# Датчики изображения

*(часть 2)*

**Ольга Гуреева (Москва)**

**Во второй части статьи рассматриваются принципы управления датчиками, основные разновидности датчиков и методы получения изображения с помощью ПЗС- и КМОП-датчиков различных архитектур.**

## Управление передачей заряда в ПЗС

Электроды – проводники, по которым ток поступает в устройство либо покидает его – играют роль электронных ворот – затворов. В зависимости от выполняемых функций затворы в ПЗС-датчике имеют несколько названий – пропускающие затворы (transfer gates), экспонирующие затворы (exposure control gates), затворы переполнения (overflow gates).

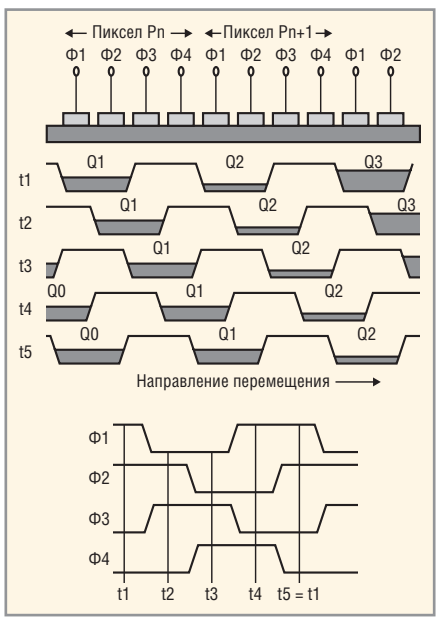



**Рис. 8. Четырёхфазный ПЗС**

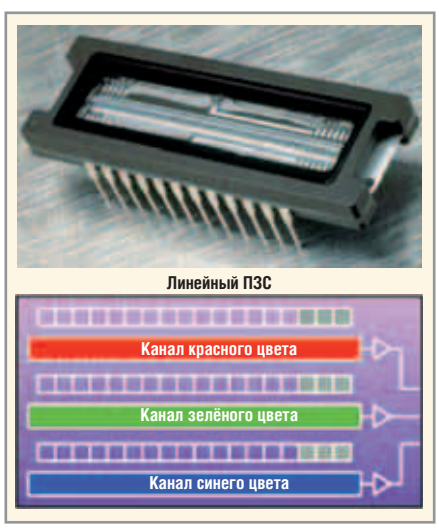



**Рис. 9. Линейные ПЗС компании KODAK**

В пропускающих затворах на проводник подаётся тактовый импульс различного напряжения, в результате чего заряд способен перемещаться от одного пиксела к другому, строчки зарядов смещаются вниз, и происходит последовательное считывание зарядов с нижней строчки.

Экспонирующий затвор ПЗС-датчика, управляемый напряжением, влияет на время экспозиции, то есть на продолжительность получения пикселом фотонов и преобразования их в электроны.

Затворы переполнения используются для предотвращения рассеивания электронов и уменьшения воздействия зарядов соседних пикселов.

Наиболее распространённым материалом для производства затворов является поликристаллический кремний. В некоторых случаях используются и другие материалы. Компания KODAK, например, в ПЗС-датчиках KAF-16803 использует сплав индия и оксида олова. Считается, что подобная технология позволяет улучшить процесс захвата фотонов в пикселах, так как этот сплав прозрачнее поликристаллического кремния. Одним из нежелательных побочных эффектов использования поликристаллического кремния в качестве затвора является его свойство отражать либо поглощать фотоны определённых длин волн.

Основной функцией затворов является управление передачей зарядов в ПЗС.

Рассмотрим управление передачей зарядов на примере «четырёхфазного» ПЗС (см. рис. 8), где на каждый пиксел приходится четыре электрода.

Большинство ПЗС являются «многофазными» устройствами. Количество электродов/фаз на пиксел зависит от конкретной модели ПЗС-датчика. Вначале, на первой фазе, как и на второй, третьей и четвертой, каждый пиксел получает одинаковое напряжение. Далее, если на электрод поступает высокое напряжение, под ним в кремниевой подложке создаётся зарядовый колодец. Если поступает низкое напряжение, создаётся потенциальный барьер, который позволяет удерживать электроны (данные изображения) в зарядовом колодце. Таким образом, при изменении входного напряжения, подаваемого на соседние пикселы в определённые моменты времени, зарядовые колодцы перемещаются попиксельно, то есть создаётся эффект зарядовой связи.

