

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Саратовский национальный исследовательский государственный  
университет имени Н.Г. Чернышевского»

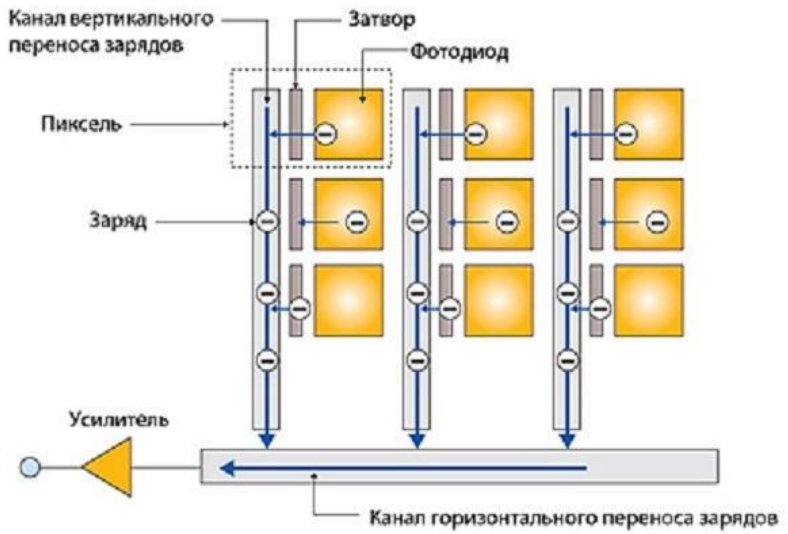
# Реферат на тему: Датчики изображений

студента 1 курса 102 группы  
факультета нано- и биомедицинских  
технологий

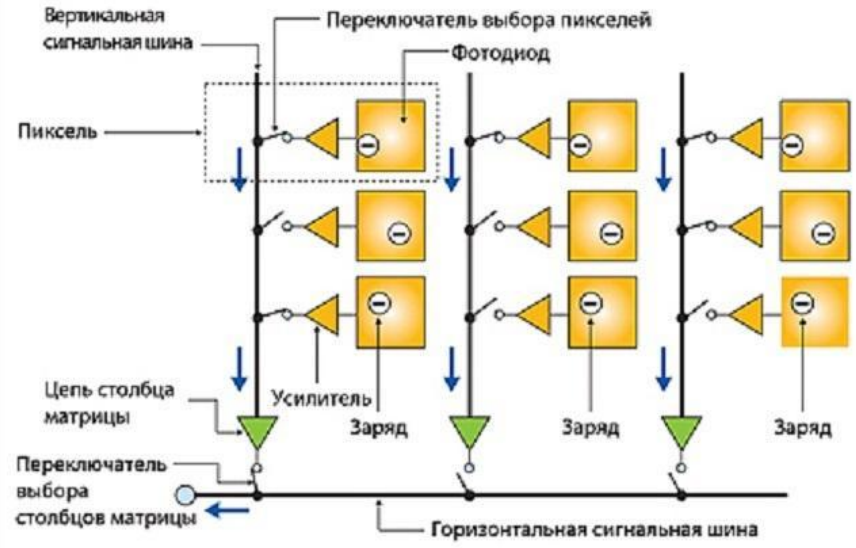
Алексеев Артёма Сергеевича

# ПЗС и КМОП

Структура CCD-матрицы



Структура CMOS-матрицы

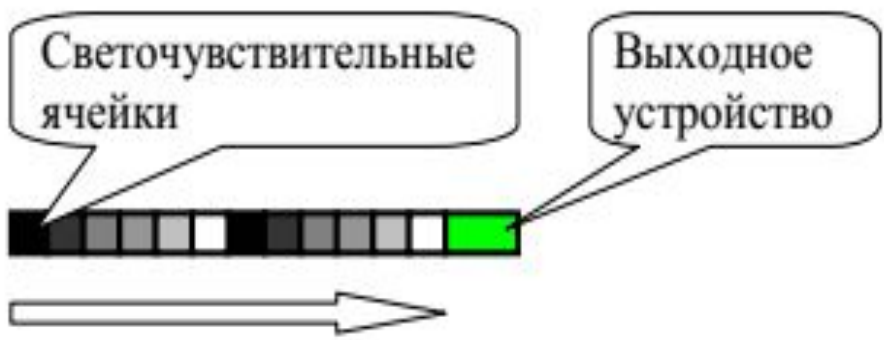


# ПЗС

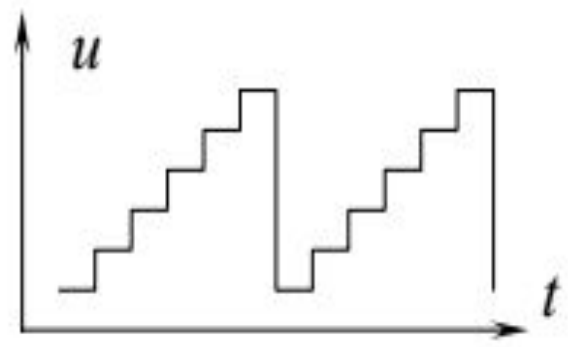
ПЗС и КМОП-сенсоры представляют собой матрицу, состоящую из набора фотоприемников — пикселей, способных преобразовывать световую энергию в заряд, который впоследствии передается, и с его помощью формируется конечное изображение, полученное сенсором. Остановимся на принципах работы обоих типов сенсоров, а также рассмотрим вопросы качества получаемой картинки.

Прибор с зарядовой связью — полупроводниковый прибор, представляющий собой матрицу или линейку изолированных от подложки затворов (МДП-структур), под которыми может происходить перенос к стоку информационных пакетов неосновных носителей заряда, либо инжектированных из истока, либо возникших в подложке из-за поглощения оптического излучения.

# Линейный датчик



Движение зарядовых пакетов



Форма выходного сигнала

Рисунок 1. Линейный ПЗС

# Линейный датчик

Линейный датчик - это датчик с самой простой организацией. В нём все ячейки выстроены в одну линию, в конце которой находится выходное устройство. На рисунке схематически изображена неравномерно освещённая линейка ПЗС. Более тёмными показаны ячейки, на которые падает меньше света.

Линейные ПЗС применяются там, где требуется одномерное изображение, например, в считывателях штрих-кодов, или в сканерах, где движение вдоль второй координаты осуществляется путём механического перемещения линейки.

# Односекционный матричный ПЗС

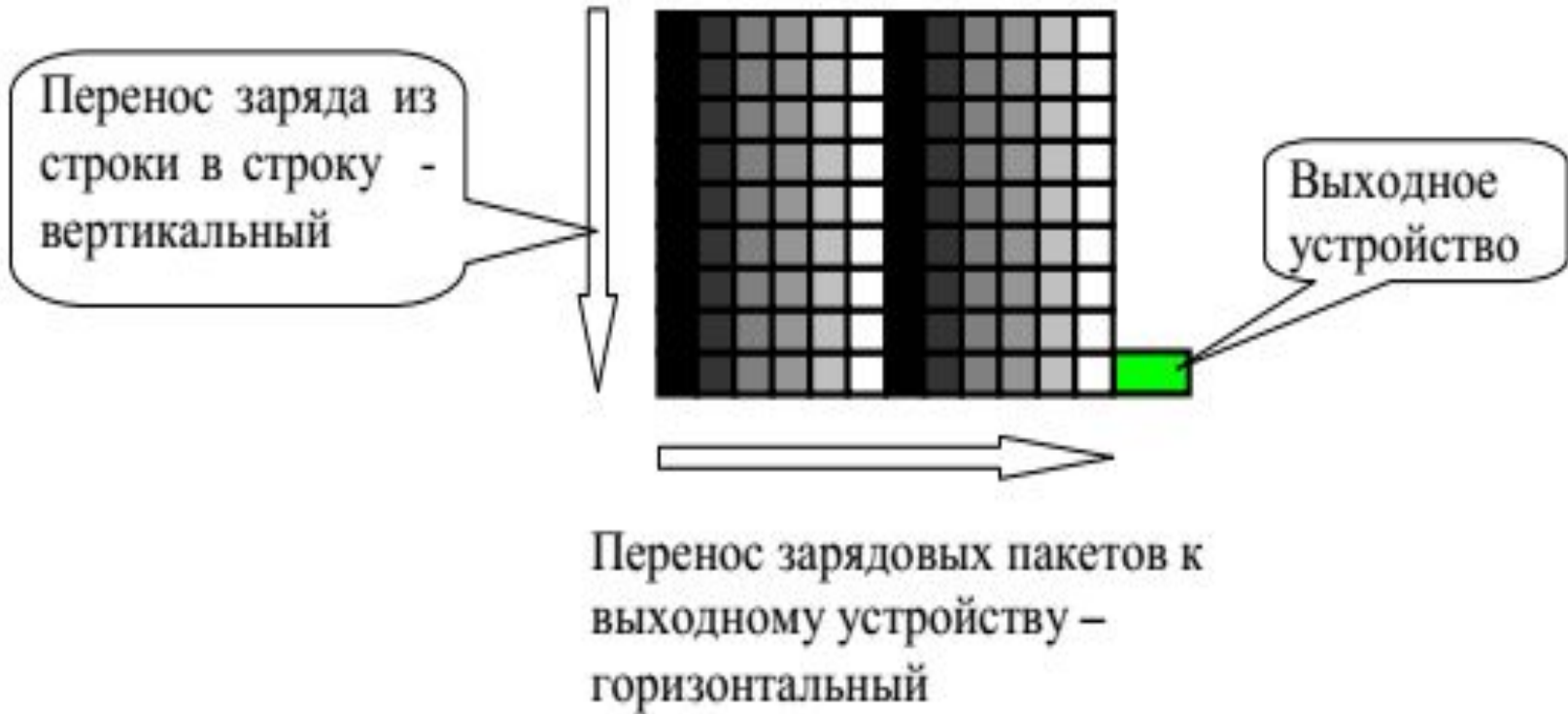


Рисунок 2. Односекционный матричный ПЗС

# Односекционный матричный ПЗС

Для получения двумерного изображения ячейки ПЗС организуют в матрицу. Считывание зарядовых пакетов из нижней строки происходит так же, как в линейке ПЗС. Будем называть его горизонтальным переносом. После этого все лежащие выше строки сдвигаются на одну позицию вниз, то есть происходит вертикальный перенос. Циклы вертикального и горизонтального переноса производятся до тех пор, пока не будет считана верхняя строка, и прибор будет готов к следующей экспозиции. Нижняя строка несколько отличается по конструкции от остальных и называется выходным регистром.

Недостаток такого устройства очевиден: во время всего переноса зарядовых пакетов, как по горизонтали, так и по вертикали, светочувствительные ячейки продолжают поглощать падающий на них свет. Поэтому использовать односекционную матрицу ПЗС можно только при условии, что во время переноса зарядов световой поток прерывается. Этого можно достичь применением механического затвора или импульсного осветителя.

