

Разработка и результаты исследования матричного КМОП-фотоприемника

К. С. Баталов¹, Е. Д. Холопова², К. К. Гук³

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

¹batalov.konstantin@mail.ru, ²wkholopova@gmail.com, ³kzhamova@gmail.com

Аннотация. В статье представлены предварительные результаты разработки и исследования матричного КМОП-фотоприемника. Приведены основные параметры и режимы работы прибора.

Ключевые слова: КМОП, фотоприемник, матричный, видимый диапазон

I. ВВЕДЕНИЕ

За последние 20 лет твердотельные фотоприемники значительно эволюционировали: от ПЗС-схем с уникальной, но ограниченной технологией к КМОП-фотоприемникам, которые производятся по технологиям, близким к стандартным, на множестве кремниевых фабрик.

В ПЗС-схемах пакеты зарядов коммутируются в теле кристалла и преобразуются в напряжение только на выходном устройстве [1–3]. В КМОП-схемах с активной ячейкой преобразование заряда в напряжение происходит в каждой ячейке фотоматрицы, и на выход коммутируются уже напряжения по металлизированным шинам, без переноса заряда [4–5].

Управление опросом массива ячеек от встроенного цифрового блока обеспечивает гибкость и многофункциональность процесса вывода информации, позволяя адаптировать его под конкретную задачу.

Если в схему встроен аналогово-цифровой преобразователь (обычно столбцовый), то становится возможной цифровая обработка изображения. Однако для таких приборов необходимы корпуса с большим количеством выводов (100 и более), а для размещения АЦП в столбцах требуется технология с нормами проектирования не менее 180 нм и 6 слоями металлизации.

Фотоячейки размером более 9–10 мкм можно создать с использованием КМОП-технологий уровня 0,35–0,6 мкм и 3–4 слоями металлизации, что позволяет использовать внутренние мощности производства страны.

Кроме того, разрядность внешнего аналого-цифрового преобразователя (АЦП) не ограничивается 10–12 битами, как в случае со столбцовыми АЦП.

Снижение мощности, рассеиваемой в кристалле, также положительно влияет на фотоэлектрические характеристики устройства.

Основываясь на вышеуказанном, ранее была разработана КМОП-матрица формата 1280×1024. Результаты исследований и испытаний данной матрицы легли в основу разработки крупноформатной КМОП-матрицы формата 2048×2048, которая является одной из двух главных составляющих конечного изделия [6].

Ввиду того, что разработанные микросхемы могут быть не очень удобны для массового применения, дополнительно в конечное изделие включен кристалл АЦП, что позволяет выполнить задачу получения цифрового сигнала фотоприемника для его последующей обработки. При этом возможность использования выходов матрицы напрямую также остается, что позволяет расширить возможности прибора, которые могут быть ограничены параметрами кристалла АЦП.

II. КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА

Прибор включает в себя:

- кристалл с матрицей фоточувствительных элементов формата 2048×2048;
- кристалл АЦП;
- металлокерамическое основание;
- входное окно.

Конструкция корпуса вакуумплотная, а также обеспечивает повышенные климатические и механические показатели, что расширяет возможные области применения прибора.

Корпус имеет 84 вывода, на которые выходят все контакты с кристаллов КМОП-матрицы и АЦП, что позволяет использовать их независимо друг от друга. Размер фоточувствительной области 10,85×10,85 мм. Габаритные размеры изделия 33×33×14,5 мм.

Новый фотоприемник разработан по технологии с техпроцессом 180 нм, что позволяет сосредоточить производство внутри страны, используя технологические мощности АО «Микрон». Это одно из главных преимуществ данного прибора.

Устройство работает в спектральном диапазоне 400–900 нм, разрешением 2048×2048. Размер одного пикселя 5,3×5,3 мкм, что сопоставимо с ведущими зарубежными образцами.

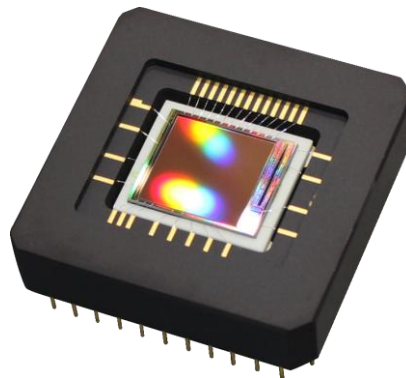


Рис. 1. Внешний вид фотоприемника

На рис. 2 представлена блок-схема мультиплексора. Управление мультиплексором происходит через SPI интерфейс. Микросхема состоит из: массива ячеек; блока столбчатой обработки; коммутатора; выходных буферов; блока задания смещений; цифрового блока управления и синхронизации. На рис. 3 представлена блок-схема ячейки.

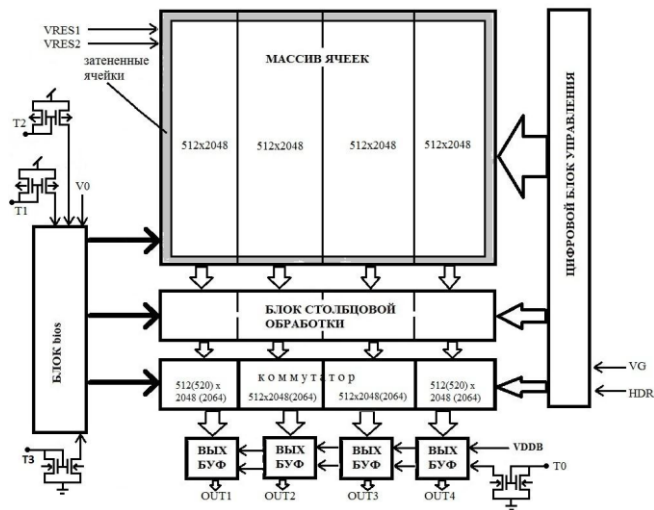


Рис. 2. Блок-схема мультиплексора

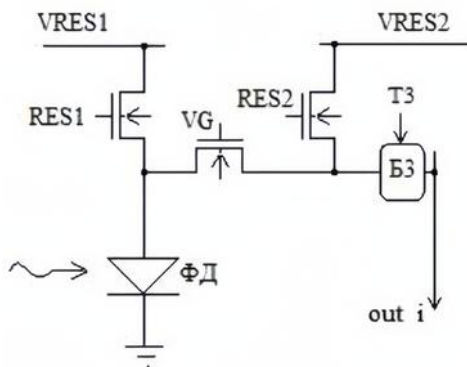


Рис. 3. Блок-схема ячейки

Кристалл АЦП также спроектирован под технологию 180 нм (HCMOS8D), что также позволяет сосредоточить производство микросхем внутри страны. АЦП конвейерного типа работает на тактовой частоте до 100 МГц и имеет потребляемую мощность не более 500 мВт.

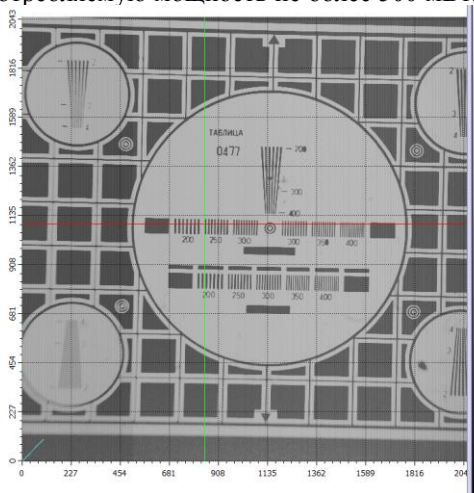


Рис. 5. Изображение телевизионной таблицы. Формат изображения 2048×2048

Размер кристалла 2,96×3,11 мм. Имеет 4 входных и 4 выходных канала, интерфейс вывода данных LVDS. Каждый канал конвейерного АЦП содержит: устройство выборки и хранения, шесть 2-битных каскадов АЦП (с избыточностью), оконечный 3-битный каскад и цифровой блок синхронизации.

ТАБЛИЦА I. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТОПРИЕМНИКА

Наименование параметра, единица измерения	Значение
Количество фоточувствительных элементов, шт.	2048×2048
Размер фоточувствительной ячейки, мкм	5,3×5,3
Рабочие диапазоны спектральной чувствительности, мкм	0,4÷0,9
Динамический диапазон, не менее, дБ	60
Частота кадров, не более, Гц	50
Диапазон рабочих температур, °С	от -60 до +50
Интегральная чувствительность, не менее, В / (лк·с)	15
Тип затвора	Global
Количество эффективных разрядов АЦП, бит	12
Потребляемая мощность, не более, Вт	1

На сегодня проводятся тестовые измерения нескольких первых опытных образцов, на основании которых будут проведены корректировки в топологической информации для устранения ошибок и улучшения параметров фотоприемника. Тестирование проводится в два этапа: первичная разбраковка кристаллов на зондовой установке и последующее тестирование годных кристаллов в корпусированном фотоприемнике. Проведенные на данный момент испытания позволяют сделать вывод о достойном качестве технологии производства. На рис. 4 и 5 представлены первые результаты запуска опытных образцов фотоприемника.

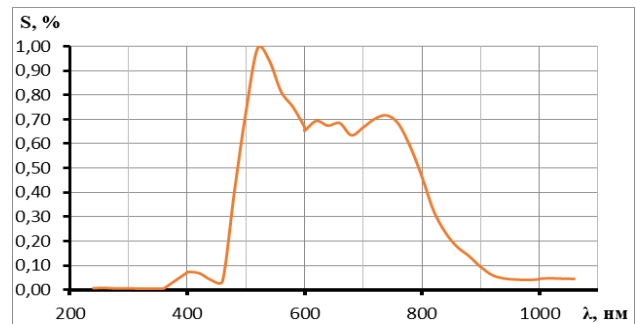


Рис. 4. Относительная спектральная характеристика

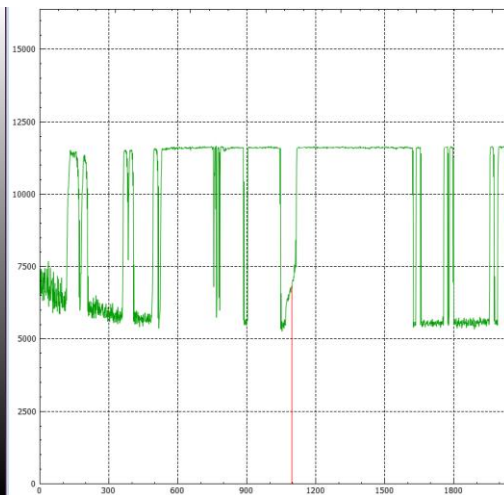


Рис. 5. Изображение телевизионной таблицы. Формат изображения 2048×2048

Далее в рамках ОКР планируется проведение механических и климатических испытаний изделия для подтверждения параметров прибора, а также возможность создания ФПУ на базе данного фотоприемника.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных первичных исследований разработанного матричного фотоприемника на базе КМОП-технологии были получены параметры, демонстрирующие конкурентоспособность устройства в сравнении с существующими аналогами. Полученные характеристики свидетельствуют о перспективности практического применения данного фотоприемника в составе конечных потребительских изделий различного назначения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность Д.В. Бородину и М.М. Пилипко за внесение огромного вклада в разработку устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лазовский Л. Приборы с зарядовой связью: прецизионный взгляд на мир. СПб.: АВТЭКС. 2008.
- [2] Пресс Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. Радио и связь, 1991. 264 с.
- [3] Степанов Р.М. Телевизионные фотоэлектронные приборы. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 192 с.
- [4] Белоус Д.А., Пучка Е.Ю., Баранов П.С., Манцетов А.А. «Пороговая чувствительность ПЗС и КМОП сенсоров при различных спектральных характеристиках источников света» // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2017. № 4. С. 9-15.
- [5] Д.В. Бородин, Ю.В. Осипов, В.В. Васильев. Отечественные матричные КМОП фотоприемники. // Труды НИИСИ РАН, 2017, т. 7, №2, С.74-77.
- [6] Д.В. Бородин, Ю.В. Осипов, В.В. Васильев. Микросхема КМОП фотоприемника видимого диапазона формата 1280×1024 с размером ячейки 13×13 мкм. // Прикладная физика, 2016, № 2, С. 76-81.