

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МАТРИЦЫ КМОП В МЕГАПИКСЕЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ ТЕЛЕКАМЕРАХ

ВСТУПЛЕНИЕ



*Автор: О.В. Вовк, кандидат
технических наук (компания
«ЗАО В-ЛЮКС»)*

В настоящее время рынок видеонаблюдения в нашей стране прошел период становления и находится в стадии активного развития. Этому способствует увеличение количества фирм, поставляющих сетевые телекамеры в Россию, улучшение качества этих камер, расширение возможностей передачи информации в сеть, а также возможностей настроек. Сейчас возрастает интерес как у поставщиков, так и у потребителей к высококачественному оборудованию, в частности к мегапиксельным сетевым телекамерам.

Разрешение чувствительного элемента мегапиксельных телекамер значительно выше, чем у лучших аналоговых телекамер. Например, фоточувствительный элемент 1280x960 пикселей имеет в четыре раза большее разрешение, чем в лучших аналоговых камерах. Это позволяет использовать одну мегапиксельную камеру для наблюдения за большими пространствами, в первую очередь городскими площадями, без поворотов и дополнительных сканирующих устройств.

«Глазами» любой телекамеры является фоточувствительная матрица, используемая в ней. Эта матрица определяет многие особенности телекамеры.

БЛАГОДАря ВЫСОКОМУ РАЗРЕШЕНИЮ ОДНУ МЕГАПИКСЕЛЬНУЮ КАМЕРУ МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛя НАБЛЮДЕНИЯ ЗА БОЛЬШИМИ ПРОСТРАНСТВАМИ

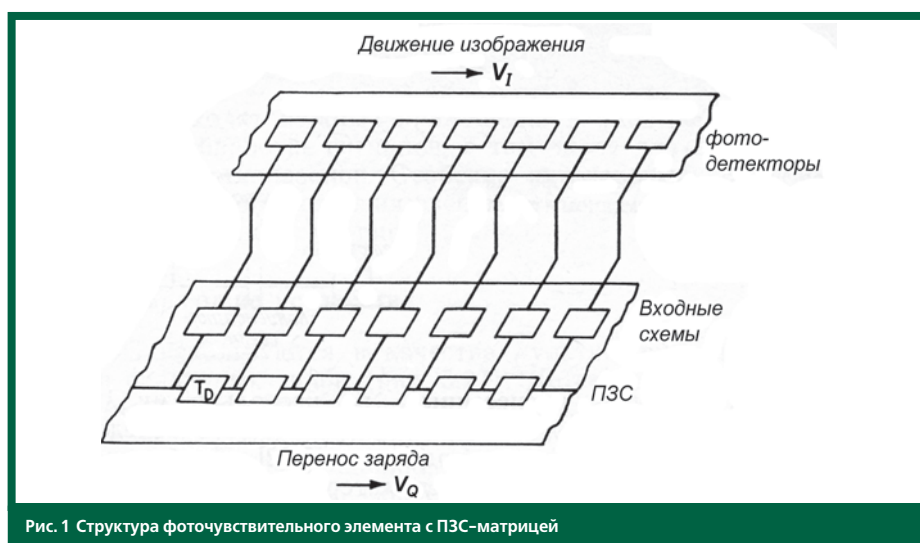
Для возможности сравнения параметров высококачественных телекамер с высокой разрешающей способностью, изготовленных на основе ПЗС и КМОП фоточувствительных матриц, рассмотрим принцип работы этих матриц.

В настоящее время в литературе достаточно хорошо представлен принцип действия фоточувствительных приборов с зарядовой связью.

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПЗС

Фоточувствительные приборы с зарядовой связью (ПЗС) представляют собой матрицы близко расположенных друг к другу МОП-конденсаторов (металл-окисел-полупроводник). Сигнальный заряд, генерированный светом, фиксируется хранится в матрице МОП-конденсаторов. Образованные таким образом зарядовые пакеты могут храниться под электродами матрицы и контролируемым образом перемещаться вдоль поверхности кристалла, перетекая из под одних электродов матрицы к соседним электродам [1].

Однако такие матрицы применяются на более часто в качестве фоточувствительных



элементов фотоаппаратов и недорогих телекамер, обладающих невысоким разрешением.