# ПЗС с кадровым переносом

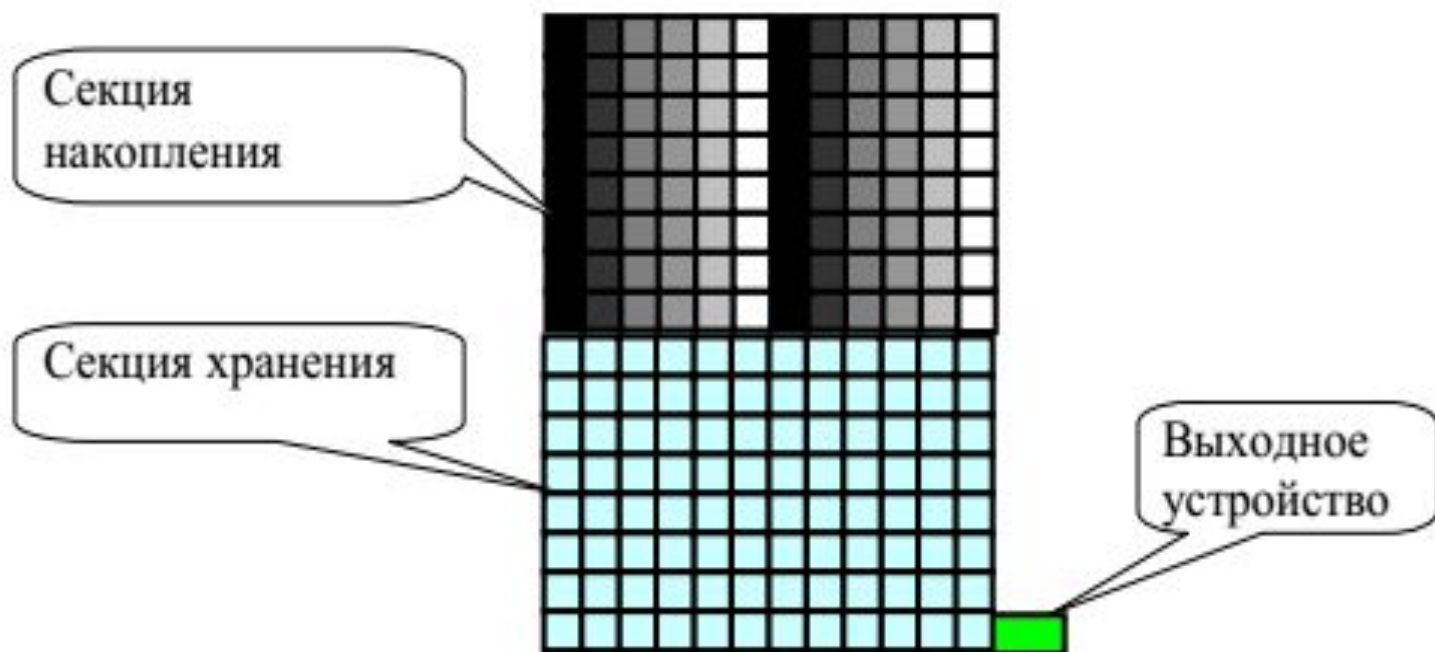


Рисунок 3. ПЗС с кадровым переносом



# ПЗС с кадровым переносом

ПЗС с кадровым переносом разделён на две секции: открытую свету секцию накопления и закрытую от света секцию хранения. Секция накопления накапливает пакеты световых зарядов, как односекционный ПЗС. По окончании экспозиции все строки зарядовых пакетов из секции накопления очень быстро (время переноса намного меньше времени экспозиции) переносятся в секцию хранения. Далее в секции накопления начинает формироваться новое изображение, а только что полученное закрыто от света и считывается чередованием циклов горизонтального и вертикального переноса, как в односекционном ПЗС.

Отметим, что во время быстрого кадрового переноса свет всё-таки попадает на светочувствительные ячейки, что вызывает смаз изображения. Смаз особенно заметен, когда в сюжете есть яркие детали. Окончательно избавиться от него можно, опять же, при помощи механического затвора или импульсного источника света.

