

УДК 621.396 (024)

А.В. Анацкий

Иностранное предприятие «Белтекс Оптик», г. Лида, Республика Беларусь

a.anatski@yikonww.com

В.Г. Назаренко

Г.М. Шахлевич

Институт информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск

iit@bsuir.by

КМОП СЕНСОРЫ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрены конструкторско-технологические и функциональные характеристики нового класса светочувствительных элементов – КМОП матриц и особенности их применения в системах визуализации изображений. Показано, что единство технологии дает возможность формировать на одном кристалле фотоприёмник и остальные узлы системы визуализации (синхрогенератор, видеопроцессор, схемы управления, АЦП).

Ключевые слова: *системы визуализации изображений, светочувствительные КМОП матрицы, сенсоры с пассивным и активным пикселем, обработка сигналов.*

Потребности различных отраслей науки и техники, например аэрокосмическая съемка, дистанционное зондирование Земли, требуют разработки высокоэффективных систем визуализации и обработки изображений. Первые революционные изменения в этой области были связаны с появлением ПЗС матриц. При переходе от электронно-лучевых трубок к матрицам системы визуализации не только резко уменьшились по габаритам и стали легко сопрягаемыми с устройствами компьютерной обработки сигнала, но и обрели высокую стабильность характеристик. На первых этапах развития ПЗС систем визуализации изображений многие специалисты были настроены к ним скептически из-за в последствии преодолённых трудностей (достаточно большие темновые токи, наличие дефектных пикселей, низкая квантовая эффективность и эффективности переноса зарядов, повышенный уровень шума считывания и др.). На данном этапе развития, когда в качестве основного элемента систем визуализации используются светочувствительная КМОП матрица, психологическое восприятие нового поколения такой техники во многом повторяется. Указывается, например их отставание от ПЗС по чувствительности (точнее – по уровню шумов и паразитных сигналов). Чем же КМОП сенсоры отличаются от ПЗС, почему они перспективнее, и что дает их применение в системах визуализации?

Принципиальное отличие этих приборов – метод реализации развёртки. Координатная адресация к каждому элементу вместо протаскивания заряда каждого элемента сначала по всему столбцу, а потом по всей строке позволяет избежать искажений, связанных с неэффективностью переноса заряда. Системы визуализации на КМОП сенсорах, объединяют в себе фотоприёмник, устройства развёртки, квантования и обработки изображения и по структурной сложности переходят в класс видеосистем на кристалле. Новая технология их

создания обеспечивает заметное повышение качества формируемой видеoinформации благодаря возможности многоканального считывания (в пределе – с применением отдельного АЦП для каждого элемента разложения) и введения усиления до воздействия шумов считывания. Координатная или XY-адресация обеспечивает произвольный доступ к любому пикселю изображения. Не смотря на то, что технология ПЗС постоянно совершенствуется, квантовая эффективность лучших фотоприёмников приблизилась к 100%, темновые заряды и собственные шумы упали до единиц электронов на пиксель, особенности многоуровневой технологии ПЗС не позволяет интегрировать на тот же кристалл, что и фотоприёмник, остальные узлы системы визуализации (синхрогенератор, видеопроцессор, схемы управления, АЦП). Развитие указанных преимуществ КМОП сенсоров может вытеснить из практики не только вакуумные приборы усиления слабых оптических сигналов, но и ПЗС.

КМОП матрицы или сенсоры с пассивным пикселем (Passive Pixel Sensor, PPS) первого поколения во многом подобны их предшественникам – микросхемам динамической или статической памяти (рис. 1) [1].

