

Общие сведения



Общий вид ПЗС-матрицы

Фоточувствительная ПЗС (прибор с зарядовой связью) матрица (англ. CCD - charge-coupled device) - это прибор с переносом заряда, предназначенный для преобразования энергии оптического излучения в электрический сигнал, в котором зарядовые пакеты перемещаются к выходному устройству вследствие направленного перемещения потенциальных ям, и фоточувствительные элементы организованы в матрицу по строкам и столбцам. Преобразование осуществляется с помощью большого количества фотодиодов, расположенных в плоскости матрицы (так называемых пикселей). Отдельно взятый элемент чувствителен во всем видимом спектральном диапазоне, поэтому над фотодиодами цветных ПЗС-матриц используется светофильтр, который пропускает только один из трёх цветов: красного (Red) ■, зелёного (Green) ■, синего (Blue) ■ или жёлтого (Yellow) ■, пурпурного (Magenta) ■, бирюзового (Cyan) ■. А в свою очередь в чёрно-белой ПЗС-матрице таких фильтров нет.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПИКСЕЛЯ



Общий вид пикселя в разрезе

Пиксель состоит из p-подложки, покрытой прозрачным диэлектриком, на который нанесён светопроницающий электрод, формирующий потенциальную яму.

Над пикселем может присутствовать светофильтр (используется в цветных матрицах) и собирающая линза (используется в матрицах, где чувствительные элементы не полностью занимают поверхность).

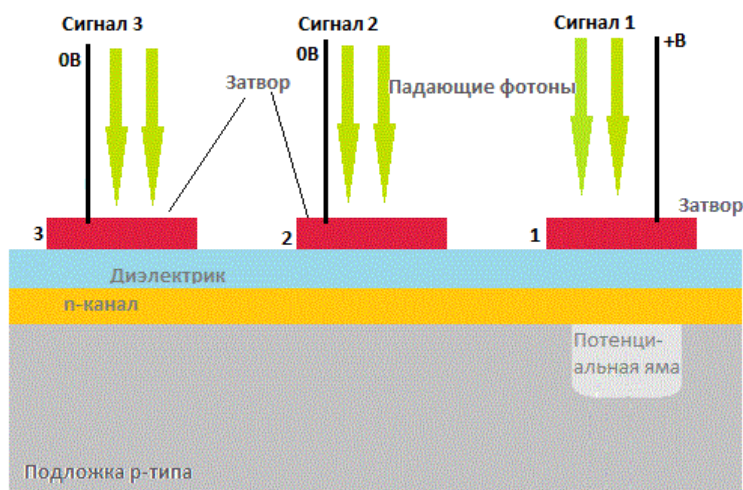
На светопроницающий электрод, расположенный на поверхности кристалла, подан положительный потенциал. Свет, падающий на пиксель, проникает вглубь

полупроводниковой структуры, образуя электрон-дырочную пару. Образовавшиеся электрон и дырка растаскиваются электрическим полем: электрон перемещаются в зону хранения носителей (потенциальную яму), а дырки перетекают в подложку.

Для пикселя присущи следующие характеристики:

- Ёмкость потенциальной ямы - это количество электронов, которое способна вместить потенциальная яма.
- Спектральная чувствительность пикселя - зависимость чувствительности (отношение величины фототока к величине светового потока) от длины волны излучения.
- Квантовая эффективность (измеряется в процентах) - физическая величина, равная отношению числа фотонов, поглощение которых вызвало образование квазичастиц, к общему числу поглощённых фотонов. У современных ПЗС матриц этот показатель достигает 95%. Для сравнения, человеческий глаз имеет квантовую эффективность порядка 1%.
- Динамический диапазон - отношение напряжения или тока насыщения к среднему квадратичному напряжению или току темнового шума. Измеряется в дБ.

УСТРОЙСТВО ПЗС-МАТРИЦЫ И ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА



Общий вид трёхфазного регистра сдвига

ПЗС-матрица разделена на строки, а в свою очередь каждая строка разбита на пиксели. Строки разделены между собой стоп слоями (p^+), которые не допускают перетекания зарядов между ними. Для перемещения пакета данных используются параллельный, он же вертикальный (англ. VCCD) и последовательный, он же горизонтальный (англ. HCCD) регистры сдвига.

Простейший цикл работы трёхфазного регистра сдвига начинается с того, что на первый затвор подается положительный потенциал, в результате чего образуется яма, заполненная образовавшимися электронами. Затем на второй затвор подадим потенциал, выше, чем на первом, вследствие чего под вторым затвором образуется более глубокая потенциальная яма, в которую перетекут электроны из под первого затвора. Чтобы продолжить передвижение заряда следует уменьшить значение потенциала на втором затворе, и подать больший потенциал на третий. Электроны перетекают под третий затвор. Данный цикл продолжается от места накопления до непосредственно считывающего горизонтального резистора. Все электроды

горизонтального и вертикального регистров сдвига образуют фазы (фаза 1, фаза 2 и фаза 3).

Классификация ПЗС-матриц по цветности:

- Чёрно-белые
- Цветные

Классификация ПЗС-матриц по архитектуре:

Зелёным цветом обозначены фоточувствительные ячейки, серым - непрозрачные области.

Для ПЗС-матрицы присущи следующие характеристики:

- Эффективность передачи заряда - отношение количества электронов в заряде в конце пути по регистру сдвига к количеству в начале.
- Коэффициент заполнения - отношение площади заполненной светочувствительными элементами к полной площади светочувствительной поверхности ПЗС-матрицы.
- Темновой ток - электрический ток, который протекает по фоточувствительному элементу, в отсутствие падающих фотонов.
- Шум считывания - шум, возникающий в схемах преобразования и усиления выходного сигнала.

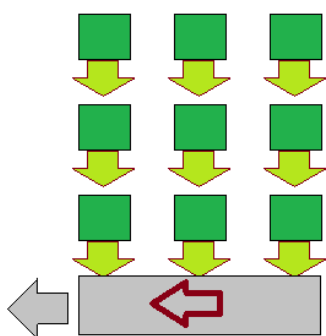
Матрицы с полнокадровым переносом (англ. full-frame).

Преимущества:

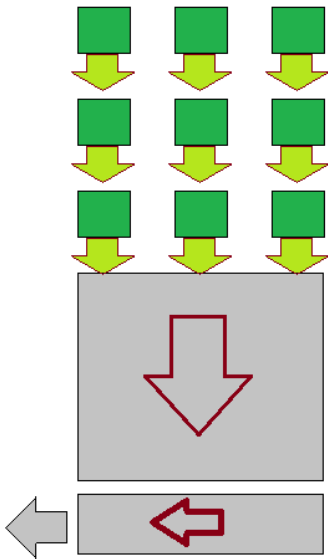
- Простота технологического цикла;
- Возможность занять 100% поверхности светочувствительными элементами.

Недостатки:

- При считывании данных следует перекрывать затвором источник света, чтобы избежать появления эффекта смазывания;
- Частота считывания ограничена скоростями работы последовательного и параллельного регистров сдвига. От этого же зависит интервал перекрытия матрицы затвором.



Матрицы с кадровым переносом. (англ. frame transfer).



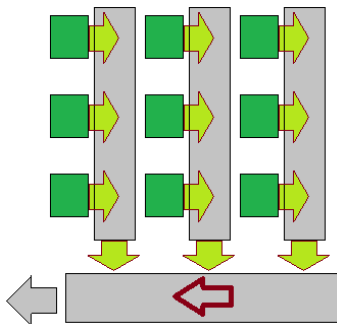
Преимущества:

- Возможность занять 100% поверхности светочувствительными элементами;
- Время считывания ниже, чем у матрицы с полнокадровым переносом;
- Смазывание меньше, чем в ПЗС-матрице с полнокадровым переносом;
- Имеет преимущество рабочего цикла по сравнению с полнокадровой архитектурой: ПЗС-матрица с кадровым переносом всё время собирает фотоны.

Недостатки:

- При считывании данных следует перекрывать затвором источник света, чтобы избежать появления эффекта смазывания;
- Увеличен путь перемещения заряда, что негативно сказывается на эффективности передачи заряда;
- Изготовление и производство данных матриц дороже, чем устройств с полнокадровым переносом.

Матрицы с межстрочным переносом или матрицы с буферизацией столбцов (англ. Interline-transfer).



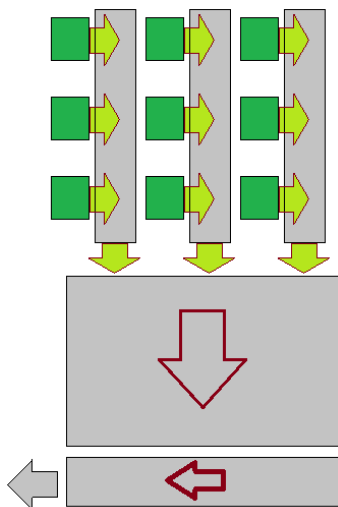
Преимущества:

- Процессы накопления и переноса заряда пространственно разделены;
- Заряд из элементов накопления передаётся в закрытые от света ПЗС-матрицы регистры переноса;
- Перенос заряда всего изображения осуществляется за 1 такт;
- Нет необходимости применять затвор;
- Отсутствует смазывание.

Недостатки:

- Возможность заполнить поверхность чувствительными элементами не более чем на 50%.
- Скорость считывания ограничена скоростью работы регистра сдвига;
- Разрешающая способность ниже, чем у ПЗС-матриц с кадровым и полнокадровым переносом.

Матрицы со строчно-кадровым переносом или матрицы с буферизацией столбцов (англ. interline).



Преимущества:

- Процессы накопления и переноса заряда пространственно разделены;
- Заряд из элементов накопления передаётся в закрытые от света ПЗС-матрицы регистры переноса;
- Перенос заряда всего изображения осуществляется за 1 такт;
- Отсутствует смазывание;
- Интервал между экспонированиями минимален и подходит для записи видео.

Недостатки:

- Возможность заполнить поверхность чувствительными элементами не более чем на 50%;
- Разрешающая способность ниже, чем у ПЗС-матриц с кадровым и полнокадровым переносом;
- Увеличен путь перемещения заряда, что негативно сказывается на эффективности передачи заряда.