# ПЗС с межстрочным переносом

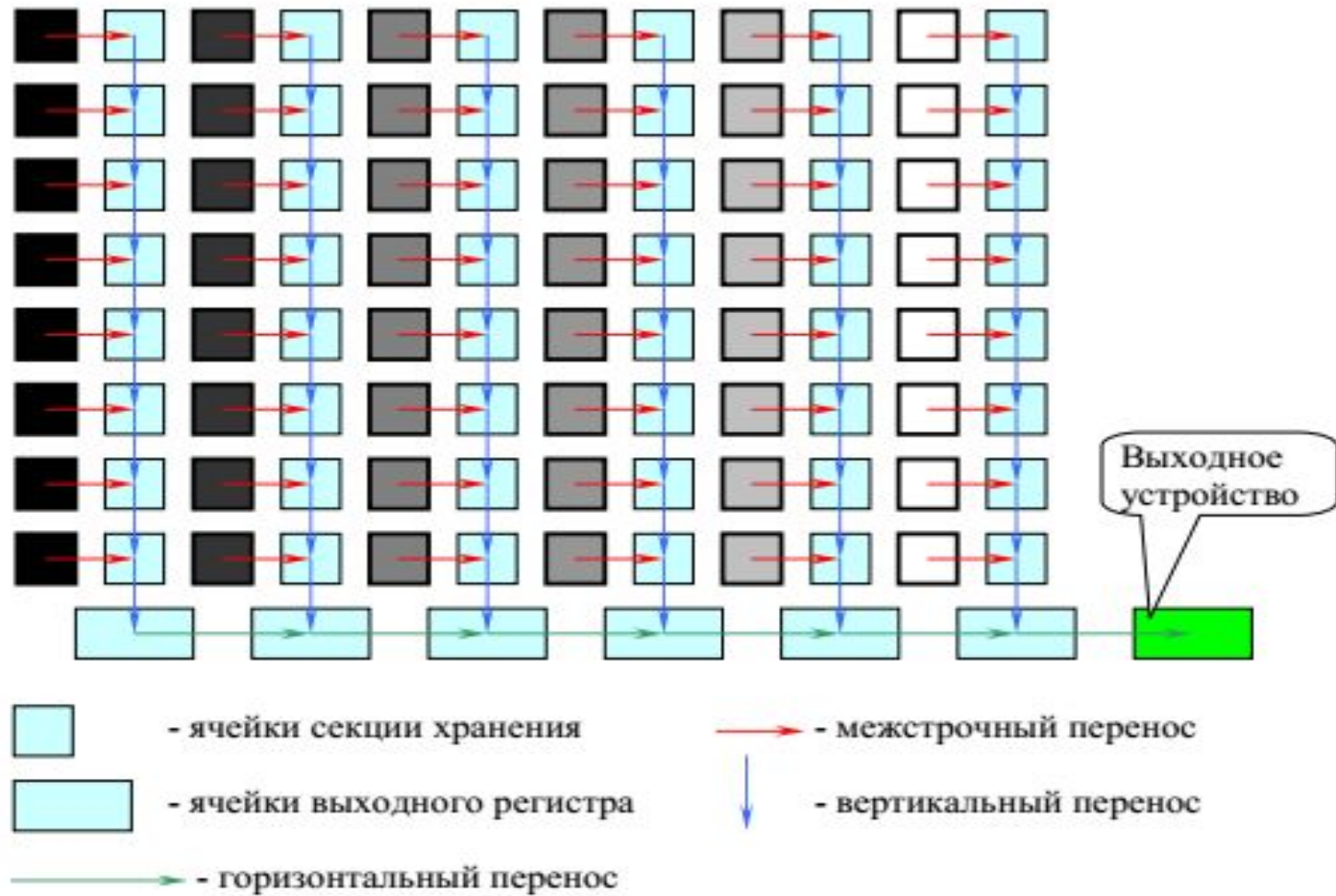


Рисунок 4. ПЗС с межстрочным переносом

# ПЗС с межстрочным переносом

В ПЗС с межстрочным переносом рядом с каждым столбцом светочувствительных ячеек располагается столбец ячеек, закрытых от света. Получается, что светочувствительные ячейки образуют секцию накопления, а закрытые от света – секцию хранения. По окончании экспозиции зарядовый пакет из каждой ячейки секции накопления переносится в соседнюю ячейку секции хранения (на рис.4 этот перенос показан красными стрелками). При такой организации время межсекционного переноса получается намного меньше, чем в приборах с кадровым переносом, и эффект смаза практически отсутствует. После окончания межсекционного переноса в секции накопления начинается формирование нового изображения, а изображение из секции хранения считывается так же, как в односекционном.

# КМОП

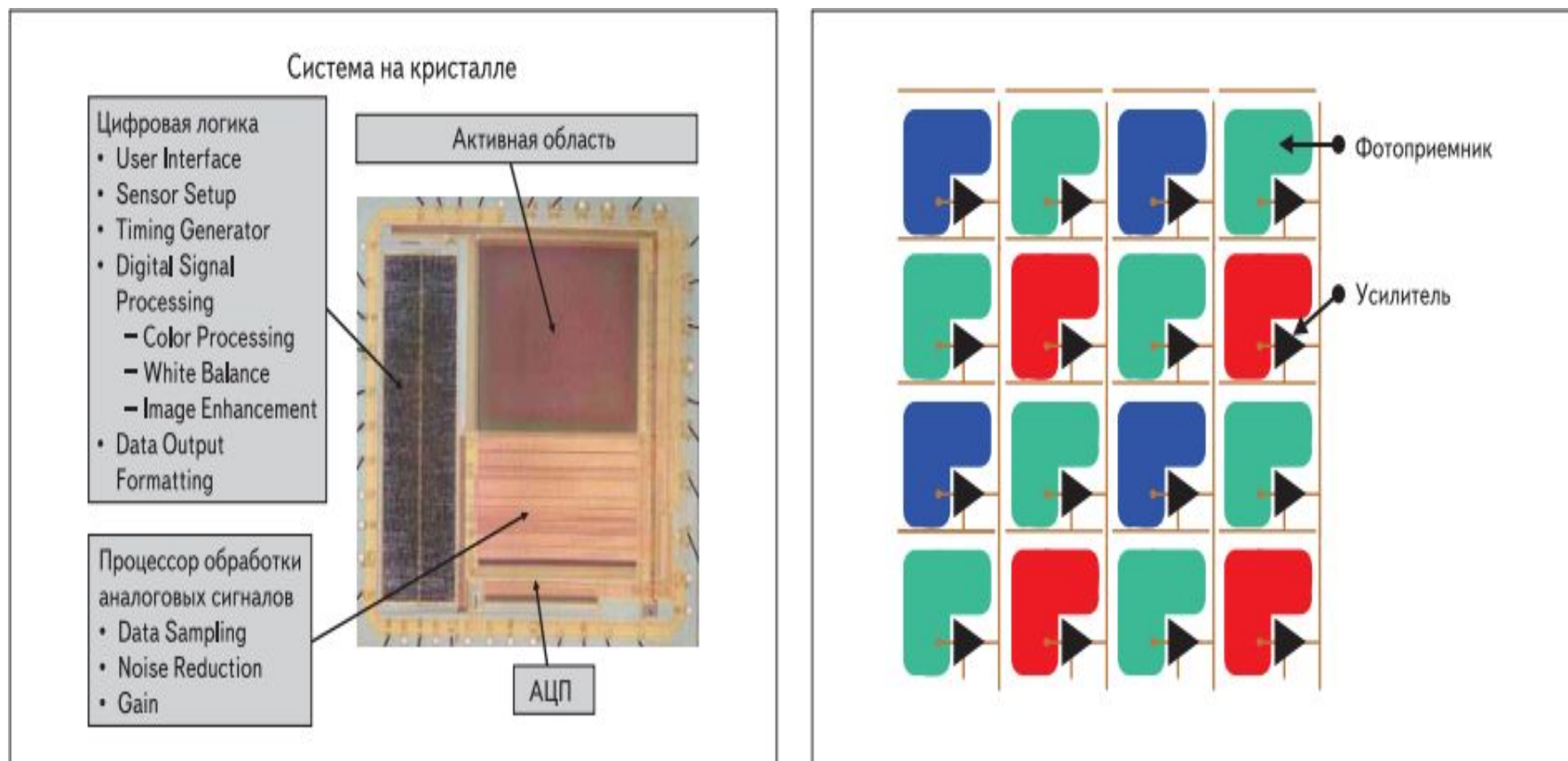


Рисунок 5. А - Архитектура КМОП-матрицы компании Micron Technology,  
Б – КМОП матрица.

# КМОП

Рассмотрим принцип действия КМОП-матриц. На Рисунок 5. А приведена архитектура сенсора компании Micron Technology. Не трудно заметить, что сенсор содержит помимо самой оптической матрицы дополнительные блоки, например АЦП (аналогово-цифровой преобразователь), логические устройства, интерфейс и др.

Участок, непосредственно воспринимающий оптическое излучение (пиксель), представлен на Рисунок 5. Б. Наличие у каждого пикселя своего собственного усилителя является очень существенным отличием от ПЗС-датчиков, которые не обладают такой возможностью интеграции. Кроме этого, с помощью простой XY-адресации можно считывать информацию не со всей структуры, а с определенной ее части или вообще отдельной области.