В настоящее время в качестве чувствительного ПЗС-элемента сетевых телекамер высокого разрешения наиболее часто применяются фотодиоды, интегрированные с ПЗС матрицей, например, согласно схеме, приведенной на Рис.1.

В этих схемах ПЗС синхронизируется со скоростью, согласованной с движением изображения от фотодиода к фотодиоду. В

заключается в способе переноса, обработки и считывания генерированного светом заряда. Обработка заряда в этих случаях осуществляется с помощью интегральных схем КМОП.

Эти структуры не имеют недостатков, связанных с переносом пакетов зарядов, как в ПЗС-матрицах.

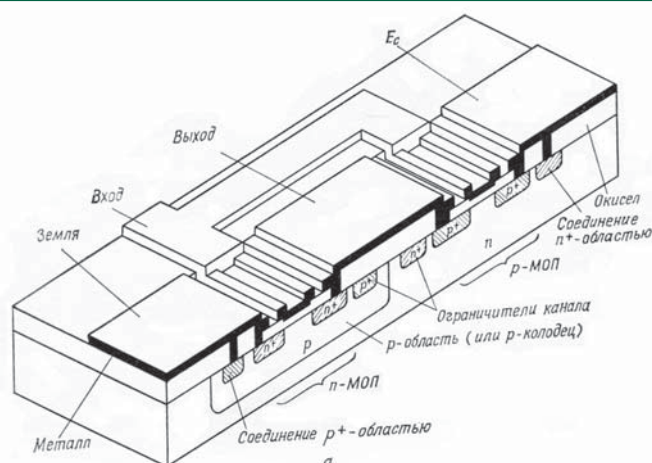
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ КМОП

Фоточувствительные приборы на основе КМОП-структур (комплементарный металл-окисел-полупроводник), применяемые в высококачественных сетевых телекамерах с высокой разрешающей способностью в качестве фоточувствительного элемента обычно содержат фотодиоды в каждом пикселе, интегрированные с интегральной микросхемой КМОП.

Следует отметить, что в более дешевых телекамерах с низким разрешением могут применяться фототранзисторы или фоторезисторы, изготавливаемые в одном технологическом цикле с КМОП-элементами. Однако так как таким телекамерам было уделено достаточное внима-

результате сигналы изображения когерентно складываются в каждом элементе временной задержки и интегрирования за один кадр. При этом если источники шума независимы, шумы складываются некогерентно в каждом элементе временной задержки [2].

Основное отличие КМОП-сенсоров от ПЗС-сенсоров для высококачественных камер



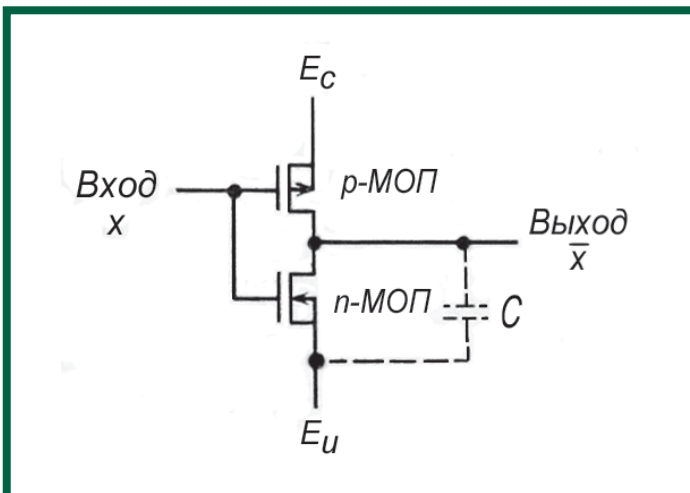


Рис. 3 Электрическая схема КМОП-структуры

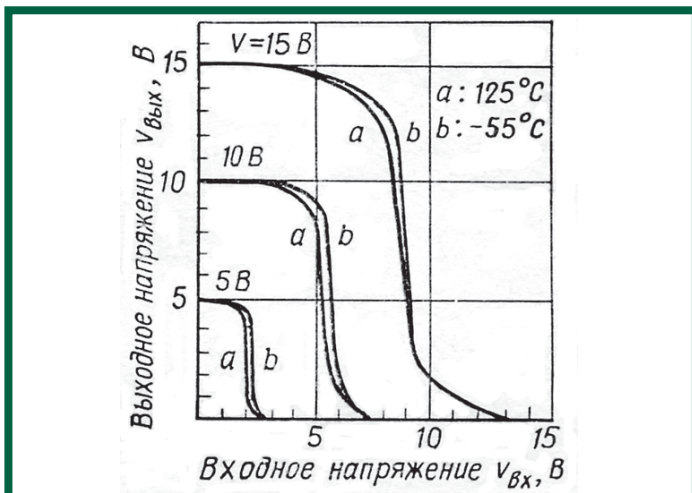


Рис. 4 Зависимость входного напряжения от выходного КМОП-ячейки при различных температурах

ние ранее [3], то в настоящей статье мы рассмотрим фоточувствительные элементы дорогостоящих телекамер с высоким разрешением.

КМОП-ячейка состоит из двух частей, одна из которых построена на n-МОП структуре, а другая – на p-МОП структуре (Рис.2). Комплементарными эти структуры называются, потому что являются взаимодополняющими.

Описанные схемотехнические особенности также обуславливают такие уникальные свойства КМОП-ячейки, как независимость параметров от флуктуаций источника питания, шумов и колебаний температуры. Эти свойства КМОП-матрицы использованы в камере Mobotix, сконструированной для функционирования в тяжелых климатических ус-

значениях температуры и напряжения источника приведена на Рис.4.

Хорошо видно, что кривые имеют очень незначительные различия в широком диапазоне температур.

Помимо того, изменение напряжения питания приводит лишь к сдвигу кривой без значительного изменения ее характера, входное и выходное напряжение меняются пропорционально изменению напряжения питания, и КМОП-ячейка правильно выполняет логические операции в широком диапазоне напряжений питания. Этот диапазон значительно шире, чем у других типов интегральных схем.

Свойствами передаточной характеристики, а именно ее крутым перепадом объясняется высокая помехоустойчивость КМОП-структур.

Описанные выше схемотехнические и топологические особенности КМОП-структур, приводят к снижению быстродействия этих

НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ СИЛЬНО ВЛИЯЮТ ПЕРЕКРЕСТНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ НАВОДКИ, ПОЭТОМУ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МАТРИЦЫ ПРОЕКТИРУЮТСЯ С УЧЕТОМ ЭТОГО ФАКТОРА

Эта ячейка работает таким образом, что когда один транзистор открыт, то другой закрыт [4].

Элементарная схема работы этой ячейки приведена на Рис.3. Транзистор p-МОП включен между положительным полюсом источника питания E_c и выходом схемы, а n-МОП между выходом схемы и отрицательным полюсом источника питания E_u . Вход x соединен с затворами n-МОП и p-МОП транзисторов. При подаче на вход x высокого напряжения p-МОП транзистор запирается, а n-МОП транзистор открывается. При подаче на вход x низкого напряжения p-МОП транзистор открывается, а n-МОП транзистор закрывается.

Все преимущества в электрических характеристиках этих схем следуют из описанных схемотехнических особенностей. Поскольку один из транзисторов всегда находится в закрытом состоянии, ток от E_c к E_u отсутствует. Следовательно, если входной сигнал не меняется, потребляемая мощность равна произведению источника питания и очень малого тока, протекающего через МОП-транзистор. Это обуславливает чрезвычайно низкую потребляемую мощность.

