысокое пространственное разрешение и чувствительность. Скорость цифрового видеопотока в таких системах может достигать 280–320 Мбит/с.

ФППЗ “Квадро” (рис. 4) имеет четыре независимых секции накопления. Матрица имеет центральную симметрию, два выходных регистра и четыре выходных узла. Архитектура прибора позволяет считывать сигнал через 1, 2 и 4 выходных узла. ФППЗ “Квадро” имеет 16 вариантов считывания видеоинформации и может работать в прикладных телевизионных системах, в системах преобразования и обработки изображения, а также в измерительных телевизионных системах. Основные параметры прибора приведены в табл. 2. Частота регистра до 40 МГц. Скорость цифрового видеопотока

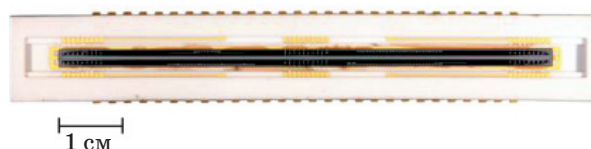


Рис. 2. Линейный фоточувствительный прибор с переносом заряда ЛФППЗ-12000.

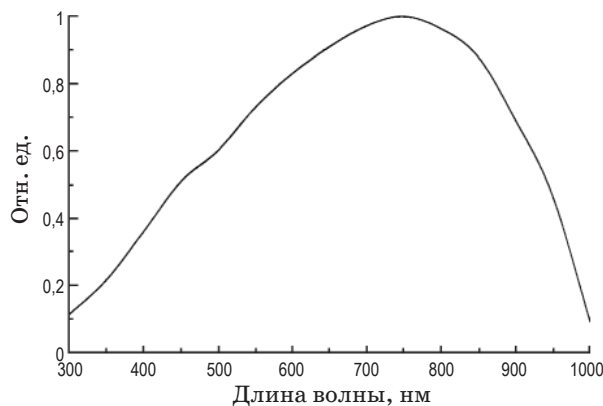


Рис. 3. Типовая спектральная чувствительность приборов ЛФППЗ.

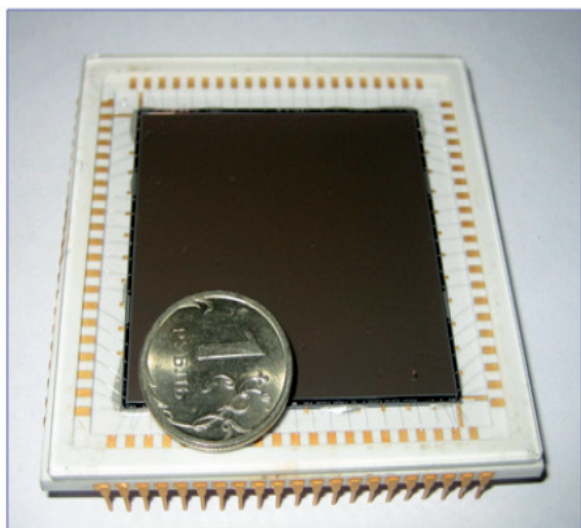


Рис. 4. Фоточувствительный прибор с переносом заряда типа “Квадро”.

Таблица 2. Параметры ФППЗ “Квадро”

Число фоточувствительных элементов	4096×4096
Размер фоточувствительной области, мм	45,056×45,056
Диапазон спектральной чувствительности, нм	350–1000
Размер фоточувствительного элемента, мкм	11×11
Напряжение насыщения, В	1,1
Монохроматическая чувствительность на $\lambda = 670$ нм, В/мк Дж/см ²	5
Среднее значение темнового сигнала, мВ/с	30
Среднеквадратичная неравномерность выходного сигнала, %	2
Шум на уровне 2,73, не более	20
Динамический диапазон	8000

в камерах на этом приборе может достигать 2,24 Гбит/с.

Развивая работы по ФППЗ “Квадро” ОАО ЦНИИ “Электрон” и ОАО НПП “Элар” проводят исследования по созданию тонкой матрицы, освещаемой с обратной стороны подложки (back illuminated, CCD). Основная цель этой работы – расширение спектраль-

ного диапазона до 200–1100 нм и получение квантовой эффективности в максимуме не менее 90%. Для максимальной реализации преимуществ, заложенных в технологии ФППЗ с обратной засветкой, разрабатывается вариант прибора в вакуум-плотном газонаполненном корпусе с охлаждением кристалла с помощью термоэлектрической батареи. Такое решение позволит существенно снизить собственные шумы прибора.

Для задач дистанционного зондирования Земли бывает недостаточен даже такой сверхкрупный формат прибора, как 4К×4К. С этой целью разрабатывается вариант кристалла, предназначенный для сборки в фотоприемные массивы (“мозаики”) в фокальной плоскости. Конструкция кристаллов обеспечивает их сборку в фоточувствительный массив с минимальными зазорами между отдельными матрицами. Стыковка матриц будет возможна с четырех сторон. Зазор между ними может составить примерно 300 мкм.

В настоящее время институт ведет разработку крупноформатного ФППЗ с межстрочным переносом. Число элементов 1024×1024, размер элемента 15,8×15,8 мкм. Прибор должен обеспечивать межстрочный перенос и бинирование фоточувствительных ячеек (1×2 или 2×2), содержать два выходных узла и расщепленный горизонтальный регистр. Конструкция фоточувствительной ячейки должна предусматривать наличие электронного затвора для регулировки времени накопления.

Сочлененные и гибридные фотоприемные устройства

Важнейшим параметром прикладных телевизионных систем является их чувствительность. Она практически полностью определяется применяемым оптико-электронным преобразователем (датчиком). Для повышения чувствительности часто используют фоточувствительные модули на основе усилителя яркости и ФППЗ матрицы (рис. 5). Применяя ЭОП, можно легко изменять его чувствительность для адаптации к освещенности сцены, меняя коэффициент усиления микроканальной пластины (МКП), а также использовать его в режиме электронного затвора. В табл. 3 приведены основные характеристики выпускаемых институтом высокочувствительных широкоформатных сочлененных фотоприемных устройств. В УФ области спектра для статиче-

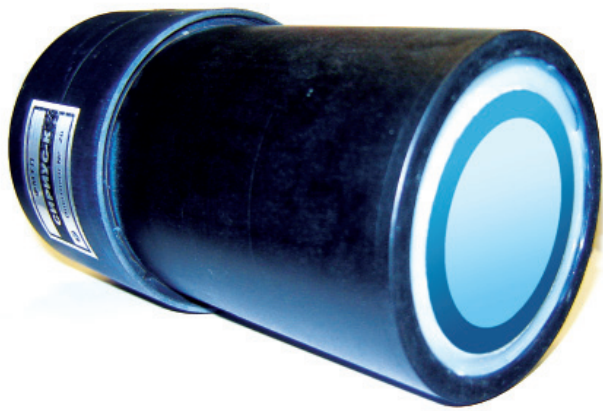


Рис. 5. Широкоформатное сочлененное фото-приемное устройство.

ского режима работы без стробирования была достигнута чувствительность фотоприемника 10^{-8} – 10^{-9} Вт/см².

Перспективным для телевизионных систем является применение электронно-оптического преобразователя 5-го поколения. Прибор представляет собой ЭОП с фотокатодом (например, типа S20) и анодом в виде электронно-чувствительной ФППЗ матрицы с числом элементов

768×580 (табл. 4а, б). Скорость цифрового видеопотока у этого прибора может превышать 200 Мбит/с. Установка утоньшенной электронно-чувствительной матрицы внутрь вакуумного объема ЭОПа резко улучшает отношение сигнал-шум всего фотоэлектронного прибора. Фотокатод и электронно-чувствительная матрица находятся на сверхмалом расстоянии друг от друга (проксимити структура). В настоящий момент получено усиление до 800 раз при ускоряющем напряжении 6 кВ. Ожидаемая пороговая освещенность менее 5×10^{-5} лк, рабочая освещенность на фотокатоду $\leq 5 \times 10^{-4}$ лк при отношении сигнал/шум не менее 30. Для увеличения чувствительности в состав ЭОПа могут быть интегрированы одна или две микроканальных пластины. Смена материала фотокатода позволяет создавать неохлаждаемые телевизионные системы для различных диапазонов спектра от “солнечно-слепого” УФ до ближнего ИК.

Основные направления проводимых нами исследований по созданию сочлененных и гибридных приборов:

- исследование новых материалов для фотокатодов,
- повышение быстродействия,

Таблица 3. Параметры сочлененных фотоприемных устройств

Наименование параметра	Фотоприемное устройство		
	“ФМТП-1”	“ФМТП-3”	“Сириус-Ф”
Усилитель яркости, поколение	2 ⁺ /3	1 + 2 ⁺	2 ⁺
Рабочее поле изображения, мм	9,8×13,1	24×32	24×32
Тип фотокатода	Мультищелочной	Мультищелочной	Мультищелочной
Диапазон спектральной чувствительности, мкм	0,38–0,85/0,5–0,9	0,40–0,85	0,40–0,85
Интегральная чувствительность фотокатода, мкА/лм	500–600/1500	180–300	400–500
Максимум спектральной чувствительности, нм	600/800	500	600
ФППЗ матрица с кадровым переносом:			
– число элементов	760×580	760×580	760×580
– размер элемента, мкм	17×34	17×34	17×34
Габаритные размеры, мм	∅50×65	∅89×173	∅63×86
Рабочая освещенность, лк	2×10^{-4} / 1×10^{-4}	5×10^{-5}	2×10^{-4}
Разрешающая способность при РО, твл	500	450–500	500
Пороговая чувствительность, лк	2×10^{-6} (200 твл)	5×10^{-7} (200 твл)	5×10^{-7} (150 твл)
Стробирование, нс	≥10	≥10	≥10

Таблица 4а. Основные параметры гибридного прибора

Фокусировка	Проксимити
Наличие МКП	нет
Чувствительность, В/лк	300–400
Сигнал/шум при рабочей освещенности	30
Рабочая освещенность, лк	5×10^{-4}
Пороговая освещенность, лк	5×10^{-5}
Размер чувствительной области, мм	13,1×9,8
Разрешающая способность при РО, твл	400–450
Диапазон спектральной чувствительности, мкм	0,4–0,8
Размер элемента ФППЗ, мкм	17×34
Число элементов	768×580

- повышение чувствительности (вплоть до однофотонного режима),
- увеличение числа элементов ФППЗ до 1024×1024 и более,
 - увеличение динамического диапазона,
 - увеличение входного фоточувствительного поля до 36×48 мм,
 - устранение сцинтилляционных явлений в ЭОПе в процессе эксплуатации,
 - минимизация массогабаритных параметров,
 - минимизация энергопотребления.

Заключение

ОАО ЦНИИ “Электрон” выпускает широкую гамму одиночных, линейных и матричных

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Грязин Г.Н. Телевидение как раздел видеоинформатики // Газета ИТМО. 2006. № 80.
2. Хромов Л.И., Цыцулин А.К. Основы космической видеоинформатики // Вопросы радиоэлектроники, серия “Техника телевидения”. 2011. В. 1. С. 7–31.
3. Минкин В.А., Левко Г.В., Стерлядкин О.К. Телевизионная система на сверхкрупноформатном ФППЗ 4К×4К и рабочим полем 50×50 мм // Техника средств связи, сер. “Техника телевидения”. 2011. С. 78–82.
4. Арутюнов В.А., Алымов О.В., Левко Г.В., Богатыренко Н.Г., Прокофьев А.Е. Линейные ФППЗ для специализированных телевизионных систем // Тезисы докладов 8-й международной конференции “Телевидение: Передача и обработка изображений”. СПб., 2011. С. 36–40.

Таблица 4б. Спектральные характеристики гибридного прибора

Диапазон спектра	УФ	Видимый	ИК
Область спектральной чувствительности, мкм	0,2–0,32	0,4–0,8	1,0–1,7
Квантовый выход фотокатода, %	8–10	10–20*	5–10
Спектральная чувствительность фотокатода, мА/Вт	15–20	40–80*	40–100
Усиление ЭЧ-ПЗС	400	400	400
Чувствительность прибора, А/Вт	5–10	15–30	15–40

* В максимуме чувствительности фотокатода.

оптико-электронных преобразователей для широкого класса прикладных телевизионных систем, работающих в диапазоне от “солнечно-слепого” УФ до среднего ИК диапазона. Как правило, все они имеют несколько вариантов, отличающихся конструкцией входного окна, наличием или отсутствием термоэлектрического холодильника и т. д. В качестве материала для входного окна может использоваться кварц, MgF₂, а также оптоволоконная планшайба.

Размер элемента линейных датчиков варьируется от 6,5×6,5 до 13×2500 мкм, матричных от 11×11 до 24×32 мкм. Диапазон изменения числа элементов от 264 до 12 000 для линейек и от 265×288 до 4096×4096 для матриц. Часть линейных ФППЗ имеет по две фоточувствительных области, расположенных на кристалле с высокой точностью, что позволяет использовать их в прикладных телевизионных измерительных системах.