Процесс начинается с первого такта выключением первого и второго электродов и включением третьего и четвертого. На втором такте включается первый электрод и выключается третий. На третьем такте включается второй электрод и выключается четвёртый. На последнем четвёртом такте включается третий и выключается первый электрод следующего пиксела. Затем процесс повторяется снова. Таким образом, заряд продвигается по датчику.

Четырёхфазная архитектура достаточно популярна у производителей ПЗС-датчиков, так как в технологическом процессе используется всего два слоя материалов. При четырёхфазной архитектуре используется, по крайней мере, 50% зарядового колодца для хранения информации, и величина зарядной ёмкости наивысшая. При трёхфазной архитектуре для хранения информации используется только 30% зарядового колодца.

## Типы ПЗС-датчиков

На сегодняшний день существуют четыре основных типа ПЗС-датчиков:

- линейные (Linear);
- чересстрочные (Interline);
- полноформатные (Full frame);
- с покадровым переносом (Frame transfer).

Линейные ПЗС (см. рис. 9) состоят из единственной строки пикселов. То есть все пикселы датчика расположены на одной линии.

Для получения изображения с помощью линейной ПЗС необходимо

отсканировать плоскость изображения, выстраивая «картинку» строка за строкой (см. рис. 10). Для получения такого изображение требуется больше времени, чем при получении всего изображения одновременно (см. рис. 11).

Необходимо заметить, что в устройствах с линейным ПЗС необходимо использовать шаговый двигатель. Это приводит к шумам в получаемом изображении из-за погрешностей совместной работы механических и электронных компонентов. По этой причине линейные ПЗС сегодня практически нигде не используются, за исключением планшетных сканеров и цифровых блоков-насадок к плёночным среднеформатным камерам.

Остальные типы ПЗС-датчиков относятся к матричным ПЗС, так как состоят из нескольких рядов и колонок, формирующих прямоугольную матрицу.

### Чересстрочные ПЗС

В чересстрочных ПЗС (см. рис. 12) каждый пиксел обладает как светочувствительным элементом, так и областью накапливания заряда. Область накапливания заряда формируется в результате экранирования или маскирования части пиксела от света и используется только для переноса заряда. Экранированные части пиксела формируют вертикальный канал, который передаёт заряд сверху вниз к горизонтальному регистру. Можно сказать, что эта вертикальная «затенённая» область в датчике и называется ПЗС, так как именно в ней осуществляется зарядовая связь.

Для того чтобы выделить именно эту область ПЗС-датчика, её называют вертикальным прибором с зарядовой связью (VCCD). Соответственно, горизонтальный сдвиговый регистр называют горизонтальным прибором с зарядовой связью (HCCD). Область, на которую падает свет, называется апертурой (aperture).

Чересстрочная развёртка позволяет электрическому заряду пиксела быстро сдвигаться на соседнюю накапливаемую область заряда, по которой он, строчка за строчкой, перемещается вниз к горизонтальному сдвиговому регистру. Быстрое перемещение заряда в накапливаемую область позволяет зарядовому колодцу пиксела принимать следующую порцию фотонов. В цифровых камерах такая быстрая готовность апертуры пиксела принимать следующий кадр изображения позволяет получать потоковое видео.

Минусом чересстрочной технологии является значительное уменьшение светочувствительной области, потому что тем самым ограничивается возможная плотность пикселов (разрешение датчика). Для устранения этого недостатка в ПЗС-датчиках используются микролинзы, позволяющие лучшим образом направлять фотоны в светочувствительные области. Надо отметить, что это несколько усложняет технологический процесс производства датчиков. Чересстрочные ПЗС-датчики сегодня используются преимущественно в любительских цифровых камерах.

### Полноформатные ПЗС

В полноформатных ПЗС (см. рис. 13) пиксел служит только для «захвата» изображения.

