

**Секция 1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.396 (024)

**СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ КМОП СЕНСОРЫ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Анацкий А.В., Шахлевич Г.М.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь*

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

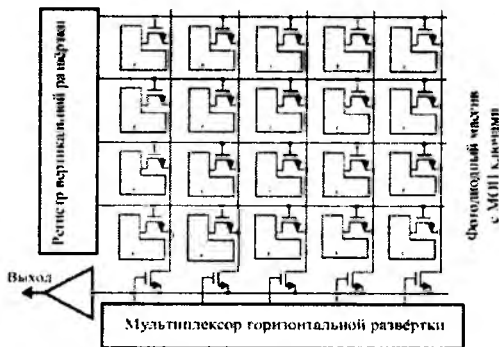


Рисунок 1 – КМОП сенсор с пассивным пикселем

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 [1].

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

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

Революционность этой технологии в том, что усилитель (в простейшем случае однотранзисторный истоковый повторитель) размещается непосредственно в каждом пикселе матрицы. Тем самым ёмкость считывания и ёмкость верти-

кальной видеопины разделяются этим усилителем. С учётом усилителя коэффициент преобразования заряда в напряжение оказывается не ниже, а даже выше, чем в матрицах на ПЗС.

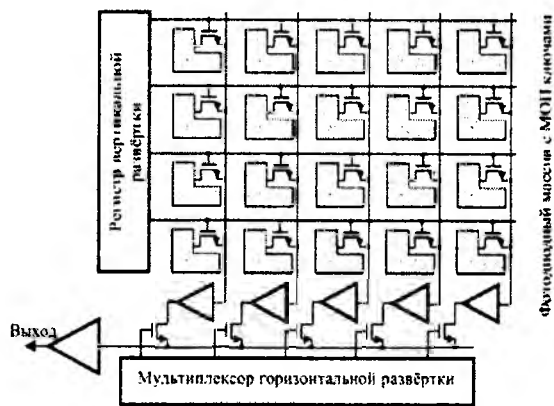


Рисунок 2 – КМОП сенсор с пассивным пикселем и активным столбцом

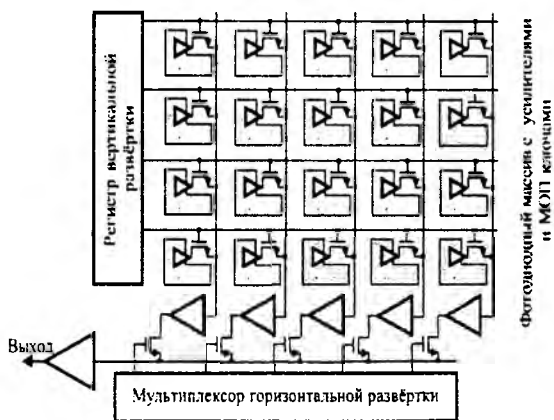


Рисунок 3 – КМОП сенсор с активным пикселем и активным столбцом

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 [2].

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

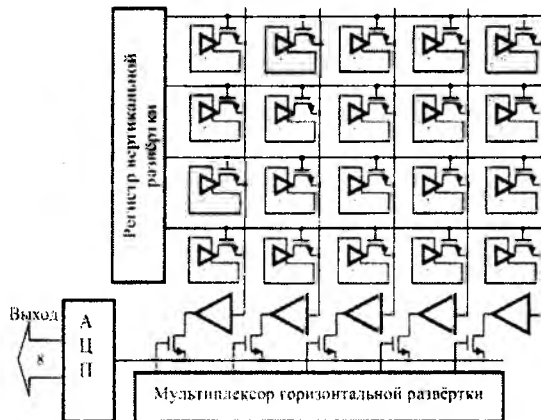


Рисунок 4 – КМОП сенсор с активным пикселем, активным столбцом и одним АЦП

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. 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 (рисунок 5). Это позволило снизить частоту преобразования каждого из АЦП в число раз, равное числу столбцов в фоточувствительной секции, а также соответственно уменьшить полосу частот видеосигнала.

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 9,8×9,8 мкм (при топологических размерах элементов 0,18 мкм), содержащие в каждом пикселе АЦП, состоящий из 37 транзисторов [2].



Рисунок 5 – КМОП сенсор с активным пикселем и АЦП на каждый столбец

Дальнейшее развитие пошло по пути движения к КМОП сенсору с цифровым пикселем (Digital Pixel Sensor, DPS) (рисунок 6).