Полупроводниковая КМОП-матрица снабжена системой микролинз, каждая из которых располагается непосредственно над пикселем и фокусирует падающий свет на фотодетектор. С целью предотвращения попадания этого излучения на подложку, что может сгенерировать дополнительные заряды и привести к нежелательным наводкам, подложка защищена специальным непрозрачным металлическим слоем.

# Кадровый и скользящий затвор

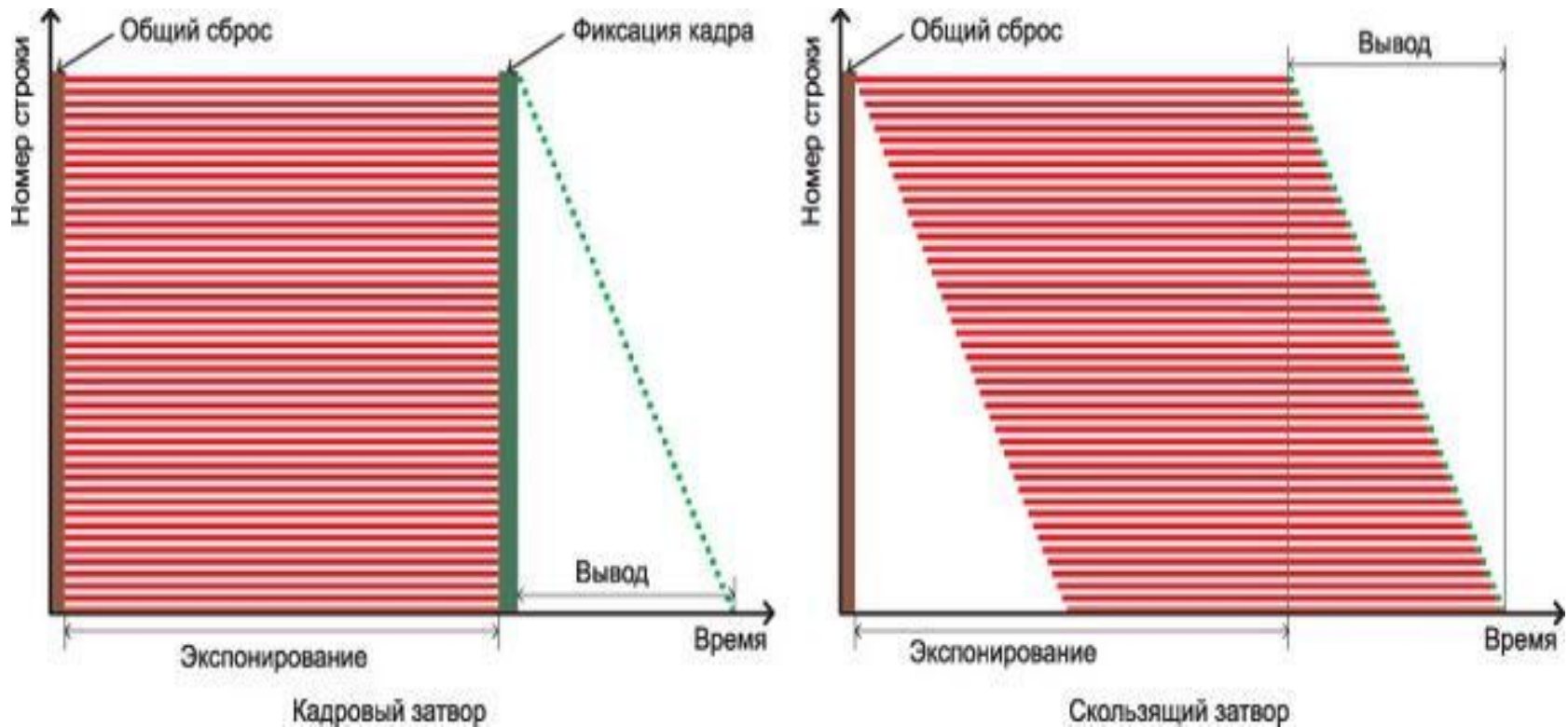


Рисунок 6. Принцип формирования изображения при кадровом и скользящем затворах

# Кадровый и скользящий затвор

Применительно к КМОП-датчикам различают два способа формирования изображения на кристалле или, что то же самое, два вида электронных затворов: «кадровый затвор» и «скользящий затвор». В кадровом затворе изображение на кристалле формируется одновременно для всех элементов изображения (пикселей, столбцов, строк). Свет накапливается в течение определенного времени экспонирования, но моменты начала и конца экспонирования едины для всей матрицы. В пленочной фотографии наиболее близким аналогом кадрового затвора является так называемый центральный затвор. При скользящем затворе изображение формируется не одновременно, а последовательно по строкам. Заметим, экспонирование осуществляется не строго построчно – одна строка за другой, а параллельно-последовательно – моменты начала экспонирования для соседних строк «стартуют» один за другим, а интервалы экспонирования соседних строк перекрываются. Для любых строк время экспонирования одинаково, но моменты начала и окончания экспонирования смещены «сверху – вниз». В пленочной фотографии наиболее близким аналогом является шторный фокальный затвор.

# Конвейерный режим

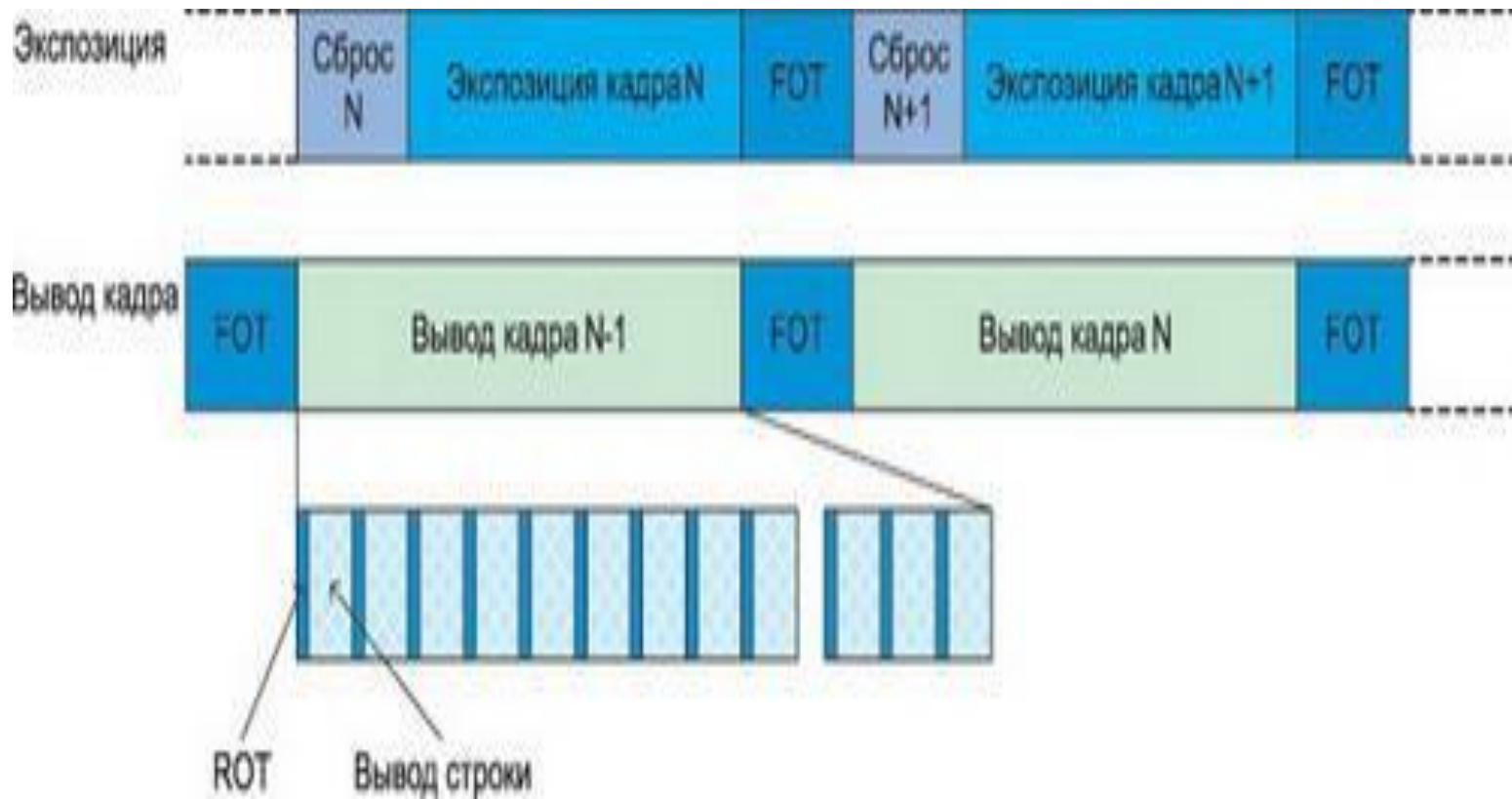


Рисунок 7. Временная диаграмма конвейерного режима (Master)



# Конвейерный режим

Кадровый затвор существует в двух модификациях: конвейерном (pipelined) и триггерном (triggered). В конвейерном режиме формирование очередного кадра и считывание предыдущего происходит параллельно. Каждый кадр начинается с временного интервала FOT (Frame Overhead Time – «добавленное время кадра»), в течение которого аналоговая величина на зарядном конденсаторе ячейки пикселя перезаписывается в ее запоминающий элемент. После этого заряд на конденсаторе сбрасывается и на нем вновь начинается накопление заряда (но это уже значение со следующего кадра). Считывание данных с запоминающего элемента происходит одновременно, последовательно, строка за строкой. На рисунке 7 представлена временная диаграмма конвейерного режима.