Соответственно, во время передачи заряда пиксел не должен принимать фотоны. Для того чтобы предотвратить попадание фотонов на пиксел в тот момент, когда передаётся заряд, и тем самым не размазать изображение, за объективом камеры находится механический затвор. Единственный случай, когда механический затвор оказывается ненужным – это съёмка с контролированием выдержки и количества света внешними приборами – например, при студийном стробоскопическом источнике света.

Полноформатные ПЗС имеют высокое разрешение, поэтому они нашли своё применение в дорогих профессиональных камерах.

### ПЗС с покадровым переносом заряда

ПЗС этого типа похожи на полноформатные ПЗС. Основное отличие заключается в том, что в ПЗС с покадровым переносом для временного хранения заряда отводится половина матрицы. Эта область матрицы называется матрицей хранения. Как только в светочувствительных элементах матрицы накапливается заряд, он быстро перемещается в матрицу хранения. Такой тип матриц не требует использования механического затвора, что позволяет очень быстро захватывать изображение. Тем не менее заряд не всегда полностью успевает

**Рис. 10. Получение изображения линейным ПЗС**

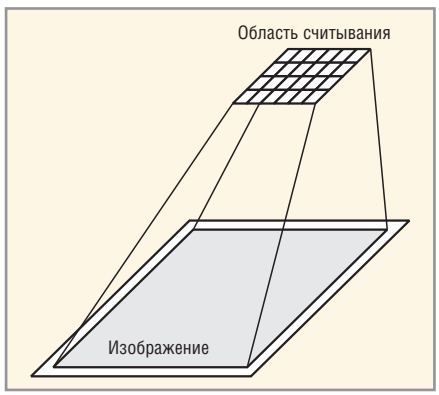



**Рис. 11. Одновременное получение изображения**

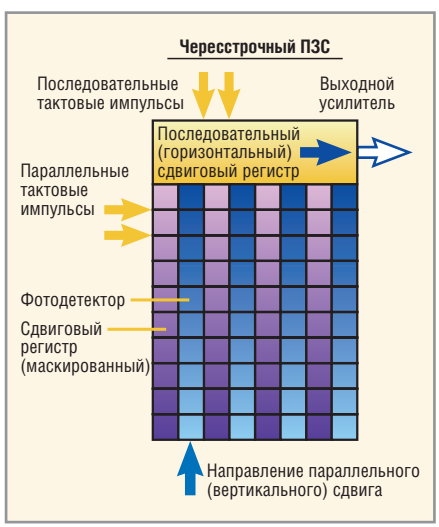



**Рис. 12. Чересстрочная архитектура**

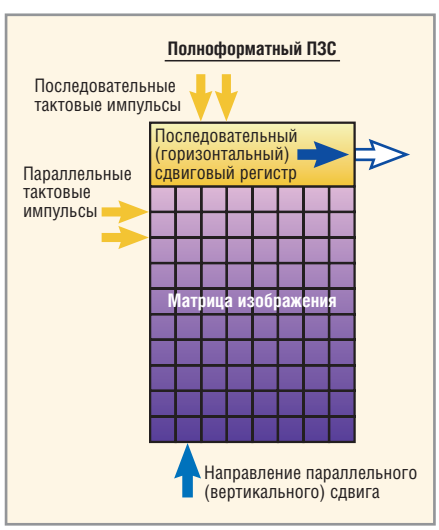



**Рис. 13. Полноформатная архитектура**

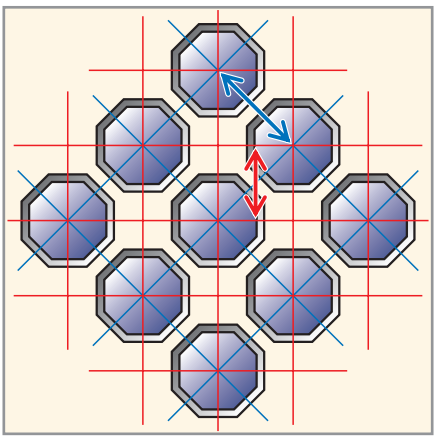


**Рис. 14. Сотовая архитектура ПЗС-датчика компании Fuji**

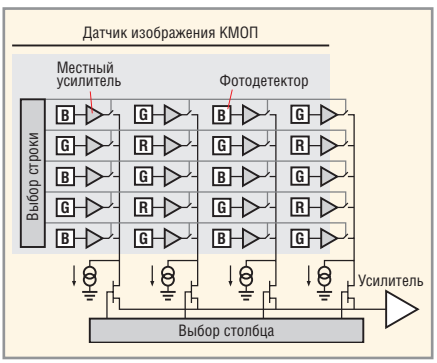



**Рис. 15. КМОП-архитектура**

переместиться в матрицу хранения до момента начала накапливания следующего заряда в светочувствительных элементах датчика. То есть изображение может получиться размытым.

