
Разновидности сканеров

В этой главе...

- ✓ Классификация сканеров
- ✓ Технологии сканеров
- ✓ Устройство сканирующих элементов на ПЗС

Сканер — не простое устройство ввода, подобное клавиатуре или компьютерной мыши. Для повседневной работы сканер используется редко, и о его “присутствии” в системе вам напомнит разве что всплывающее предупреждение — “Сканер не идентифицирован” — при загрузке операционной системы. Если клавиатура и мышь без усталости трудятся на протяжении всего операционного периода работы компьютера, то о сканере вы можете и вовсе забыть до тех пор, пока “не пробьет его час”.

Сканер — сложное, высокотехнологичное устройство, которое содержит прецизионную оптико-механическую “начинку”. В зависимости от конфигурации вашего ПК — емкости ОЗУ и дисковой памяти, наличия цветного принтера и модема, подключенного к Internet, — изменяются и функциональные возможности сканера.

В этой главе рассмотрены области применения сканеров, а также представлены основные типы этих устройств ввода.

Классификация сканеров

Основные признаки классификации сканеров

Сканер — это периферийное устройство персонального компьютера (ПК), позволяющее вводить в компьютер оригиналы (образы изображений), представленные в виде текстовых документов, рисунков, слайдов, фотопленок, фотографий, графической информации или объемных предметов. Сканер преобразует подобную информацию в электронную.

При классификации сканеров руководствуются несколькими критериями.

- Степень прозрачности вводимого оригинала изображения.
- Кинематическим механизмом сканера (конструкцией, механизмом движения).
- Типом вводимого изображения.
- Особенности программного и аппаратного обеспечения.

Прозрачные и непрозрачные оригиналы

Оригиналы изображений можно разделить на две группы. К первой из них относятся непрозрачные оригиналы — фотографии, рисунки, страницы документов, газет и журналов и т.п. Видимое человеческим глазом изображение на непрозрачных оригиналах формируется при отражении света. Соответственно и цветообразование в данном случае базируется на восприятии зрением длин волн трех основных цветов — красного (red), синего (blue) и зеленого (green) и их комбинаций. Система цветоделения с тремя первичными цветами RGB используется в мониторах и сканерах и входит в состав спецификации SRGB (Standard RGB).

Другая группа представлена прозрачными оригиналами, в которую входят цветные и черно-белые слайды и негативы. В этом случае оптическая система сканера обрабатывает не отраженный от оригинала свет, а лучи, прошедшие сквозь слайд или фотопленку.

Таким образом, расположение источников освещения, а следовательно конструкции устройств для непрозрачных и прозрачных образцов отличаются. Вместе с тем наряду с отдельными устройствами — слайд-сканерами — используются комбинированные устройства, способные сканировать как непрозрачные, так и прозрачные оригиналы.

Механизм движения и вводимое изображение

Механизм движения сканера — показатель, учитывающий способ перемещения считывающей головки (сканирующего элемента) относительно образца. Существует три основных типа сканеров — *ручные* (hand-held), *настольные* (desktop), а также настольные профессиональные сканеры. На практике используются также сканеры комбинированного типа, сочетающие в себе возможности настольных и ручных сканеров.

Методы сканирования

Способы обработки изображений

Сканеры могут обрабатывать изображения двух типов — черно-белые и цветные. Черно-белые сканеры подразделяются на штриховые и полутоновые.

Сканирование изображений и преобразование их в цифровую форму для компьютера обеспечивается тремя методами.

- Line Art — передача в ПК черно-белых изображений.
- Grayscale — передача в ПК полутоновых изображений.
- True Colour — передача в ПК полноцветных изображений.

Каждый из методов требует задействования тех или иных ресурсов ПК и активизации режимов работы аппаратных средств.

Формат сканирования Line Art

Штриховые сканеры работают в двухуровневом режиме (bilevel mode), воспринимая только черный или белый цвета. Таким образом сканируются чертежи, штриховые рисунки, текстовые документы и штрих-коды продукции в магазинах.

Для обработки отсканированных черно-белых изображений используется *формат сканирования Line Art*. Это — наиболее простой из всех форматов, предусматривающий передачу в ПК и хранение элемента изображения посредством одного из битов — нуля или единицы. Для этой цели не требуется много ресурсов системы.

Для того чтобы расширить возможности штриховых сканеров, была предложена *технология растривания* (dithering), или псевдополутоновой обработки изображения. Смысл технологии состоит в использовании искусственного приема имитации уровней серого цвета. Градации серого цвета формируются благодаря группированию нескольких точек вводимого изображения в серые (gray-scale) *пиксели*. Такие пиксели могут иметь размеры 2x2 (4 точки), 3x3 (9 точек) или 4x4 (16 точек) и т.д. Отношение количества черных точек к белым и выделяет уровень серого цвета. Например, серый пиксель размером 4x4 позволяет воспроизводить 17 уровней серого цвета (включая и полностью белый цвет). Разрешающая способность сканеров, работающих в режиме эмуляции градаций серого, крайне мала.

Формат сканирования Grayscale

Для обработки полутоновых фотографий используется формат *Grayscale*, который учитывает способность зрения человека детально описывать любые оттенки изображения в пределах 256 градаций серого цвета. Для этой цели для каждого элемента сканируемого изображения отводится один информационный байт, двоичное содержимое которого может изменять значение от нуля до 255.

Полутоновые сканеры обычно поддерживают 16, 64 или 256 оттенков серого цвета для 4-, 6- и 8-разрядного кода, который ставится при этом в соответствие каждой точке изображения.

Формат сканирования True Colour

Для обработки полноцветных изображений используются цветные сканеры, у которых для каждого элемента сканирования задействованы три канала цветности — RGB. Для каждого канала требуется один информационный байт, поэтому оттенки цвета для одной точки могут быть описаны двадцатью четырьмя битами. Подобное представление цвета требует от ПК ввода в действие значительных системных ресурсов.

Обобщенная классификация сканеров

На основании обобщенной оценки характеристик сканеров эти устройства можно разделить на следующие подгруппы.

- Ручные сканеры.
- Страничные (протяжные) сканеры.
- Планшетные сканеры.
- Слайд-сканеры.
- Проекционные сканеры.
- Барабанные сканеры.

Некоторые из них представлены на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Сканеры для ПК — ручной, планшетный, рулонный и слайд-сканер

Ручные сканеры

Ручные сканеры — это достаточно простые компактные устройства, предназначенные для сканирования небольших фрагментов изображения (репродукций, фотографий, документов) с невысоким разрешением.

Для того чтобы ввести в компьютер какой-либо документ, следует плавно провести считывающей головкой по поверхности с изображением. Равномерность перемещения сканера существенно сказывается на качестве вводимого в компьютер изображения. Для подтверждения нормального ввода ручные сканеры располагают специальным индикатором.

Ширина вводимого изображения для ручных сканеров не превышает обычно 4 дюйма (10 см). Как правило, для повышения разрешающей способности уменьшают ширину вводимого изображения.

С помощью ручного сканера невозможно ввести за один проход даже изображения формата А4. Подобный недостаток минимизируется автоматической «склежкой» вводимого изображения, т.е. формированием целого изображения из отдельно вводимых его фрагментов. Вследствие склейки всегда появляются дефекты изображения.

Основной недостаток ручных сканеров, исключаящий возможность их применения для сканирования изображений высокого качества, состоит в их принципе действия, основанном на ручном перемещении сканирующего элемента по изображению, а также использовании достаточно медленного интерфейса передачи данных в компьютер.



Рис. 1.2. Ручной сканер штрих-кода

Ручные сканеры обладают наименьшей ценой из всех подгрупп сканеров. Вместе с тем, благодаря снижению стоимости планшетных сканеров, на сегодняшний день ручные сканеры практически не производятся и вытеснены с рынка.

К ручным сканерам относятся также специализированные ручные сканеры штрих-кода для торговых приложений (рис. 1.2).

Страничные сканеры

Страничные (протяжные) сканеры относятся к числу настольных устройств и часто называются *рулонными* (sheet-fed). По сравнению с ручными, они обладают рядом преимуществ.

Эти компактные сканеры позволяют равномерно протягивать под сканирующим элементом материал с изображением. Такие устройства могут сканировать изображения с рулонов чертежей или отдельных страниц. Вместе с тем, сканеры подобного типа не допускают ввода изображений сброшюрованных листов (книг, журналов, буклетов и т.п.) и обладают высокой критичностью к качеству бумаги.

К преимуществам страничных сканеров можно отнести их компактность, легкое и недорогое подключение автоподатчика страниц.

Рассматриваемые сканеры достаточно широко используются в областях, связанных с *оптическим распознаванием символов* — OCR (Optical Character Recognition).

Планшетные сканеры

Планшетные сканеры (flatbed) — универсальные устройства, наиболее популярные среди пользователей ПК. Они входят в группу настольных или напольных сканеров и предназначены для обработки текстовых документов, изображений, слайдов и фотопленок, а также объемных образцов.

Основным отличием планшетных сканеров является то, что сканирующий элемент перемещается относительно бумаги с помощью шагового двигателя. Для сканирования оригинала необходимо открыть крышку сканера, разместить оригинал на предметном стекле окна планшета, после чего закрыть крышку. Все дальнейшее управление процессом сканирования осуществляется в автоматическом режиме, посредством управления одной из специальных программ, поставляемых вместе со сканером.

Богатый выбор дополнительного оборудования: слайд-адаптеры, податчики страниц и т.п., а также заметное снижение цен на эти устройства позволяет говорить о доминирующем положении данной продукции на компьютерном рынке.

В настоящее время планшетные сканеры наравне с барабанными широко используются в полиграфии.

В планшетных сканерах применяются *светочувствительные оптико-электронные преобразователи*, построенные на линейках ПЗС (приборов с зарядовой связью), которые уступают по ряду характеристик сканирующим элементам на фотоэлектронных умножителях, используемых в сканерах барабанного типа. Вместе с тем, планшетные сканеры обладают высокими показателями глубины цвета. В профессиональных устройствах применяются новые технологии, позволяющие сократить ограничения разрешающей способности путем использования нескольких объективов с фиксированным фокусом или зум-объектива (трансфокатора с изменяемым фокусным расстоянием) для фокусировки областей разного размера и больших сканирующих матриц. В частности, одна из новых *технологий ХУ* основана на применении сканирующей матрицы ПЗС, которая движется в горизонтальном и вертикальном направлениях, что позволяет отсканировать больше оригиналов и дает возможность “сшивать” большие изображения вместе, одновременно поддерживая полное оптическое разрешение планшетного сканера по всей рабочей области.

Слайд-сканеры

Слайд-сканеры — это узкоспециализированные устройства, предназначенные для ввода изображений с прозрачных материалов с высоким разрешением и качеством изображения. Они обладают ярко выраженной профессиональной направленностью и высокой стоимостью. Слайд-сканеры могут снабжаться специализированным механизмом для подачи пленки и коррекции изображения.

В настоящее время планшетные сканеры комплектуются специальными адаптерами для сканирования слайдов и пленок.

Характеристики планшетных сканеров рассмотрены в главе 2.

Проекционные сканеры

Проекционные сканеры (overhead) представляют собой настольные или напольные устройства, основной особенностью которых является сканирование образцов трехмерных проекций (рис. 1.3).



Рис. 1.3. С помощью проекционных сканеров можно сканировать объемные образцы

Сканирование осуществляется следующим образом. Вводимый документ располагается на столе изображением вверх. Над столом на кронштейне находится весь механизм сканирования. При работе перемещается только сканирующий элемент — линейка ПЗС. Помимо бумажных документов, на столе можно размещать также предметы произвольной толщины и объемные предметы.

Принципиальным отличием проекционных сканеров является то, что сканирующий элемент движется в фокальной плоскости объектива, а не вместе с объективом, как в планшетных сканерах.

Другая особенность этих устройств состоит в том, что расстояние между объективом и сканируемым объектом может быть произвольным образом изменено. Поэтому разрешение подобных сканеров определяется не в точках на дюйм изображения, а в точках всего изображения. Сканирующую головку устройства можно сфокусировать не только на образец, расположенный на рабочем столе, но и на удаленные предметы.

Сканирование осуществляется следующим образом. Вводимый документ располагается на столе изображением вверх.

Барабанные сканеры

Барабанные сканеры представляют собой профессиональные стационарные устройства, предназначенные для применения в полиграфии и сканирования крупноформатных изображений (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Барабанные сканеры

В недалеком прошлом для получения результатов профессионального уровня в фотоиндустрии использовались в основном большие и дорогие барабанные сканеры, на которых работали специально обученные операторы. В настоящее время серьезную конкуренцию им составляют сканеры планшетного типа.

В барабанных сканерах в качестве светочувствительных оптико-электронных преобразователей используются специальные *фототрубки ФЭУ* (фотоэлектронные умножители) — или *PMT* (PhotoMultiplier Tube).

Приемные сенсоры ФЭУ очень чувствительны к свету и разным вариациям световой интенсивности. ФЭУ способны уловить разницу в экстремально светлых и темных “значениях”, в то время как большинство сканирующих элементов на ПЗС скорее определят и запишут эти значения как просто “черное” или “белое”.

Барабанные сканеры также отличаются более высоким, чем сканеры других типов, максимальным оптическим разрешением. Тогда как максимальное оптическое разрешение профессиональных сканеров на ПЗС приближается к значению 8 000 ppi, некоторые модели сканеров на ФЭУ способны обеспечить разрешение до 12 000 ppi и выше и поддерживают постоянное максимальное разрешение по всей области оригинала, независимо от размеров.

Характеристики барабанных сканеров рассмотрены в главе 2.

Технологии сканеров

Существует несколько конструкций сканирующих элементов, наиболее интересные из них — технологии PMT, CIS, LIDE, CCD, VAROS и др.

Сканеры технологии PMT

Технология PMT (PhotoMultiplier Tube) используется высококачественными барабанными сканерами в полиграфии. В сканерах PMT (рис. 1.5) оригинал размещается на барабане, который вращается на высокой скорости.

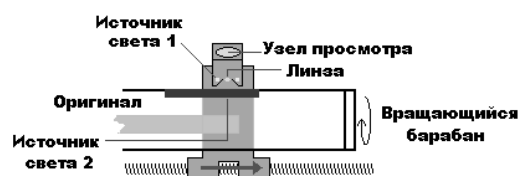


Рис. 1.5. Устройство сканера технологии PMT

Для репродукции изображений различных размеров в устройстве вмонтировано несколько линз с различным фокусным расстоянием. Сканер содержит два источника света. Один предназначен для отражающих оригиналов, а другой — для прозрачных образцов.

Точечный источник освещения (лазер) проецирует луч, который перемещается во время вращения барабана поперек оригинала. Отраженный или пропущенный свет с помощью оптической системы принимается, разделяется на три цветовые составляющие и по трем световодам передается на три цветных канала — красный, зеленый и синий. Световые сигналы в каждом из каналов преобразуются в электрические посредством трех отдельных фотоэлектронных умножителей. Результирующие электрические аналоговые сигналы усиливаются и переводятся в цифровой вид. Оцифрованные с заданной дискретизацией сигналы поступают в компьютер.

Сканеры технологии CIS

Сканер, использующий *технология контактного датчика изображения* — CIS (Contact Image Sensor) (рис. 1.6) не содержит оптики.

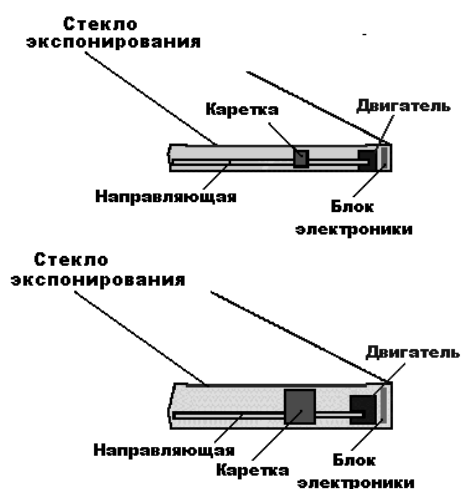


Рис. 1.6. Сравнение толщины планшетных сканеров технологий CIS и CCD

CIS — относительно новая технология планшетных сканеров, которые начали появляться сравнительно недавно.

Вне зависимости от фирмы-производителя, интерфейса, габаритов и технологии сканирования, все планшетные сканеры имеют плоско-горизонтальную конструкцию. Подняв крышку сканера, вы обнаружите *предметное стекло экспонирования*. На стекле располагается подлежащая оцифровке страница или фотография, а под ним, внутри корпуса, перемещается *каретка* со считывающей головкой — *сканирующим элементом*.

В процессе перемещения каретки под лежащим на стекле оригиналом освещается подлежащая обработке область. Для этой цели на каретке смонтирован источник света — узел из трех групп светодиодов, генерирующих свет в трех диапазонах волн — красном, зеленом и голубом. Суммарное излучение, представляющее собой луч белого света, падает на оригинал, отражается и возвра-

щается на сканирующую головку. Отраженный свет несет информацию о яркости и спектральном составе области отражения и экспонируется на оптическую систему сканера.

Оптическая система планшетного CIS-сканера располагается в непосредственной близости от стекла и представляет собой линейку приемных сенсоров сканирующих элементов на ПЗС или фототранзисторах. Длина светочувствительной линейки такого преобразователя CIS соответствует ширине планшета сканера, поэтому дополнительные элементы, фокусирующие или перенаправляющие световой поток (зеркала, призмы или линзы) в сканере подобной конструкции, отсутствуют.

Преимущества этой технологии — простота конструкции и малая по сравнению с CCD-сканером толщина.

Недостатки — высокие шумы, низкая разрешающая способность, очень малая глубина резкости. Данный тип сканеров практически не применим для полноцветных работ, поэтому технология CIS используется в сканерах, не предназначенных для реализации серьезных графических задач.

Сканер с полупроводниковым осветителем на основе светодиода отличается низкой потребляемой мощностью и малой чувствительностью к механическим воздействиям. Вместе с тем, сканеры подобного типа имеют ограниченную область применения и не способны работать со слайд-адаптерами.

Сканеры технологии LIDE

Технология *непрямого светодиодного экспонирования* — LIDE (LED InDirect Exposure) Canon — является модернизированной версией технологии CIS и обладает всеми преимуществами, свойственными технологии контактного датчика изображения.

Сканеры, созданные на основе LIDE, отличаются малой толщиной и массой, более низким уровнем шума и малым энергопотреблением (порядка 2,5 Вт).



Если вы работаете в ограниченном пространстве, а требования к рабочим приложениям не столь высоки, имеет смысл воспользоваться сканером LIDE. Это компактное и недорогое в обслуживании устройство допускает вертикальную установку с помощью специальной подставки, способствуя экономии рабочего пространства на столе.

В технологии LIDE в качестве источника света используются мощные трехцветные RGB-светодиоды, обеспечивающие более качественную цветопередачу и малое энергопотребление по сравнению с ксеноновыми или флуоресцентными лампами (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Схема сканера технологии LIDE

Цилиндрические линзы (рис. 1.8), каждая менее 1 мм в диаметре, без искажений с помощью специального световода собирают отраженные от оригинала лучи в однородные пучки на линейке светочувствительных оптико-электронных преобразователей на фототранзисторах. С микронной точностью приемные сенсоры собраны на плате в линейку, размер которой соответствует максимальной ширине сканируемого документа.

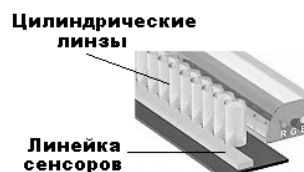


Рис. 1.8. Цилиндрические линзы фокусируют лучи на светочувствительной линейке

LIDE-сканеры обеспечивают равномерное экспонирование оригинала по всей ширине. Сканирующие элементы на фототранзисторах отличаются значительной величиной отношения “сигнал/шум” и очень высокой чувствительностью по сравнению с любыми другими существующими приемными сенсорами.

Сканеры технологии CCD

В планшетном сканере, использующем сканирующий элемент на ПЗС — CCD (Charge-Coupled Device) (рис. 1.9), оригинал, так же, как и в сканерах CIS или LIDE, располагается на предметном стекле, вдоль которого передвигается каретка с источником света — лампой и сканирующей головкой.

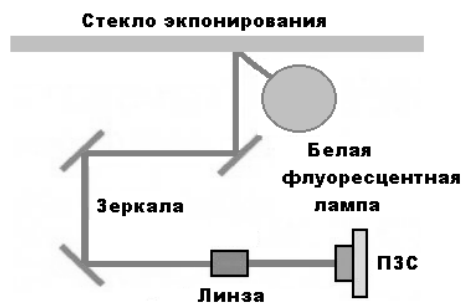


Рис. 1.9. Расположение элементов в сканере технологии CCD

Если сканируется прозрачный оригинал, то используется так называемый *слайд-адаптер*, для которого включается вторая лампа, расположенная в крышке сканера. Вторая лампа перемещается параллельно считывающей головке сканера. Для работы следует снять с внутренней поверхности крышки светонепроницаемую заслонку и подключить разъем питания второй лампы (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Элементы планшета для сканирования прозрачных образцов



Если вы не используете модуль слайд-адаптера, установите на крышке сканера заслонку и отключите разъем питания второй лампы.

В отличие от технологии CIS, оптическая система сканера на ПЗС состоит из объективов, зеркал или призм, проецирующих световой поток от сканируемого оригинала на сканирующий элемент — *линейку ПЗС*, благодаря которой можно сканировать только одну строку оригинала. В этом отличие линейки от матрицы, на которую экспонируется не одна, а одновременно несколько строк. Сканирующие элементы на ПЗС-матрицах содержат многие профессиональные сканеры, а также цифровые фотоаппараты, которые также могут быть квалифицированы как специфические сканеры.

На сканирующем элементе осуществляется разделение информации о цветах. Для этой цели в сканер вмонтированы одновременно три параллельных линейки из равного числа отдельных светочувствительных оптико-электронных преобразователей, которые принимают информацию о содержании отдельных составляющих цветов, — RGB. На линейке ПЗС уровень освещенности преобразуется в аналоговые электрические сигналы.

Оптическая система *CCD-сканера* заметно сложнее головки сканера технологии CIS или LIDE. Прежде чем попасть на линейку ПЗС, световой поток проходит через две-три линзы и отражается несколькими зеркалами. В оптической системе простейшего планшетного сканера CCD содержится три и более зеркал. Таким образом, CCD-сканер более громоздок, потребляет больше электроэнергии, а также более критичен к механическим воздействиям, чем CIS-сканер.

Вместе с тем, планшетные сканеры, наравне с барабанными, применяются не только в домашних офисах, но и в сфере научно-издательской деятельности (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Планшетный настольный сканер HighEnd класса Lanovia для донечатных работ



Планшетные сканеры “начинены” прецизионными оптико-механическими компонентами, критичными к механическим воздействиям. Некоторые модели сканеров допускают вертикальную установку в специальных подставках, что отмечается заводом-изготовителем в технических характеристиках устройства. Вместе с тем, для большинства настольных сканеров нормальное рабочее положение — горизонтальное.

Для улучшения показателей планшетов разработано несколько технологий, одна из которых — *оптическая система с изменяемым преломлением* — VAROS (VARIABLE REFRACTION OPTICAL SYSTEM).

Технология VAROS предложена компанией Canon и позволяет удвоить аппаратное разрешение сканера, не усложняя конструкцию привода узла сканирующего элемента на основе ПЗС.

В традиционной конструкции планшета луч белого света экспонирует сканируемую строку оригинала, направляя ее изображение для считывания линейкой ПЗС через сложную оптическую систему. Разрешающая способность сканера ограничена количеством сенсоров ПЗС. Всего в сканирующем элементе на ПЗС может быть смонтировано порядка 8 000 – 11 000 светочувствительных сенсоров.

Сканирующий элемент на основе технологии VAROS дополнено стеклянной пластиной, расположенной между линзами и ПЗС.

Вначале осуществляется сканирование, аналогично традиционной технологии. Затем стеклянная пластина поворачивается, и процесс сканирования повторяется (рис. 1.12).

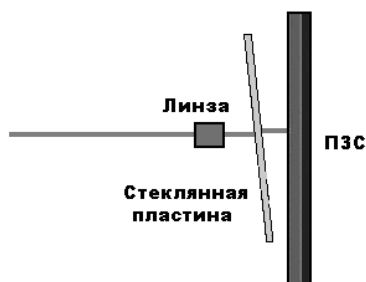


Рис. 1.12. Устройство сканирования VAROS

Подобное устройство дает сканеру возможность считать данные со смещением в полпикселя. Программное обеспечение, объединяющее результаты первого и второго этапов сканирования, позволяет получить вдвое больше данных, а реальное разрешение возрастает вдвое.

Другой вариант повышения разрешения — монтаж не одной, а двух линеек ПЗС, одна из которых рассчитана на среднее значение разрешения, наиболее часто используемое на практике, а другая — на высокое. Первая линейка обеспечивает высокую скорость сканирования, а вторая — низкую, что позволяет повысить общую производительность устройства.

Еще одна инновация компании Canon — использование для планшетников ПЗС комплекта линз, называемых *линзами Галилео*. Подобное оптическое устройство представляет собой пятисегментную широкоугольную линзу, позволяющую сфокусировать отраженный луч в пятно очень малого диаметра, что позволяет существенно повысить разрешение сканера. Вследствие того, что оптическая схема обеспечивает малый ход лучей через зеркала, уменьшаются оптические потери, снижаются искажения и возрастает соотношение “сигнал/шум”.

Линзы Галилео способствуют снижению аберрации.

Аберрация — параметр, определяющий степень отличия между идеальным и реальным изображением, формируемым объективом. У высококачественного объектива аберрация должна быть очень незначительной. Кроме незначительных геометрических искажений, объектив должен точно передавать цвет воспроизводимого объекта. Применительно к цветам RGB, минимальная аберрация означает максимальное совмещение трех цветовых составляющих по краям сканируемого документа при незначительной кривизне поля изображения, не зависящего от положения оригинала на стекле экспонирования.

Устройство сканирующих элементов на ПЗС

Принцип работы, основные приемы сканирования оригиналов, способы обработки изображений и характеристики планшетных CCD-сканеров вызывают постоянный пользовательский интерес в силу широкого их распространения для недорогих систем.

В связи с этим целесообразно в дальнейшем рассматривать именно планшетные сканеры на линейках ПЗС.

Краткий исторический очерк

Приборы с зарядовой связью (ПЗС) относятся к классу твердотельных полупроводниковых приемников.

Первыми приемниками подобного типа были фотодиоды. Именно с их помощью берлинским ученым удалось зафиксировать солнечное затмение в Египте в 1911 году.

С конца 30-х годов начали появляться телевизионные трубки, завоевавшие к концу 70-х лидирующее положение в этой области. Было разработано множество приборов подобного типа — ортikonы, изоконны, секонны, видиконны, кремниконны и т.п. Все они обладали общими недостатками — большими размерами, низкой квантовой эффективностью на уровне 5–10%, малым динамическим диапазоном.

В 60-е годы велись разработки матрицы фоточувствительных элементов и схем сканирования по вертикали и горизонтали. Вначале для этих устройств использовались фоторезисторы или фотодиоды. Показатели первых устройств были невысоки. В дальнейшем регистры сдвига создавались на биполярных, а позднее и полевых транзисторах.

Революционное изменение ситуации произошло с появлением твердотельных полупроводниковых приемников нового поколения. Квантовая эффективность современных полупроводниковых фотоприемников достигает 95–98%, т.е. практически каждый падающий на прибор фотон регистрируется системой со 100%-ной вероятностью.

В 1970 году сотрудники фирмы Bell Laboratories У. Бойл (W. Boyle) и Дж. Смит (J. Smith) предложили принцип зарядовой связи. Первый ПЗС представлял собой аналоговый регистр сдвига на 8 элементов, изготовленный на базе структуры на полевых транзисторах МОП (металл-окисел-полупроводник) — MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) p-типа с молибденовыми затворами, а вскоре появились и двумерные матрицы.

С 1975 года ПЗС начали активно внедряться в качестве телевизионных светоприемников. Компании Fairchild, Bell и RCA в США и Philips в Европе освоили производство матриц, совместимых с телевизионным стандартом (разрешение по вертикали

476 или 576 строк, соответственно для американского или европейского стандартов разложения, и по меньшей мере 350 элементов разложения по горизонтали). Если в 1975 году элементы на ПЗС применялись в 2% телевизионных приемниках, то в 1989 году этот показатель превысил 97%.

В конце 80-х годов в Японии был налажен массовый выпуск недорогих ПЗС приемлемого качества для бытовой электроники. Таким образом начался необратимый процесс — на смену кинокамерам стали приходить видеокамеры.

Принцип работы ПЗС

ПЗС представляет собой матрицу близко расположенных паразитных емкостей, которые интегрированы в МОП-структуру полевого транзистора.

В качестве примера можно представить МОП-транзистор, если удалить сток и исток, оставив просто электрод, отделенный от кремния слоем диэлектрика. Для определенности будем считать, что полупроводник — p-типа, концентрация дырок в котором в равновесных условиях на несколько порядков выше, чем электронов.

В ПЗС электрический сигнал переносится не током или напряжением, как в большинстве других твердотельных приборах, а посредством заряда. При воздействии последовательности тактовых импульсов напряжения на электродах МОП-конденсаторов пакеты зарядов можно переносить между соседними элементами прибора. Поэтому такие приборы и называются *приборы с переносом заряда*, или *приборы с зарядовой связью*.

Если на электрод емкости подать положительный потенциал, то осуществляется следующий процесс. Наведенное электромагнитное поле, создаваемое затвором, проникая в кремний сквозь диэлектрик, отталкивает подвижные дырки, в результате чего возникает обедненная, т.е. свободная от основных носителей, область кремния. Если вблизи этой области окажутся электроны, то они притянутся к затвору и будут накапливаться на границе раздела окисел-кремний непосредственно под затвором, формируя так называемую потенциальную яму. Электроны по мере накопления в яме частично нейтрализуют электрическое поле, создаваемое в полупроводнике затвором, и в конце концов могут полностью его скомпенсировать, так что все электрическое поле будет прикладываться только к диэлектрику. На границе раздела образуется тонкий слой электронов.

На рис. 1.13 проиллюстрирован рассмотренный процесс. Несколько электродов, представляющих часть трехфазной конструкции ПЗС, изолированы от слоя кремния слоем диоксида кремния. На один из них подан положительный потенциал, а два других электрода — под нулевым потенциалом.

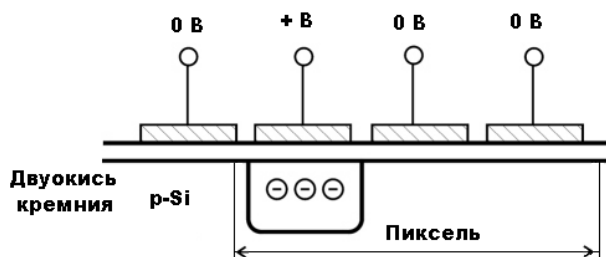


Рис. 1.13. Процесс формирования потенциальной ямы

Если рядом расположены два затвора и на один из них подан более положительный потенциал, то их потенциальные ямы объединяются, и электроны, находящиеся в одной потенциальной яме, перемещаются в соседнюю, если ее потенциал выше (рис. 1.14).

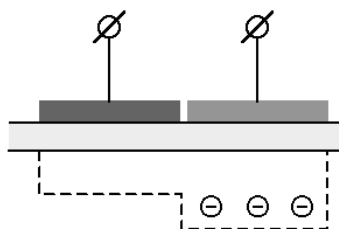


Рис. 1.14. Процесс перекрытия потенциальных ям и перетекания заряда в яму с более высоким потенциалом

Если рядом расположено множество затворов, то можно, подавая на них соответствующие управляющие напряжения, передавать вдоль такой структуры локализованный пакет зарядов. Для управления цепочкой затворов достаточно трех тактовых шин и трех электродов — одного передающего, одного принимающего и одного изолирующего, разделяющего пары принимающих и передающих друг от друга. В цепочке затворов одноименные электроды таких троек могут быть объединены в единую тактовую шину, требующую лишь одного внешнего вывода. Подобная схема называется *трехфазным регистром сдвига на ПЗС* (рис. 1.15).

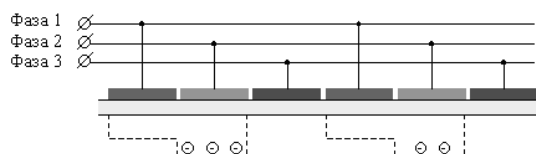


Рис. 1.15. Пример построения трехфазного регистра сдвига на ПЗС

Для нормальной работы регистра в каждый момент времени по крайней мере на одной тактовой шине должен быть высокий потенциал и по крайней мере на одной — низкий потенциал (потенциал барьера). При повышении потенциала на одной шине и понижении его на другой (предыдущей) происходит одновременная передача всех зарядовых пакетов в область соседних затворов, и за полный цикл (один такт на каждой фазной шине) происходит передача (сдвиг) зарядовых пакетов на один элемент регистра. Тактовые диаграммы управления трехфазным регистром представлены тремя группами синхроимпульсов, сдвинутых на 120° .

Для локализации пакетов зарядов в поперечном направлении формируются стоп-каналы, представляющие собой узкие полоски с повышенной концентрацией основной легирующей примеси и направленные вдоль канала переноса (рис. 1.16).



Рис. 1.16. Устройство стоп-каналов

Принцип работы матрицы ПЗС

Простейшая матрица ПЗС содержит: две секции — накопления и хранения с равным числом строк (каждая строка секции образована одной тройкой электродов), а также горизонтальный регистр сдвига и выходное устройство. Существуют также матрицы, в которых отсутствует секция хранения, и тогда строчный перенос осуществляется через секцию накопления. Для работы таких матриц требуется оптический затвор.

Сканируемое изображение освещается от источника. Отраженный свет через редуцирующую (уменьшающую) линзу попадает на фоточувствительный полупроводниковый слой области накопления ПЗС. В основу фотопреобразования положена чувствительность проводимости р-п-перехода полупроводникового диода к степени его освещенности.

Изображение, проецируемое на секцию накопления, вызывает фотогенерацию — образование электронно-дырочных пар.

При этом фотогенерированные электроны остаются в потенциальной яме, дырки же направляются в подложку или следуют вдоль поверхности в стоп-каналы. Таким образом, под действием света в ячейках накапливается зарядовый рельеф. В каждой ячейке собирается заряд, пропорциональный ее освещенности и времени накопления.

Область хранения защищена от воздействия света светонепроницаемым покрытием. Изображение каждой строки сканирования, сформированное в области накопления, быстро переносится в область хранения и затем считывается построчно в выходной сдвиговый регистр.

Из сдвигового регистра зарядовые пакеты выводятся друг за другом, последовательно через выходной усилитель, расположенный на этом же кристалле кремния. В этом узле происходит преобразование заряда в напряжение для дальнейшей обработки сигнала внешней электронной аппаратурой.

Большинство типов ПЗС-матриц, изготавливаемых на промышленной основе, ориентировано на применение в телевидении, что сказывается на их внутренней структуре. Существует несколько типов подобных ПЗС — с кадровым, междустрочным переносом и т.п.

В сканерах распространены не матрицы, а линейки ПЗС для считывания одномерных изображений, а также предназначенные для механической развертки по одной координате. Как правило, накопительными элементами в подобных линейках ПЗС служат диодные компоненты. По обе стороны от линейки накопительных элементов располагаются регистры считывания соответственно для четных и нечетных сенсоров.

Номенклатура выпускаемых сейчас линеек для сканеров довольно широка, а число фоточувствительных приемных сенсоров колеблется от 1 024 до 10 500.