# Триггерный режим матрицы

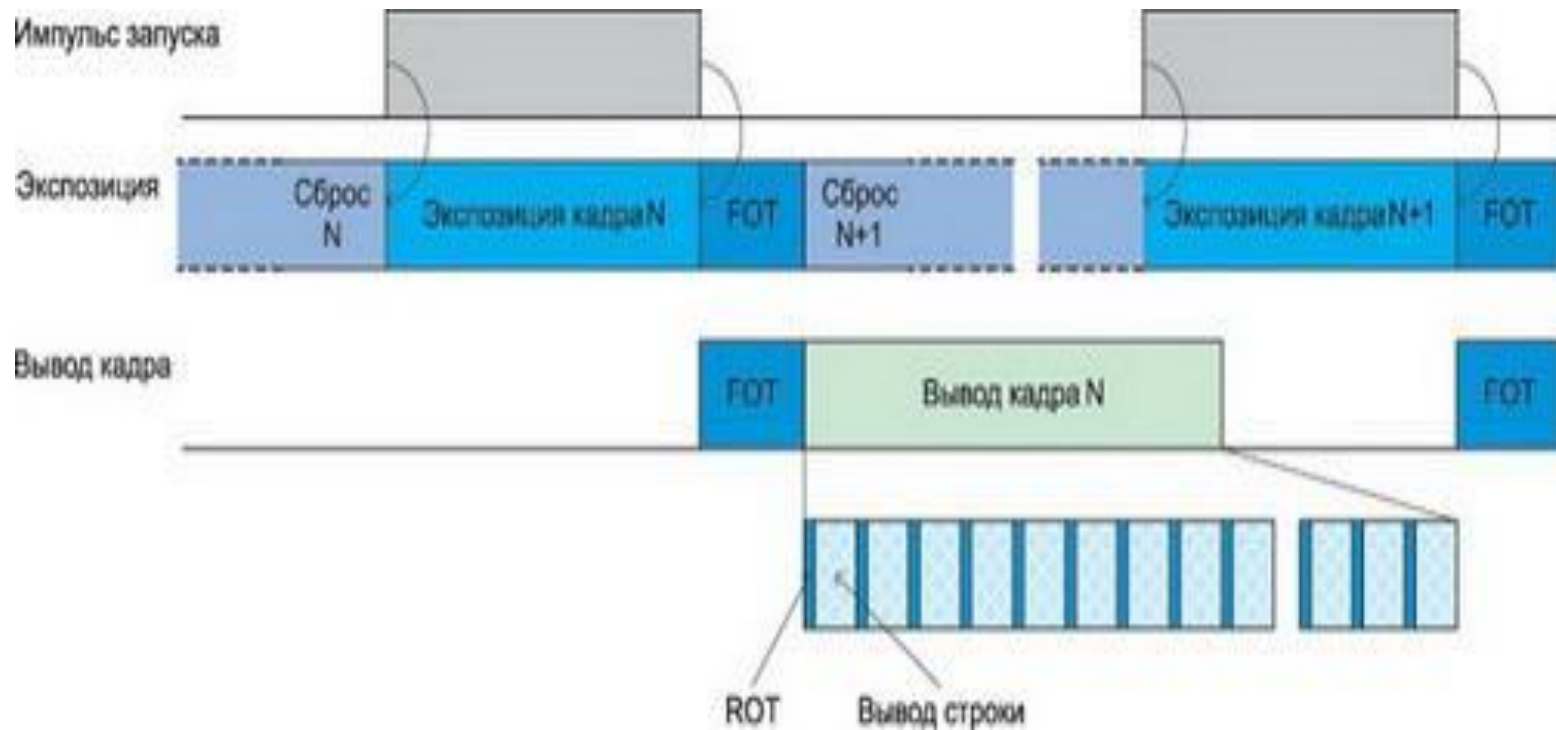


Рисунок 8. Временная диаграмма триггерного режима (Master)

# Триггерный режим матрицы

Триггерный режим матрицы – это режим ожидания, работа начинается по внешнему сигналу. Сначала происходит формирование изображения, а затем его считывание, после чего матрица вновь переходит в дежурный режим. Строго говоря, при определенной частоте сигналов запуск формирования нового кадра и считывание предыдущего могут накладываться друг на друга без потерь кадров, но эта ситуация является частным случаем. Конвейерный режим в общем случае предназначен для формирования видеопоследовательности кадров, а триггерный – для одиночной съемки (то есть, фотографирования). На рисунке 8 представлена временная диаграмма триггерного режима.

# Конвейерный и триггерный режим

В конвейерном, и в триггерном режиме существуют две модификации – ведущего (Master) и ведомого (Slave) устройств. В состоянии ведущего устройство работает автономно, время экспозиции определяется установками внутренних регистров, а начало экспонирования – внутренним генератором (в конвейерном режиме) или внешним сигналом (в триггерном). В состоянии ведомого устройства матрица работает по внешнему сигналу: его фронт начинает процесс формирования кадра, а его продолжительность определяет время экспонирования. Этот режим применяется при необходимости совместной и согласованной работы устройства, содержащего два и более КМОП-датчиков изображения. Примером таких устройств являются цифровые фотоаппараты для аэро- и космической фотосъемки, где изображение формируется одновременно на значительном количестве датчиков.

Режим скользящего затвора по функциональности эквивалентен триггерному режиму ведущего устройства, с той разницей, что запуск может осуществляться как по внешнему сигналу, так и от внутреннего генератора (в зависимости от установок программно доступных регистров).

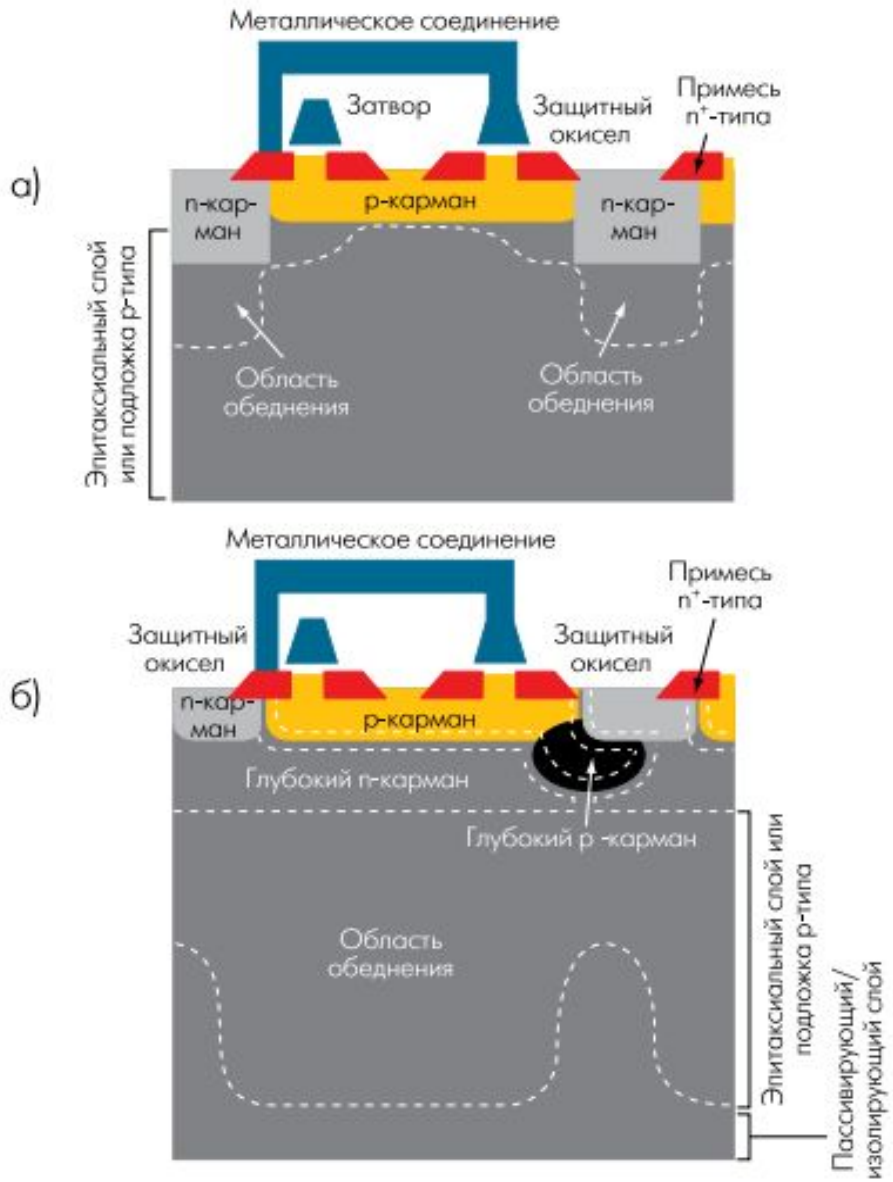


Рисунок 9. Структуры обычного КМОП-датчика А и датчика JET с глубокими р- и n-карманами Б