К минусам ПЗС с покадровым переносом заряда относится больший размер датчика, а значит, и более высокая цена, так как на кристалле кроме светочувствительных элементов дополнительно располагается матрица хранения.

Поэтому чересстрочные ПЗС являются более совершенными, так как могут одновременно выполнять захват изображения и передачу заряда с минимальным размытием.

## Разновидности ПЗС-датчиков

Несмотря на то что существует не так много производителей ПЗС-датчиков, конкуренция на этом рынке достаточно жёсткая. Каждый производитель работает над изменением и улучшением имеющихся архитектур ПЗС. Именно с помощью уникальных различий в ПЗС-датчиках идёт борьба за потребителя.

Например, компания Fuji в своей SuperCCD использует уникальную сотовую архитектуру, в которой применяются восьмиугольные пикселы (см. рис. 14).

Такая архитектура увеличивает рабочую поверхность кристалла кремния, и, соответственно, увеличивается плотность пикселов в ПЗС. Также восьмиугольная форма пикселов увеличивает площадь светочувствительной поверхности. По утверждениям Fuji, сотовая архитектура позволяет улучшить соотношение сигнал/шум, а также увеличить динамический диапазон.

Помимо рассмотренной выше чересстрочной архитектуры существует также построчная (прогрессивная) ПЗС-архитектура. То есть данные считываются с датчика одним из двух методов – прогрессивным или чересстрочным, что напоминает типы развёртки в телевизионной технике. Эти архитектуры отличаются порядком поступления колонок данных ПЗС на горизонтальный сдвиговый регистр. В прогрессивном режиме колонки считываются последовательно друг за другом, по мере считывания изображения. В чересстрочном режиме сначала считываются все чётные колонки, затем нечётные, после чего изображение восстанавливается в устройстве обработки изображений. Чересстрочные ПЗС свыше 1 Мп обычно считывают колонки чересстрочным методом, при котором один ряд электродов управляет вертикальной передачей заряда из двух строчек пикселов.

Можно предположить, что идеальной архитектурой датчика изображения станет та, в которой сочетались бы качество изображения ПЗС и «интеллект» КМОП. Существующая технология пока на такое не способна, хотя некоторые шаги в этом направлении делаются.

Компании KODAK удалось создать чересстрочный ПЗС-датчик KAI 2020, который производит некоторую обработку изображения непосредственно на кристалле. На кристалле расположен формирователь тактовых импульсов для выполнения двукратной коррелированной выборки. Устройство вычисляет значение «темнового» тока (тот уровень шумов, который присутствует, даже когда свет не попадает на датчик) и вычитает его из имеющегося изображения. Это распространённый метод, используемый в КМОП-датчиках для нейтрализации шумов.

Компания Philips в свое время предложила архитектуру True Frame для ПЗС с покадровым переносом заряда. Архитектуру True Frame в своих датчиках применяла также компания Sanyo. Отличительная особенность этой архитектуры заключается в том, что матрица хранения закрывается от света металлическим слоем и поэтому хранит лишь пятую часть полной зарядовой ёмкости пиксела. Эта особенность используется только для предварительного просмотра получаемого изображения на ЖК-экране и для получения информации о сцене для выставления выдержки и других настроек камеры. Когда камера находится в режиме предварительного просмотра или передвигается для выбора объекта съёмки, электроны быстро перемещаются в матрицу хранения, причём четыре пятых из них рассеиваются в кремниевой подложке. В том случае, когда камера находится в режиме съёмки, электроны быстро считываются, причём ни один из них в матрицу хранения не попадает.