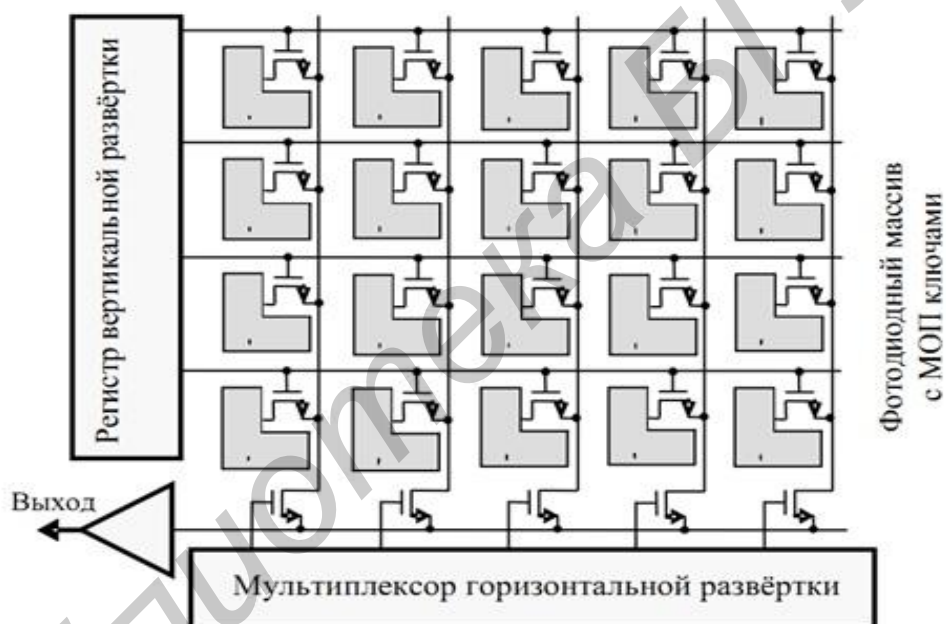


Рис. 1. КМОП сенсор с пассивным пикселем

Помимо матрицы фотодиодов, она содержит: регистр, осуществляющий выбор строки; ключевые полевые транзисторы, осуществляющие коммутацию фотодиодов выбранной строки к вертикальным видеопинам; аналоговый мультиплексор, осуществляющий подключение видеосигнала с выбранного фотодиода к выходному усилителю. Высокая ёмкость вертикальной видеопины, суммирующаяся с ёмкостью горизонтальной шины, не позволяет получить приемлемый уровень видеосигнала при ограниченном объёме зарядового пакета и, как следствие, данный вид сенсора обеспечивает низкое отношение сигнал/шум.

Для снижения влияния ёмкостей в сенсор с пассивным пикселем были введены усилители видеосигнала на каждый столбец (рис. 2). Такое решение позволило устранить влияние на амплитуду видеосигнала ёмкости горизонтальной видеопины.

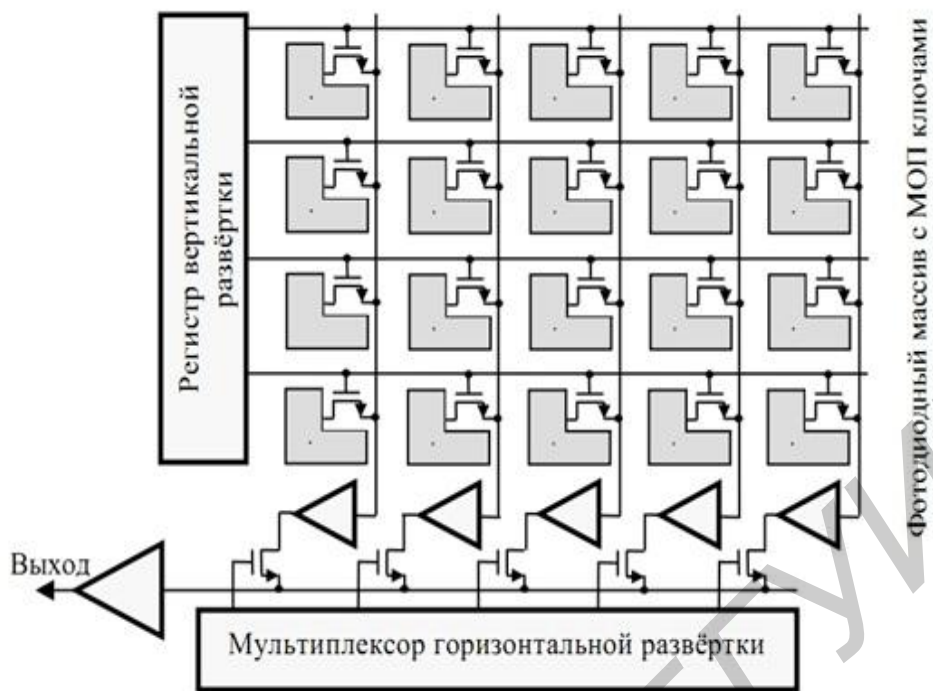


Рис. 2. КМОП сенсор с пассивным пикселем и активным столбцом

Влияние ёмкости вертикальной шины на видеосигнал было преодолено в КМОП сенсоре с активным пикселем (Active Pixel Sensor, APS) (рис. 3).

