

## ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ (ПЗС)

*Дудко М.В., студент гр.358307, Кравченко М.Д., студенты гр.358307*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Григорьев А.А. – кандидат физико-математических наук, доцент*

**Аннотация.** Данная работа содержит общие сведения о приборах с зарядовой связью, сферы применения данной технологии, а также физические основы работы и конструкции приборов с зарядной связью.

**Ключевые слова.** Прибор с зарядовой связью (ПЗС), МДП-структуры, физика работы ПЗС, достоинства ПЗС, сферы и примеры применения ПЗС, недостатки ПЗС, р-п переходы, ПЗС – матрицы.

### Общие сведения о приборе с зарядовой связью (ПЗС).

Прибор с зарядовой связью (ПЗС) представляет собой ряд простых МДП-структур (металл — диэлектрик — полупроводник), сформированные на общей полупроводниковой подложке таким образом, что полосы металлических электродов образуют линейную или матричную регулярную систему, в которой расстояния между соседними электродами достаточно малы (рис.1). Это обстоятельство обуславливает тот факт, что в работе устройства определяющим является взаимовлияние соседних МДП-структур [1—3].

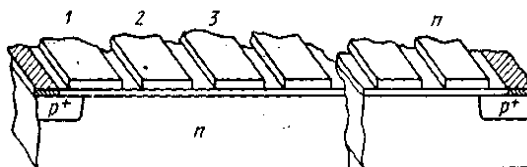


Рисунок 1 – Структура прибора с зарядовой связью (ПЗС)

Принцип действия ПЗС заключается в следующем. Если к любому металлическому электроду ПЗС приложить отрицательное напряжение\*), то под действием возникающего электрического поля электроны, являющиеся основными носителями в подложке, уходят от поверхности в глубь полупроводника. У поверхности же образуется обедненная область, которая на энергетической диаграмме представляет собой потенциальную яму для неосновных носителей — дырок. Попадающие каким-либо образом в эту область дырки притягиваются к границе раздела диэлектрик — полупроводник и локализуются в узком приповерхностном слое.

Если теперь к соседнему электроду приложить отрицательное напряжение большей амплитуды, то образуется более глубокая потенциальная яма и дырки переходят в нее. Прикладывая к различным электродам ПЗС необходимые управляющие напряжения, можно обеспечить как хранение зарядов в тех или иных приповерхностных областях, так и направленное перемещение зарядов вдоль поверхности (от структуры к структуре). Введение зарядового пакета (запись) может осуществляться либо р-п-переходом, расположенным, например, вблизи крайнего ПЗС элемента (электрод 1 на рис.1), либо светогенерацией. Вывод заряда из системы (считывание) проще всего также осуществить с помощью р-п-перехода (электрод п на рис.1.). Таким образом, ПЗС представляет собой устройство, в котором внешняя информация (электрические или световые сигналы) преобразуется в зарядовые пакеты подвижных носителей, определенным образом размещаемые в приповерхностных областях, а обработка информации осуществляется управляемым перемещением этих пакетов вдоль поверхности. Очевидно, что на основе ПЗС можно строить цифровые и аналоговые системы. Для цифровых систем важен лишь факт наличия или отсутствия заряда дырок в том или ином элементе ПЗС, при аналоговой обработке имеют дело с величинами перемещающихся зарядов.

Естественно, что заряд, введенный в МДП-структуру, не может храниться в ней неограниченно долго. Процесс термогенерации электронно-дырочных пар в объеме полупроводника и на границе раздела диэлектрик — полупроводник ведет к накоплению в потенциальных ямах паразитных зарядов и, следовательно, к искажению зарядовой информации, а с течением времени и к полному ее «стиранию». Это время может достигать сотен миллисекунд и даже десятков секунд, но, тем не менее, оно конечно и определяет существование нижней граничной частоты. Таким образом, работа прибора основана на нестационарном состоянии МДП-структуры, и ПЗС являются элементами динамического типа.

Устройство и физика работы ПЗС определяют ряд интересных и полезных особенностей этих приборов.