ловиях высокогорных горнолыжных курортов. Температурный диапазон работы этой телекамеры $-30...+60^{\circ}C$

Типичная зависимость между выходным и входным напряжениями КМОП-ячейки (ее передаточная характеристика) при различных

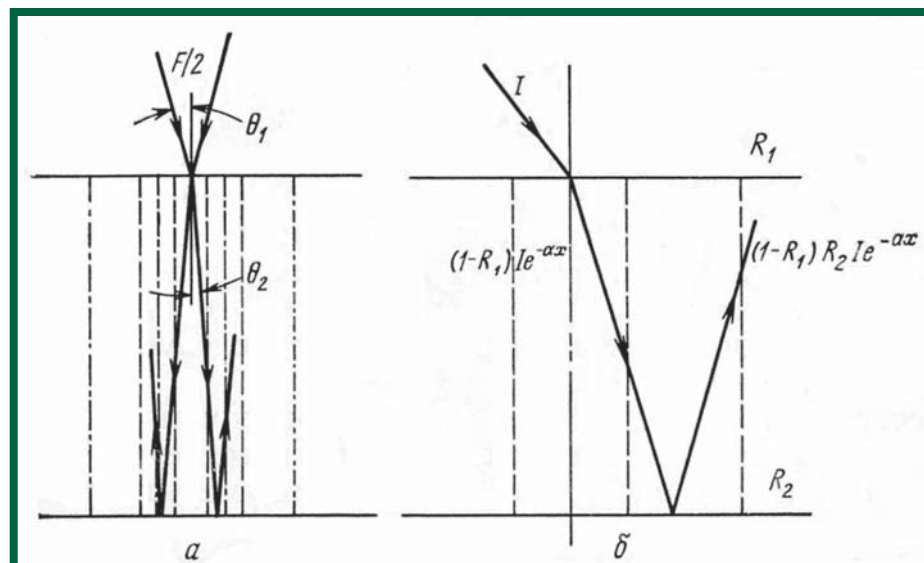


Рис. 5 Схема, иллюстрирующая причину возникновения оптических перекрёстных наводок в матричных приемниках. Рис.5а размер ячейки 50 мкм, размер ячейки 100мкм. Рис.5б ход отражённых лучей от тыльной границы кристалла

структур по сравнению с его значениями для других типов интегральных схем. При изменении входного сигнала выходная паразитная емкость, определяющая быстродействие, должна зарядиться через открытый р-МОП транзистор. При следующем изменении входного сигнала, паразитная емкость должна разрядиться через открытый п-МОП транзистор. Для повышения быстродействия схемы необходимо, чтобы скорость переключения р-МОП схемы имела тот же порядок, что и п-МОП схема. Для компенсации относительно низкого быстродействия р-канальных транзисторов, каналы этих транзисторов делают шире, чем п-канальных транзисторов.

Производство КМОП-матриц дороже, чем других микросхем, так как при их производстве требуется большее количество фотолитографических масок, чем при производстве других типов интегральных микросхем, поскольку необходимо изготовить, как р-МОП так и п-МОП транзисторы.

Кроме того, площадь КМОП-структур почти в два раза больше, чем у других интегральных схем, так как в каждой ячейке должны присутствовать и р-МОП так и п-МОП транзисторы.

ОПТИЧЕСКИЕ НАВОДКИ В МАТРИЦАХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

На качество изображения, получаемого с фоточувствительных матриц, серьезное влияние оказывают перекрестные оптические наводки. Поэтому фоточувствительные матрицы

ПРИ ОДИНАКОВОМ ЧИСЛЕ ПИКСЕЛОВ РАЗМЕР ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦ БЫВАЕТ РАЗНЫМ, ЧТО ПРИВОДИТ К РАЗЛИЧНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ. КАК ПРАВИЛО, ТЕЛЕКАМЕРЫ С МЕНЬШИМИ РАЗМЕРАМИ МАТРИЦ ИМЕЮТ МЕНЬШУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

проектируются с учетом этого фактора.

Оптические перекрестные наводки возникают в результате того, что в фотоприемную матрицу поступают фотоны с различным направлением волнового вектора в пределах телесного угла, определяемого светосилой оптической системы приемника (Рис.5). В результате преломления света на границе кристалла величина угла уменьшается, согласно соотношению:

$$\sin \theta_2 = 1/n \sin \theta_1 = 1/2nF,$$

где n - показатель преломления,

F - светосила объектива, равная отношению фокусного расстояния объектива к диаметру входного зрачка.