Особенность этой технологии в том, что усилитель (в простейшем случае однотранзисторный истоковый повторитель) размещается непосредственно в каждом пикселе матрицы. Тем самым ёмкость считывания и ёмкость вертикальной видеошины разделяются этим усилителем. С учётом усилителя коэффициент преобразования заряда в напряжение оказывается не ниже, а даже выше, чем в матрицах на ПЗС.

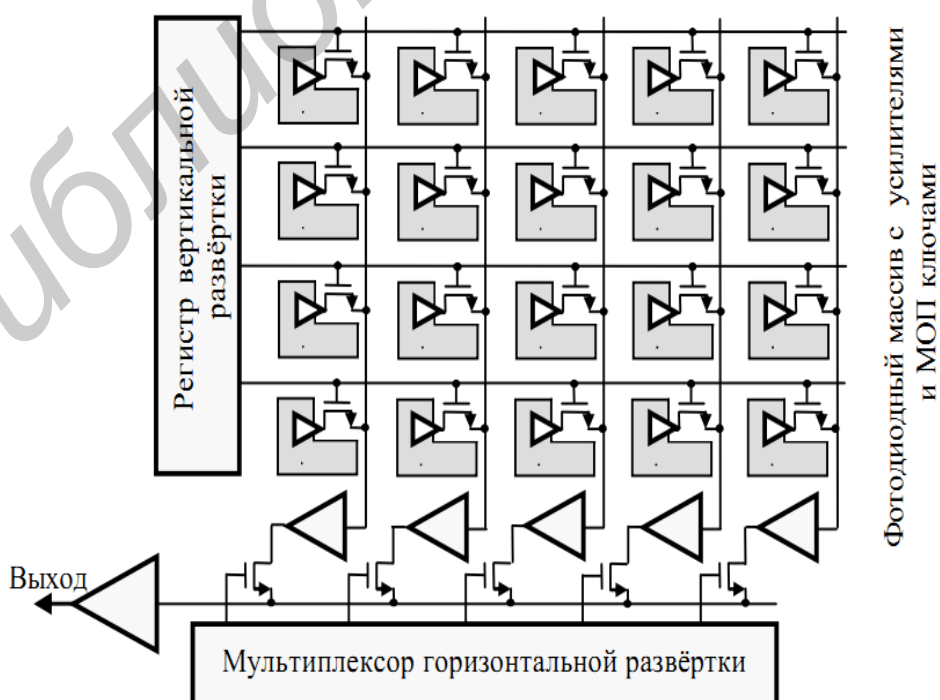


Рис. 3. КМОП сенсор с активным пикселем и активным столбцом

В современных матрицах ПЗС ёмкость плавающей диффузионной области, в которой осуществляется считывание заряда, порядка 0,01 пФ, что соответствует коэффициенту преобразования в 15...25 мкВ/е. В КМОП матрицах она имеет близкое значение, однако применение активного усилителя (докоммутиационного усиления) позволяет добиться эквивалентного коэффициента преобразования на порядок большего – до 250 мкВ/е, что положительно сказывается на шумовых характеристиках матрицы. Это в корне решает проблему чувствительности и отношения сигнал/шум. Развитие технологии активного пикселя в дальнейшем шло по пути улучшения качественных характеристик фотодиодов и транзисторов, а также увеличения числа транзисторов в каждом пикселе.

Другое важное направление развития КМОП сенсоров было связано с тем, что КМОП технология позволяет интегрировать различные узлы систем визуализации на одном кристалле и даёт разработчику возможность использования очень большого числа полевых транзисторов для реализации тех или иных узлов. Поэтому следующим шагом было размещение АЦП на том же кристалле (рис. 4).

Одной из особенностей КМОП сенсоров является возможность реализации высокой частоты опроса, превышающей частоту считывания зарядовых пакетов из ПЗС. В связи с этим требования по быстродействию к АЦП, установленном в КМОП сенсоре, оказываются весьма жесткими.