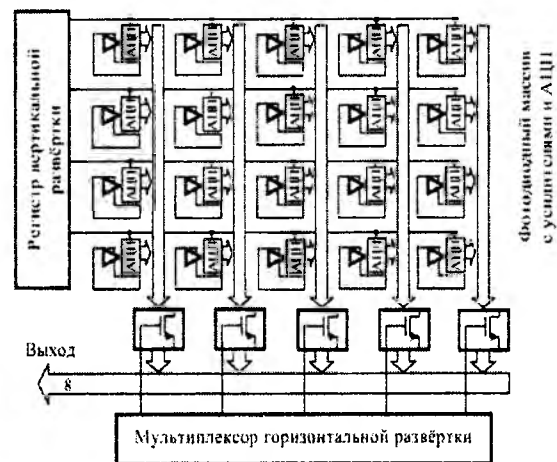


Рисунок 6 – КМОП сенсор с активным цифровым пикселем

КМОП-технология, являясь в первую очередь процессорной технологией, подразумевает не только «захват» света, но и процесс преобразования, обработки, очистки сигналов не только собственно-захваченных, но и сторонних компонентов РЭС. Поэтому важным преимуществом КМОП матрицы является единство технологии с остальными, цифровыми элементами аппаратуры. Это дает возможность объединения на одном кристалле аналоговой, цифровой и обрабатывающей части, что послужило основой для миниатюризации видеокамер различного назначения и снижения их стоимости ввиду отказа от дополнительных процессорных микросхем [3].

1. Манцетов, А.А. Телекамеры на КПОП фото-приёмниках / А.А. Манцетов, А.К. Цыцулин // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. - 2006. - №2. - С. 70-89 с.
2. Пятков, В.В. КМОП фотосенсоры с многоканальной схемой опроса / В.В. Пятков, А.А.

Умбиталиев // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. - 2011. - №2. - С. 34-42.

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

УДК 620.179.14

## ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОТПУСКА РЕССОРНО-ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ ПРИБОРОМ ИМА-6

Бурак В.А.

*Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси  
Минск, Республика Беларусь*

Рессорно-пружинные стали применяются для изготовления рессор, амортизаторов, силовых пружин различного назначения и других упругих элементов, и поэтому они должны иметь высокие пределы упругости, выносливости и релаксационную стойкость. Этим требованиям удовлетворяют стали с повышенным содержанием углерода (0,5–0,7 %), подвергнутые закалке и последующему отпуску при 420–520 °С [1]. К таким сталям относится и хромомарганцеванадиевая высококачественная рессорно-пружинная сталь 50ХГФА, в которой повышенное содержание марганца и присутствие ванадия приводит к увеличению прочностных свойств с небольшим изменением пластичности и повышает прокаливаемость и ударную вязкость.

Магнитные методы неразрушающего контроля получили широкое распространение для контроля структурного состояния ферромагнитных материалов и изделий, к которым относятся и класс рессорно-пружинных сталей. Однако возможность магнитного контроля механических свойств изделий из рессорно-пружинных сталей [1, 2] после термической обработки может быть установлена только по результатам экспериментальных исследований, включающих изучение влияния отклонений режимов термообработки (как температуры закалки, так и температуры отпуска) на магнитные и механические свойства стали и определения информативных магнитных параметров, которые имеют однозначную связь с механическими свойствами.

Для неразрушающего контроля качества отпуска закаленных изделий из рессорно-пружинных сталей особый научный и практический интерес представляет импульсный магнитный метод, который заключается в локальном импульсном намагничивании или намагничивании и частичном размагничивании контролируемого изделия неоднородным магнитным полем накладного соленоида, ось которого перпендикулярна поверхности контролируемого изделия, измерении градиента  $\nabla H_m$  нормальной состав-

ляющей напряженности поля остаточной намагниченности, по величине которого и заранее установленным корреляционным связям определяются механические свойства или температура термообработки. Для реализации импульсного магнитного метода при контроле температуры отпуска рессорно-пружинной стали 50ХГФА использовался импульсный магнитный анализатор ИМА-6 [3].

Исследуемые образцы из рессорно-пружинной стали 50ХГФА представляли собой пластины 140×20×2,2 мм<sup>3</sup>, подвергнутые закалке от температур 790, 820, 850, 880 и 910 °С и последующему отпуску при температурах 200, 300, 350, 410, 440, 470, 500, 530, 560 и 600 °С. При контроле преобразователь прибора ИМА-6 размещался таким образом, чтобы ось феррозонда датчика находилась перпендикулярно на пересечении диагоналей пластин. Намагничивание контролируемых образцов осуществлялось одним импульсом амплитудой 250 кА/м, амплитуды размагничивающих импульсов выбирались для каждой температуры закалки из условия полного размагничивания намагниченного участка изделия из числа контролируемых, подвергнутого отпуску при максимальной или минимальной температуре и были равны 20 и 35 кА/м соответственно.

В ходе исследований было установлено, что при частичном размагничивании локально намагниченного образца устанавливается однозначная связь между градиентом  $\nabla H_m^p$  нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности частично размагниченного образца и температурой отпуска во всем интервале изменения температур отпуска рессорно-пружинной стали 50ХГФА.

Так, как видно из рисунка 1, в случае, когда амплитуда размагничивающего импульса  $H_m^{pl}$  выбрана такой, что при максимальной для данного типа изделий температуре отпуска (для исследуемых образцов – 600 °С) величина изме-