К числу важнейших функциональных особенностей ПЗС относятся:

1. возможность хранения зарядовой информации;
2. возможность направленной передачи зарядов вдоль поверхности полупроводникового кристалла;
3. возможность преобразования светового потока в электрический заряд и последующего его считывания (сканирования).
4. малая потребляемая мощность (5—10 мкВт/бит в режиме передачи информации и практически полное отсутствие затрат энергии в режиме хранения), что обусловлено МДП-структурой этих устройств.
5. Простота конфигурации и регулярность системы элементов в ПЗС ведет к тому, что быстродействие этих приборов может быть очень высоким (у специально сконструированных образцов предельные тактовые частоты лежат в гигагерцевом диапазоне).

Пожалуй, еще более важными являются конструктивно-технологические достоинства ПЗС, основными из которых являются:

1. технологическая ясность и простота (малое число фотолитографических, термодиффузионных и эпитаксиальных процессов при изготовлении прибора) — обязательное условие при создании качественных многоэлементных (с числом элементов  $10^4$ - $10^6$ ) устройств;
2. высокая степень интеграции (превышающая  $10^5$  элементов на одном кристалле) и высокая плотность упаковки (более  $10^5$  бит/см<sup>2</sup>);
3. малое количество внешних выводов, что является определяющим при построении высоконадежных систем; (это позволяет уменьшить риск механических повреждений и обеспечить более надежное соединение с другими компонентами системы).
4. отсутствие р-п-переходов (немногочисленные р-п-переходы ПЗС выполняют «подсобные» функции и к ним предъявляются достаточно «слабые» требования), что, в частности, открывает широкие возможности для использования наряду с кремнием других полупроводниковых материалов (например, арсенида галлия), что расширяет область их применения и позволяет создавать более эффективные устройства.

Все эти свойства открывают широкие перспективы для разнообразных применений ПЗС.

Для цифровой техники интересны сдвиговые регистры, оперативные запоминающие устройства, логические схемы. Линии задержки аналоговых сигналов на ПЗС по техническим характеристикам значительно превосходят свои акустические и магнитные аналоги. В современной цифровой технике с использованием ПЗС сдвиговые регистры применяются для хранения и последовательного передачи данных. ПЗС обеспечивают высокую скорость передачи данных и низкое энергопотребление, что делает их эффективными для использования в цифровых устройствах, таких как микропроцессоры, микроконтроллеры. ПЗС также могут быть использованы для создания оперативных запоминающих устройств (ОЗУ), которые играют важную роль в хранении временных данных в цифровых системах. Благодаря своей высокой скорости и малому размеру ПЗС могут обеспечить быстрый доступ к данным, что особенно важно для оперативных приложений, таких как кэширование данных или временное хранение промежуточных результатов вычислений. ПЗС могут быть также использованы для создания логических схем, таких как вентили и мультиплексоры. Эти схемы являются основными строительными блоками цифровых устройств и используются для выполнения различных логических операций. ПЗС позволяют создавать логические схемы с высокой плотностью интеграции и низким энергопотреблением, что делает их привлекательными для применения во многих цифровых устройствах.

В оптоэлектронной технике преобразования изображений ПЗС открывают новые возможности для создания безвакуумных полупроводниковых формирователей видеосигналов. Присущее им самосканирование позволяет избавиться от громоздких и ненадежных высоковольтных вакуумных трубок со сканированием электронным лучом. ПЗС являются уникальными аналогами ЭЛТ, позволяющими одновременно с уменьшением массы, габаритных размеров, потребляемой мощности повысить надежность и качество формирователей видеосигналов. Дополнительное достоинство фотоприемников на основе ПЗС заключается в принципиальной возможности использовать разнообразных материалов, таких как арсенид галлия (GaAs) или индий-галлиевый арсенид (InGaAs), позволяет расширить спектральный диапазон обнаружения фотоприемника. Например, ИК-чувствительные ПЗС могут быть эффективно использованы в инфракрасной фотографии, видеонаблюдении в условиях низкой освещенности, такие ПЗС-камеры часто используются в системах видеонаблюдения для обеспечения безопасности в общественных местах, офисах, складах, банках, аэропортах и других местах. Они помогают в обнаружении и расследовании преступлений, а также обеспечивают контроль за перемещением людей и транспортных средств. Также ПЗС-камеры широко используются в астрономических наблюдениях для изучения космических объектов, таких как

звезды, галактики, планеты и туманности. Они обладают высокой чувствительностью и разрешением, что позволяет астрономам получать детальные изображения даже в условиях слабого освещения.

Если на многоэлементный или матричный ПЗС направить световой поток, несущий изображение, то в объеме полупроводника начнется фотогенерация электронно-дырочных пар. Попадая в обедненную область ПЗС, носители разделяются и в потенциальных ямах накапливаются дырки (причем величина накапливаемого заряда пропорциональна локальной освещенности). По истечении некоторого времени (порядка нескольких миллисекунд), достаточного для восприятия изображения, в матрице ПЗС будет храниться картина зарядовых пакетов, соответствующая распределению освещенностей. При включении тактовых импульсов зарядовые пакеты будут перемещаться к выходному устройству считывания, преобразующему их в электрические сигналы. В результате на выходе получится последовательность импульсов с разной амплитудой, огибающая, которых дает видеосигнал.

Появление ПЗС (1969 г.) явилось результатом исследований в области физики и технологии МДП-приборов. Разработка этого нового направления полупроводниковой техники занимаются многие научные коллективы в разных странах мира и уже достигнуты весьма заметные результаты.

В 1920-х годах американские компании, такие как Bell и RCA, стали пионерами в серийном производстве телекамер с разрешением 240x320 пикселей. Первые модели были громоздкими, дорогими и требовали сложного оборудования для передачи сигнала. Изображение было черно-белым и имело частоту кадров 12 кадров в секунду, но это был огромный шаг вперед по сравнению с механическими телесистемами, которые использовались ранее.

Ключевым моментом в развитии телекамер стало изобретение прибора с зарядовой связью (ПЗС) в 1969 году. ПЗС революционизировали телевидение, сделав возможным создание более компактных, доступных и качественных камер.

Развитие телекамер с ПЗС:

Разрешение изображения:

- 1940-е: 480x640 пикселей
- 1980-е: 720x576 пикселей (SDTV)
- 2000-е: 1280x720 пикселей (HDTV)
- 2010-е: 1920x1080 пикселей (Full HD)
- 2020-е: 3840x2160 пикселей (4K) и выше

Цветовая гамма:

- 1950-е: Появление цветного телевидения
- 1990-е: Распространение более широкой цветовой гаммы (NTSC, PAL, SECAM)
- 2010-е: Появление HDR-технологий

Размеры и стоимость:

- 1950-е: Телевизоры размером с небольшой шкаф
- 1980-е: Появление портативных телевизоров
- 2000-е: Распространение плоских телевизоров
- 2010-е: Снижение цен на телевизоры с высоким разрешением

Сегодня телекамеры доступны практически в каждом доме (в 2023 году проникновение телевизоров в мире составило 79,5%). Их используют не только для трансляции телепередач (в 2023 году объем рынка телевидения составил \$232 млрд), но и для видеонаблюдения, видеоконференций, медицинских исследований и многих других целей.

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в области разработки ПЗС, существует ряд проблем, которые препятствуют их широкому использованию:

Технологические проблемы:

1. Проколы диэлектрической пленки и закоротки электродных шин по-прежнему остаются распространенной проблемой, что приводит к низкому проценту выхода бездефектных ПЗС с достаточно большой информационной емкостью.
2. Получение узких (2-3 мкм) зазоров между электродами в ПЗС с однослойной металлизацией является одной из важнейших технологических проблем. Закоротки между электродами являются основным источником брака в таких структурах.
3. Создание высококачественного изолирующего диэлектрика между всеми уровнями поликремния в ПЗС с многослойными кремниевыми затворами представляет значительную технологическую сложность.

Экономические проблемы:

1. Производство ПЗС является достаточно дорогим процессом, что делает их менее конкурентоспособными по сравнению с другими типами датчиков изображения.
2. Необходимость использования специализированного оборудования и технологий также увеличивает стоимость производства ПЗС.