# Структуры КМОП-датчика JET с глубокими p- и n-карманами

Пиксел обычного датчика изображения содержит диод, образованный карманом n-типа и эпитаксиальным слоем p-типа и через n<sup>+</sup>-область присоединенный к истоку МОП-транзистора сброса (рисунок 9А). Транзистор сброса и связанный с ним истоковый повторитель представляют собой n-канальные МОП-транзисторы, размещенные в кармане p-типа. При напряжении питания МОП-транзисторов 3–5 В (и, соответственно, при напряжении диода 2–3 В) глубина залегания области обеднения p-n-перехода слишком мала для того, чтобы предотвратить горизонтальную диффузию фотовозбужденных носителей в необедненную эпитаксиальную область. Чтобы увеличить глубину залегания обедненной области, необходимо подавать на диод обратное напряжение, равное ~50 В, что недопустимо, поскольку напряжение питания транзисторов пиксела должно составлять всего 3–5 В.

Специалисты JET предложили легировать структуру каждого пиксела двумя примесями для формирования дополнительных глубоких карманов n- и p-типа. В такой структуре фотодиод формируют глубокий карман n-типа и эпитаксиальный слой или подложка p-типа. Анод диода (n-область) через обычный n-карман присоединен к n<sup>+</sup>-области истока транзистора сброса. При этом оба МОП-транзистора (сброса и истоковый повторитель) расположены, как в обычном датчике, в p-кармане (рисунок 9Б).

# Черный кремний

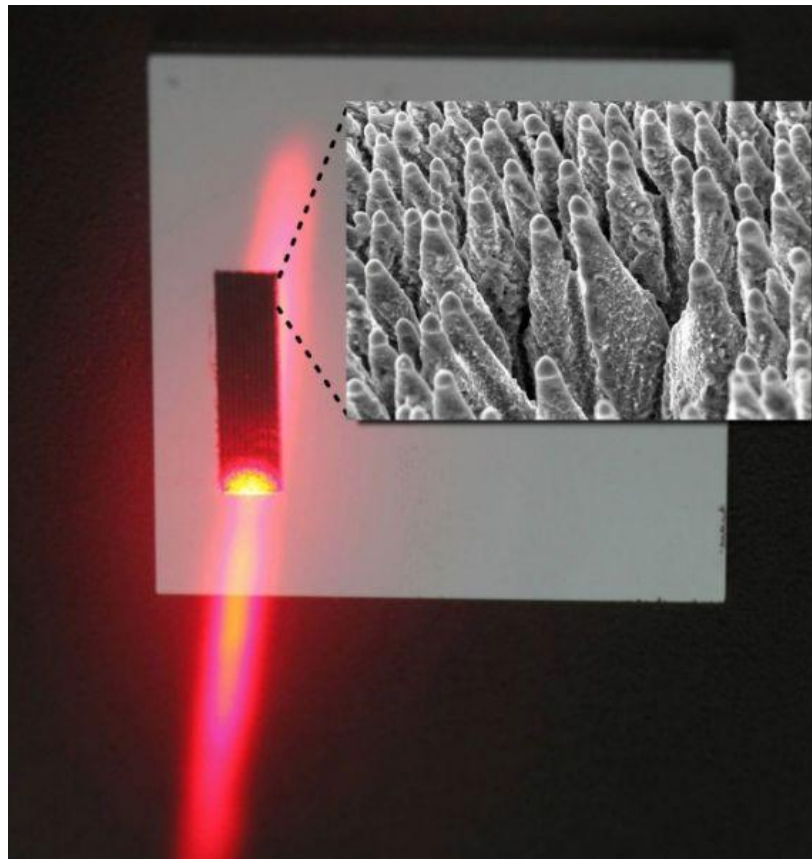


Рисунок 10. "черный кремний"

# Черный кремний

"Черный кремний" – материал, который, в 100–500 раз превосходит обычный кремний по светочувствительности. Ученые Гарвардского университета обнаружили, что при воздействии на кремний мощным лазерным излучением с длительностью несколько фемтосекунд в присутствии газообразного гексафторида серы поверхность материала оказывается "украшенной" гирляндами небольших конусообразных выступов. Такой шероховатый кремний поглощает почти весь падающий на него свет и кажется черным. Первоначально предполагалось, что высокая чувствительность черного кремния обусловлена многократным соударением фотонов с выступами, в результате чего возрастает вероятность их поглощения и перехода электронов из валентной зоны в зону проводимости. Однако теоретически энергия ИК-излучения, на которое также реагировал черный кремний, недостаточна для того, что вызвать переход электронов из одной зоны в другую зону с большей энергией. ИК-излучение должно проходить через материал, не взаимодействуя с ним. По-видимому, воздействие лазерного импульса в парах гексафторида серы приводит к необычно высокому уровню легирования серой тонкого слоя вершущек выступов. Для переброса электронов, возбуждаемых в таких слоях, в зону проводимости требуется значительно меньше энергии, чем обычно. Таким образом, обработанный кремний может поглощать больше света видимого диапазона, а также, в отличие от традиционно используемого в полупроводниковой электронике кремния, поглощать и ИК-излучение. При этом подача небольшого напряжения на черный кремний приводит к тому, что фотон высвобождает значительно больше электронов в валентной зоне, т.е. материал сильнее реагирует на слабый сигнал.



Спасибо за внимание