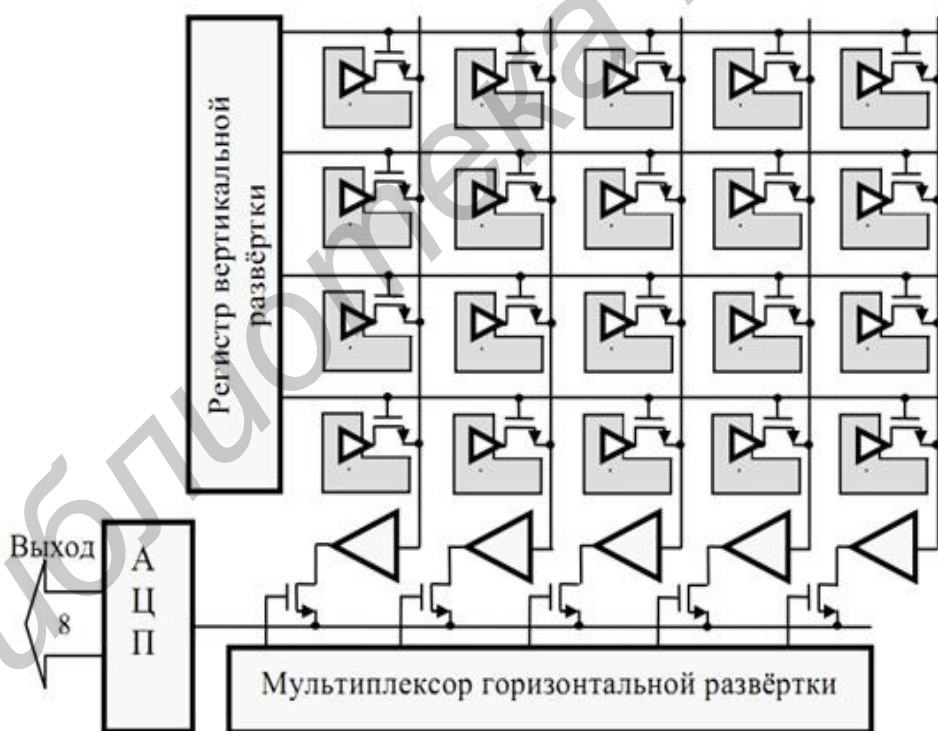


Рис. 4. КМОП сенсор с активным пикселем, активным столбцом и одним АЦП

Высокая частота считывания приводит к широкой полосе частот видеосигнала и худшим шумовым характеристикам, а большая частота преобразования АЦП – к большому выделению мощности. Для преодоления этого недостатка в КМОП сенсорах АЦП стали располагать из расчета один АЦП на каждый столбец и коммутацию осуществлять в цифровом виде (рис. 5).



Рис. 5. КМОП сенсор с активным пикселем и АЦП на каждый столбец

Это позволило снизить частоту преобразования каждого из АЦП в число раз, равное числу столбцов в фоточувствительной секции и соответственно уменьшить полосу частот видеосигнала.

Дальнейшее развитие связано с переходом к КМОП сенсору с цифровым пикселем (Digital Pixel Sensor, DPS) (рис. 6).



Рис. 6. КМОП сенсор с активным цифровым пикселем

Особенностью этих преобразователей является интеграция в каждый пиксель не только активного усилителя, но и непосредственно АЦП. При этом частота преобразования АЦП становится равной кадровой частоте фотоприёмника, а полоса частот видеосигнала уменьшается до минимальных значений. В настоящее время разработаны КМОП сенсоры с цифровым пикселем размером $9,8 \times 9,8$ мкм (при топологических размерах элементов 0,18 мкм), содержащие в каждом пикселе АЦП, состоящий из 37 транзисторов.

Поскольку КМОП-технология является по сути процессорной, она подразумевает не только «захват» света, но и процесс преобразования, обработки, очистки сигналов, как от собственных шумов, так и шумов других компонентов устройства. Важнейшим преимуществом КМОП матрицы является единство технологии с остальными, цифровыми элементами аппаратуры. Это дает возможность объединения на одном кристалле аналоговой, цифровой и обрабатывающей части. Это послужило основой для миниатюризации видеокамер различного назначения и снижения их стоимости ввиду отказа от дополнительных процессорных микросхем, а также значительного уменьшения их энергопотребления.

Библиографический список

[1] Манцветов А.А., Цыцулин А.К. Телекамеры на КМОП фотоприёмниках // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. - 2006. – №2. – С. 70-89 с.

[2] Пятков В.В., Умбиталиев А.А. КМОП фотосенсоры с многоканальной схемой опроса // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. - 2011. – №2. – С. 34-42.

[3] Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). – М. : Техносфера, 2012. – 1008 с.

E-mail: shsakhlev@bsuir.by