

2000 в линейном и 10^4-10^6 в матричном ПЗС; площадь пластины $\sim 1 \text{ см}^2$. Под крайними электродами каждой строки изготавливают *p-n-переходы*, предназначенные для ввода — вывода порции зарядов (зарядовых пакетов) электрич. способом (инжекция *p-n-переходом*). При фотоэлектрич. вводе зарядовых пакетов ПЗС освещают с фронтальной или тыльной стороны. При фронтальном освещении во избежание затеняющего действия электродов алюминий обычно заменяют пленками сильноегров. поликристаллич. кремния (полукремния), прозрачного в видимой и ближней ИК-областях спектра.

Принцип действия ПЗС на примере фрагмента строки ФПЗС, управляемой трёхтактовой (трёхфазной) схемой, иллюстрируется на рис. 2. В течение такта I (восприятие, накопление и хранение видеоинформации) к электродам 1, 4, 7 прикладывается т. н. напряжение хранения U_{xp} , отесняющее осн. носители — дырки в случае кремния *p-типа* — в глубь полупроводника и образующее обедненные слои глубиной 0,5—2 мкм — потенц. ямы для электронов. Освещение поверхности ФПЗС порождает в объёме кремния избыточные электронно-дырочные пары, при этом электроны стягиваются в потенц. ямы, локализуются в тонком ($\sim 0,01 \text{ мкм}$) приповерхностном слое под электродами 1, 4, 7, образуя сигнальные зарядовые пакеты. Величина заряда в каждом пакете пропорциональна экспозиции поверхности вблизи данного электрода. В хорошо сформированных МДП-структурах образующиеся заряды вблизи электродов могут относительно долго сохраняться, однако постепенно вследствие генерации носителей заряда примесными центрами, дефектами в объёме или на границе раздела (темновой ток) эти заряды будут накапливаться в потенц. ямах, пока не превысят сигнальные заряды и даже полностью заполнят ямы.



Рис. 1. Схема работы трёхфазного прибора с зарядовой связью — сдвигового регистра.

Во время такта II (перенос зарядов) к электродам 2, 5, 8 и т. д. прикладывается т. н. напряжение считывания, U_c , более высокое, чем напряжение хранения U_{xp} . Поэтому под электродами 2, 5 и 8 возникает более глубокие потенц. ямы, чем под электродами 1, 4 и 7, и вследствие близости электродов 1 и 2, 4 и 5, 7 и 8 барьеры между ними исчезают и электроны перетекают в соседние, более глубокие потенц. ямы.

Во время такта III напряжение на электродах 2, 5, 8 снижается до U_{xp} , а с электродов 1, 4, 7 снимается. Т. о. осуществляется перенос всех зарядовых пакетов вдоль строки ПЗС вправо на один шаг, равный расстоянию между соседними электродами.

Во всё время работы на электродах, непосредственно не подключённых к потенциалам U_{xp} или U_c , поддерживается небольшое напряжение смещения $U_{см}$ (1—3 В), обеспечивающее обеднение носителями заряда всей поверхности полупроводника и ослабление на ней рекомбинац. эффектов.

Повторяя процесс коммутации напряжений многократно, выводят через крайний *p-n-переход* последовательно все зарядовые пакеты, возбуждённые, напр., светом в строке. При этом в выходной цепи возникает импульсы напряжения, пропорциональные величине заряда данного пакета. Картина освещённости трансформируется в поверхностный зарядовый рельеф, *k-рый* после продвижения вдоль всей строки преобразуется в последовательность электрич. импульсов. Чем больше

число элементов в строке или матрице (число элементов разложения), тем точнее воспринимается изображение.