Считывание производится последовательным методом, поэтому такой датчик заметно выигрывает в скорости. Обычный чересстрочный датчик считывает изображение со скоростью 5 – 10 кадров в секунду. Датчик True Frame с покадровым переносом заряда имеет показатель 30 – 60 кадров в секунду. Следует заметить, что в данном случае используется механический затвор, иначе получаемое изображение было бы размыто – датчик не успевал бы отдавать заряд до поступления новой порции фотонов.

## КМОП-датчики

КМОП-технология позволяет реализовать большое количество функций непосредственно на кремниевом кристалле. Помимо преобразования фотонов в электроны и их передачи, датчик КМОП может обрабатывать изображение, выделять контур, минимизировать шумы и выполнять аналого-цифровые преобразования (см. рис. 15).

Также могут создаваться программируемые КМОП-датчики, на основе которых можно проектировать очень гибкие многофункциональные устройства. Широкий набор функций на одном кристалле и меньшее энергопотребление – основное преимуще-

ство технологии КМОП по сравнению с ПЗС.

При использовании КМОП-датчиков сокращается общая площадь, занимаемая электронными компонентами в устройстве камеры, и уменьшается количество выделяемого тепла, которое отрицательно сказывается на работе электроники.

»Прорыв» КМОП-технологий наступил в начале девяностых годов двадцатого века, когда лаборатория реактивных двигателей NASA успешно применила активные пиксельные датчики.

С точки зрения теории всё было понятно давно, а вот практическое воплощение технологии стало возможным лишь в 1993 г. В этой технологии у каждого пиксела появился свой считывающий транзисторный усилитель. Благодаря этому заряд преобразовывался в напряжение непосредственно на пикселе. Также появилась возможность произвольного доступа к пикселу, аналогично оперативной памяти.

Считывание заряда с активных пикселов КМОП-датчика происходит по параллельной схеме, при которой сигнал с каждого пиксела или колонки пикселов считывается напрямую. Такой произвольный доступ позволяет КМОП-датчику считывать не всю матрицу целиком, а отбирать группы пикселов. Этот метод получил название оконного считывания (windowing readout). Таким образом, при захвате изображения КМОП-датчик может уменьшить его размер. Это существенно увеличивает скорость получения изображения, в отличие от ПЗС, в котором весь заряд выходит через один-единственный сдвиговый регистр. Помимо усилителей, расположенных у каждого пиксела, схемы усиления могут быть расположены в любой области кристалла, что позволяет создавать несколько каскадов усиления по всему датчику. Так, например, в условиях пониженного освещения усилители могут повысить чувствительность датчика и полностью «вытянуть» изображение, а в иных случаях усилить лишь определённые цвета – для баланса белого или для получения специальных эффектов.

Но у метода есть один существенный недостаток. Дополнительные элементы, размещённые на кристалле, создают помехи. К помехам приводят токи утечки транзисторов, диодов, остаточный заряд. Устранением помех исследователи занимаются постоянно.

При этом нельзя недооценивать основное преимущество КМОП-датчиков – они позволяют непосредственно на кристалле устранять шум темнового тока до того, как заряд передаётся с датчика.

На сегодняшний день существует множество различных архитектур КМОП-датчиков, что объясняется возможностью выполнять большое число разнообразных функций.

*Продолжение следует*

## Литература


1. *Curtin D.P.* Image sensors. www.shortcourses.com.
2. *Grotta S.W.* Anatomy of digital camera: Image sensors. www.extremetech.com.
3. KODAK CCD Primer #KCP-001, Charge-coupled device (CCD) Image Sensors. www.kodak.com.

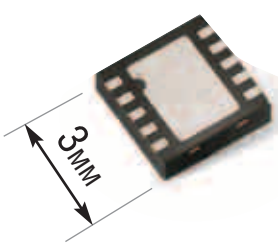


MPS Monolithic Power Systems

Маленький и мощный!

MP4459 — высокочастотный понижающий DC-DC преобразователь

NEW!




Ключевые достоинства

- Частота преобразований: 4 МГц!
- Диапазон входных напряжений: 4,5...36 В
- Диапазон выходных напряжений: 0,8...36 В
- Ток нагрузки: 1,5 А
- Напряжение обратной связи: 0,8 В
- КПД: >95%

Реклама

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР MPS

ProSoft®

ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Телефон: (495) 232-2522 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru