

## **КМОП микросхема матричного фотоприёмника видимого диапазона формата 256x256 ячеек**

**Бородин Д. В., Осипов Ю. В., Скрылёв А. С., Васильев В. В.**

*Разработана, изготовлена в России по технологии 0,8 мкм КМОП 1Si 2Al u в основном исследована тестовая микросхема матричного фотоприёмника видимого диапазона формата 256x256 трехтранзисторных ячеек размером 12x12 мкм. Получена интегральная чувствительность 7 В/лк\*с, получены изображения. Показана принципиальная возможность создания фотоматриц формата до 1 мегапикселя на отечественной технологической базе.*

Матричные КМОП фоточувствительные приборы, содержащие как неотъемлемую часть цифровой процессор управления массивом фотоячеек и режимами работы прибора в целом за счёт расширения возможностей в части обработки видеосигнала непосредственно в кристалле фотоприёмника, позволяют оптимизировать его функционирование в каждой конкретной ситуации наблюдения.

В России КМОП фотоматрицы не производятся и не проводятся разработки, ориентированные на отечественные технологические возможности, что сдерживает создание микрокамер по технологии «система на кристалле» [1]. Данная инициативная работа направлена на практическое восполнение, по возможности, этого пробела.

Тенденции развития зарубежных матричных КМОП фотоприёмников видимого диапазона направлены на создание как приборов сверхбольшого формата при одновременном уменьшении размера фотоэлементов, так и приборов телевизионных форматов, но с фотоэлементами достаточно больших размеров, обеспечивающих высокую чувствительность, быстродействие и широкие функциональные возможности.

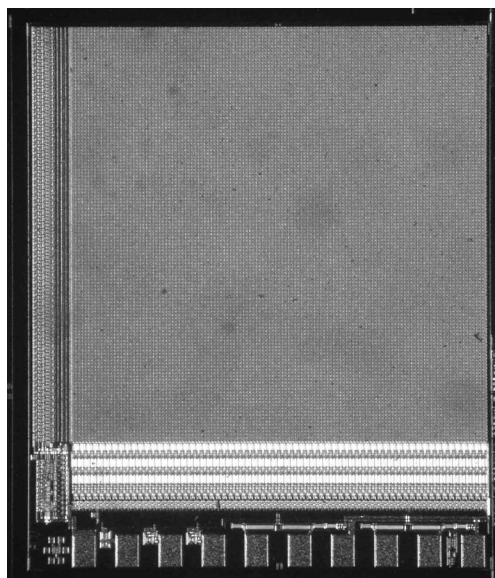
Реально доступные в настоящее время отечественные КМОП технологии крайне затрудняют создание фотоматриц мегапиксельных (Мп) форматов прежде всего из-за своего уровня (проектные нормы 0,5-0,8 мкм) и ограниченности площади кристалла микросхемы размерами порядка 16x16 мм. Даже создание микросхемы в 1-2 Мп потребует использования схемы с топологией максимальной плотности по всему кристаллу максимальной площади, что в условиях отечественного производства может привести к катастрофически малому проценту выхода годных. Поэтому представлялась разумной разработка тестовой микросхемы с ячейкой около 12x12 мкм и форматом 256x256 элементов, поскольку, с одной стороны, на базе такой фотоячейки, в принципе, возможно создание фотоматрицы в 1-1,5 Мп, а, с другой стороны, небольшие размеры (около 4x4 мм) кристаллов позволяют получить их в достаточном для исследований количестве и оценить перспективы создания схем большего формата. В то же время площадь сбора фотозаряда в ячейках столь большого размера может превышать 50% от площади самой ячейки, что позволяет создавать приборы телевизионных форматов с высокой чувствительностью.

Ранее было создано семейство КМОП микросхем первичного преобразования для гибридных фотоприёмных устройств линейчатого, субматричного и матричного

---

типов [2,3]. Цифровая часть этих схем обеспечивала различные режимы работы кристалла в целом, например, в случае матриц позволяла выводить сигнал только с элементов “окна интереса” произвольной прямоугольной формы за меньшее кадровое время, а также увеличивать кадровую частоту за счёт включения множественности выходов (до восьми). Отработанные при этом схемотехнические решения могут быть в дальнейшем положены в основу цифрового процессора управления массивом фотоячеек. В настоящей же разработке функция цифровой части была минимальной и ограничивалась жестким управлением аналоговой схемой и последовательным выводом просуммированного в течение времени кадра сигнала на четыре аналоговых выхода.

Фотоячейка разработана по являющейся в настоящее время классической трехтранзисторной схеме (например [4]), содержащей транзистор сброса ёмкости интегрирования в исходное состояние, транзисторы буферный и ключевой, соединяющие ячейки выбранной для опроса строки с расположенными на периферии массива фотоячеек аналоговыми элементами микросхемы. В качестве фотодиода использовался p+-р-переход увеличенной по площади области истока транзистора сброса. Интегрирование сигнала происходило на собственной ёмкости фотодиода и ёмкости затвора буферного транзистора. Размер ячеек 12x12 мкм, ёмкость интегрирования ~0,02 пФ (что соответствует зарядовой ёмкости в 200 000 электронов). Общее количество выводов микросхемы - 10, в том числе: тактовая частота, вход установки, выход синхронизации и четыре аналоговых выхода. Питание и все цифровые импульсы имеют уровни 0 и 5 В, рассеиваемая мощность не превышает 30 мВт при тактовой частоте до 4 МГц. Размер кристалла 3,5x4,2 мм, изготовлен по технологии 0,8 мкм КМОП: один поликремний, два металла. На рис. 1 приведена фотография микросхемы.



*Рис. 1.*

*Фотография микросхемы матричного КМОП фотоприёмника формата 256x256 ячеек*

На рис. 2 приведены зависимости напряжения на аналоговом выходе микросхемы от времени интегрирования для освещённостей 0, 4 и 8 лк, измеренные при нормальных условиях. Уровень выходного напряжения в 2,3 В соответствует отсутствию полезного сигнала, уровень в 0,9 В – насыщению. На участке изменения выходного сигнала от 1 до 2 В зависимость (с точностью ~ 5%) линейна.

Измерения при больших временах интегрирования показали, что плотность темнового тока фотодиода составляет около 3 фА\*мкм<sup>2</sup>, что в 3-100 раз больше ожидаемого значения как приведённого в [4], так и полученного из собственных, более ранних измерений утечек закрытых ключей. В ряде кристаллов наблюдался еще больший темновой ток и его неравномерное распределение по полю фотоматрицы. Данный вопрос требует дальнейшего исследования.

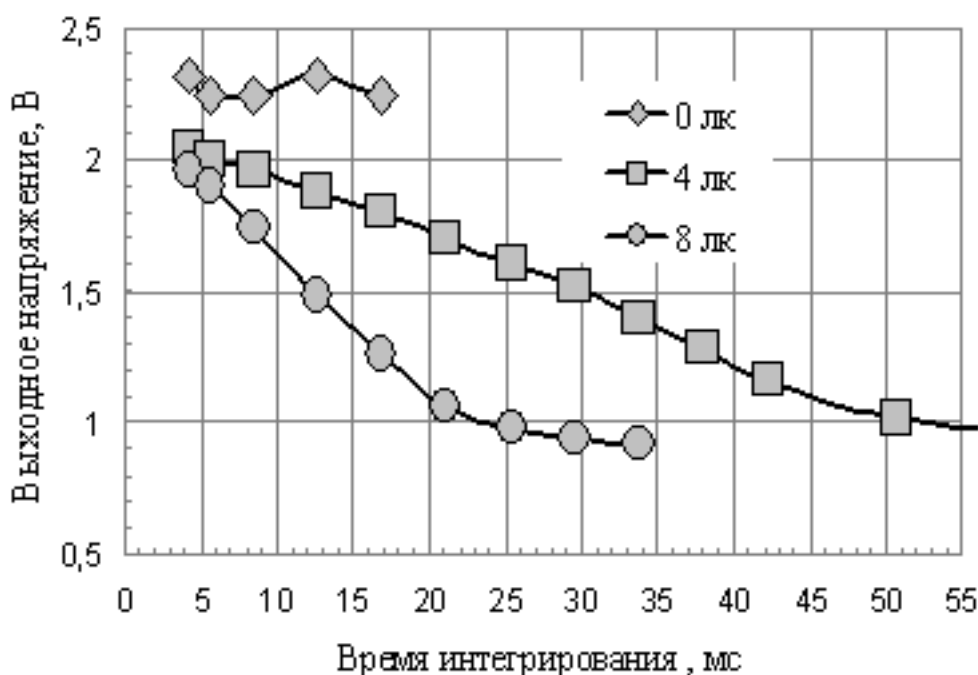


Рис. 2.

*Зависимость выходного напряжения от времени интегрирования для освещённостей 8,4 и 0 лк*

Из рис. 2 видно, что, например, при времени интегрирования 17 мс и освещённости 4 лк сигнал составляет 0,5 В, что даёт интегральную чувствительность 7 В/лк\*с. Измерения шума не проводились, однако поскольку аналоговый тракт вывода сигнала создавался на базе узлов микросхемы [3], прецизионные измерения которой показали, что её собственные шумы не превышают 100 мкВ [5], аналогичных результатов следует ожидать и здесь. Определяющий дробовой шум фотодиода составит 100 электронов, тем самым динамический диапазон превысит 1000.

На рис. 3а приведено полученное на фотоматрице изображение от сфокусированной на её поверхность сцены с негатива фотоплёнки. Гребенка расположенных слева кадра белых полос является тенью от внесённых в поле изображения игл контактного устройства. Время интегрирования составляло 17 мс, частота кадров – 60 Гц. На рис. 3б приведено аналогичное изображение, но дополненное точечной засветкой, приводящей к насыщению выходного сигнала (темное пятно в левой части кадра).



Рис. 3.

Примеры полученных на КМОП фотоматрице изображений. Правое изображение содержит дополнительную точечную засветку

Полученные результаты позволяют утверждать о принципиальной возможности создания КМОП фотоматриц формата до 1000x1000 ячеек на доступных стандартных отечественных КМОП технологиях.

Создание отечественных матричных КМОП фотоприёмников видимого диапазона с расширенными функциональными возможностями для телевизионных систем позволит существенно улучшить надёжность и эффективность оптико-электронных систем.

### Литература

1. Березанский В. М. Фотозлектронные приборы в системах наблюдения – состояние и перспективы развития. - *Материалы 7 НТК «Твердотельная электроника, сложные ФБ РЭА»*, М.: МНТОРЭС им. А. С. Попова, 2008, с. 15-16.
2. Бородин Д. В., Осипов Ю. В. КМОП микросхемы первичного преобразования для многоэлементных гибридных фотоприёмных устройств. - *7-я Российская НТК «Электроника, микро- и наноэлектроника»*. Сборник научных трудов / Под ред. В. Я. Стенина. - М.: МИФИ, 2005, с. 21-26.
3. Бородин Д. В., Осипов Ю. В. Матричный мультиплексор с кадровым накоплением для фотоприёмных устройств. // *Прикладная физика*, 2003, №6, с. 98-99.
4. Brouk I., Alameh K., Nemirovsky Y. Design and Characterization of CMOS/SOI Image Sensors. - *IEEE Trans on Electron Devices*, 2007, V.54, №3, p. 468-475.
5. A. M. Filachev, I. D. Burlakov, A. I. Dirochka, V. F. Chishko, A. V. Golubkov, I. L. Kasatkin, A. A. Lopukhin, D. V. Borodin, J. V. Osipov. 256x256 InSb Focal Plane Arrays with Frame Accumulation. - *Proc. of SPIE*, 2006, v. 6307, p. 16-20.