При небольшом числе переносов увеличиваются рекомбинац. потери, происходит неполная передача зарядового пакета от одного электрода к соседнему и усиливаются обусловленные этим искажения информации. Чтобы избежать искажений накопленного видеосигнала из-за продолжающегося во время переноса освещения, на кристалле ФПЗС создают пространственно разделённые области восприятия — накопления и хранения — считывания, причём в первых обеспечивают макс. фоточувствительность, а вторые, наоборот, экранируют от света. В линейном ФПЗС (рис. 3, а) заряды, накопленные в строке 1 за один цикл, передаются в регистр 2 (из чётных элементов) и в регистр 3 (из

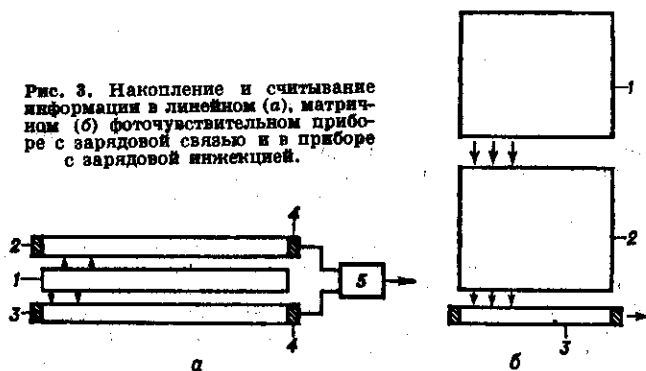


Рис. 3. Накопление и считывание информации в линейном (а), матричном (б) фоточувствительном приборе с зарядовой связью и в приборе с зарядовой инжекцией.

нечётных). В то время, как по этим регистрам информация передаётся через выход 4 в схему объединения сигналов 5, в строке 1 накапливается новый видеоквдр. В ФПЗС с кадровым переносом (рис. 3, б) информация, воспринятая матрицей накопления 1, быстро «сбрасывается» в матрицу хранения 2, из *k-рой* последовательно считывается ПЗС-регистром 3; в это же время матрица 1 накапливает новый кадр.

Осн. параметры ПЗС: амплитуды управляющих импульсов (U_{xp} , $U_c \approx 5-20 \text{ В}$), относит. потери заряда при одном переносе ($\epsilon \sim 10^{-2}-10^{-5}$), макс. тактовая частота ($f_{такт} = 10-100 \text{ МГц}$), макс. и мин. плотности зарядового пакета ($Q_{n, макс} \approx 50 \text{ нКл/см}^2$; $Q_{n, мин} \approx 50 \text{ пКл/см}^2$, динамич. диапазон ($D = 20 \lg Q_{n, макс}/Q_{n, мин} \approx 60-80 \text{ дБ}$), плотность темнового тока ($I_T = 10^{-10}-10^{-9} \text{ А/см}^2$). Для характеристики ФПЗС кроме перечисленных выше параметров указываются спектральный диапазон ($\Delta\lambda = 0,4-1,1 \text{ мкм}$), фоточувствительность ($S_\phi = 0,1-0,5 \text{ А/Вт}$), макс. и мин. экспозиции ($H_{макс} \leq 300 \text{ нДж/см}^2$, $H_{мин} \geq 300 \text{ пДж/см}^2$), разрешающая способность ($r = 10-50 \text{ линий/мм}$). Кроме ПЗС простейшей структуры (рис. 1) получили распространение и др. их разновидности, в частности приборы с поликремневыми перекрывающимися электродами (рис. 4, а), в *k-рых* обеспечиваются активное фотодействие на всю поверхность полупроводника и малый зазор между электродами, и приборы с асимметрией приповерхностных свойств (напр., слоем диэлектрика перем. толщины — рис. 4, б), работающие в двухтактном режиме. Принципиально отлична структура ПЗС с объёмным каналом (рис. 4, в), образованным диффузией примесей. Накопление, хранение, перенос заряда происходят в объёме полупроводника, где меньше, чем на поверхности, рекомбинац. центров и выше подвижность носителей. Следствием этого является увеличение на порядок значения $f_{такт}$ и уменьшение ϵ по сравнению со всеми разновидностями ПЗС с поверхностным каналом.

Для восприятия цветных изображений используют один из двух способов: разделение оптич. потока с помощью призм на красный, зелёный, синий, восприятие каждого из них специальным ФПЗС — кристаллом,