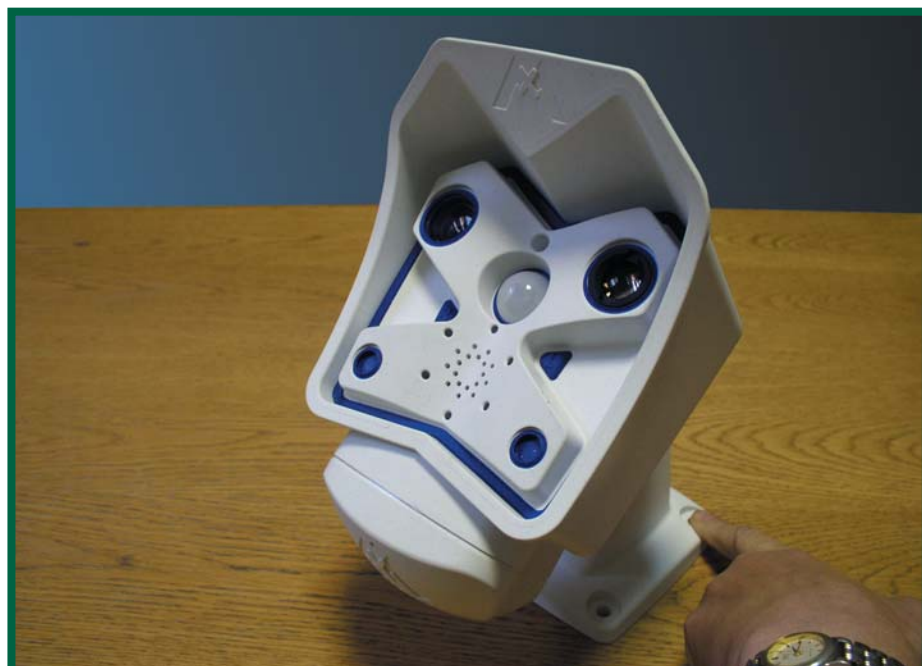


Рис. 6 Конструкция видеокамеры Mobotix

Чем меньше поперечный размер фоточувствительных элементов, тем большее их число пересекают траектории «крайних» лучей за первый проход до нижней границы кристалла. При этом отражение фотонов от тыльной границы кристалла вносит дополнительный вклад в оптические перекрестные наводки. Для снижения этих перекрестных наводок можно уменьшить светосилу оптической системы или увеличить размер фоточувствительных ячеек. Ясно (Рис.5а), что в приемниках изображения с большим поперечным размером ячеек и с малой светосилой стремятся к полному отражению

диаметру передающей трубки. При одинаковом числе пикселей (разрешающей способности) размер элементов таких матриц разный, что приводит к различной чувствительности. Как правило, телекамеры с меньшими размерами матриц имеют меньшую чувствительность.

Учитывая все изложенное выше, как вывод, хочется обратить внимание на следующий факт. Например, стабильность электронных элементов, обусловленных применением КМОП-матриц, телекамеры Mobotix находят свое продолжение в надежной конструкции камеры (Рис.6), исключающей наличие движущихся частей (вместо вариофокальных объективов и переключения режима день/ночь – наличие двух объективов). Таким образом, именно гармоничный подбор факторов, влияющих на параметры камер, обуславливает их качество.

Целью данной статьи являлось выявление некоторых закономерностей, определяющих влияние выбора комплектующих элементов и конструктивно-технологических особенностей на параметры современных телекамер.

фотонов от тыльной границы кристалла ($R_2=1$), так как в этом случае отраженные фотоны остаются в пределах той же фоточувствительной ячейки, что увеличивает чувствительность фотоприемника. В случае с небольшим размером фоточувствительных ячеек, изображенном на Рис.5б, отраженные фотоны генерируют носители в соседних ячейках. Единственный выход в этом случае – уменьшение отражения ($R_2=1$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышеописанной ситуации, становится понятным важность размера фоточувствительной матрицы, который обычно указывается производителем в дюймах, эквивалентных

ЛИТЕРАТУРА

1. С.ЗИ «Физика полупроводниковых приборов», М, Мир, 1984
2. «Приборы с зарядовой связью» Под ред. Д.Ф. Барба, М., Мир, 1982
- 3.«Матричные КМОП-фотоприемники» Электроника №1, 2002
4. С. Мурого. «Проектирование сверхбольших интегральных схем», М., Мир, 1985