Несмотря на эти проблемы, ПЗС продолжают развиваться и совершенствоваться. Новые технологии позволяют улучшить их производительность, надежность и снизить стоимость. В будущем ПЗС могут стать одним из самых распространенных типов датчиков изображения благодаря своим

уникальным преимуществам, таким как высокое качество изображения, широкий динамический диапазон и низкий уровень шума.

В заключение стоит сказать, что создание устройств на приборах с зарядовой связью, особенно оптоэлектронных, стало не просто важным этапом, а революционным прорывом в развитии больших интегральных схем. Это был один из первых реальных шагов к функциональной микроэлектронике, которая сегодня окружает нас со всех сторон. ПЗС-технологии оказали огромное влияние на многие сферы жизни и продолжают развиваться бурными темпами. В будущем их роль будет только расти.

Вот примеры некоторых областей, где ПЗС будут активно использоваться:

- Медицина и микроскопия: Для более точной диагностики и лечения заболеваний, разработки новых лекарств и исследования биологических объектов.
- Научная деятельность и астрономические наблюдения: Для изучения Вселенной, поиска новых планет и открытия тайны темной материи.
- Автомобильная промышленность: Для создания более безопасных и комфортных автомобилей с системами помощи водителю, автоматической парковкой и другими функциями.
- Обеспечение безопасности и видеонаблюдение: Для защиты людей и имущества, предотвращения преступлений и расследования происшествий.
- Цифровые фотоаппараты и видеокамеры: Для создания фотографий и видео высочайшего качества, которые будут еще более реалистичными и захватывающими.

ПЗС открывают перед нами безграничные возможности. Они позволяют нам видеть мир по-новому, делать невероятные открытия и создавать невообразимые вещи. Будущее за ПЗС-технологиями, и это будущее уже наступает.

### Физические основы работы и конструкции приборов с зарядовой связью

Работа ПЗС основывается на свойствах полупроводников и их взаимодействии. Ввести заряд в систему можно как с помощью р-n перехода, так и с помощью фотоэффекта.

р-n-переход или электронно-дырочный переход — область соприкосновения двух полупроводников с разными типами проводимости — дырочной (в полупроводнике р-типа) и электронной (в полупроводнике n-типа).

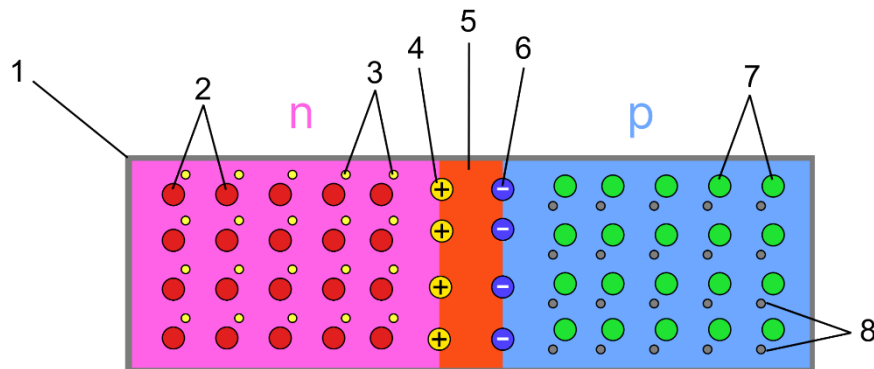


Рисунок 2а – Образование запирающего слоя при контакте полупроводников р- и n- типов

На (рис. 2а) изображены: 1 – кристалл кремния, 2 – атомы донорной примеси, 3 – избыточные электроны, 4 – положительно заряженные ионы, 5 – запирающий слой, 6 – отрицательно заряженные ионы, 7 – атомы акцепторной примеси, 8 – дырки.

Методом диффузии и ионной имплантации в кристалл чистого кремния (1) внедряется атом с пятью валентными электронами (2), один из этих валентных электронов останется свободным от связи с атомами кремния и при попадании кристалла с данной примесью в электрическое поле, избыточный электрон (3) атома примеси будет легко сорван с внешней оболочки и начнет перемещение при гораздо меньшем напряжении, приложенном к полупроводнику, чем в чистом кремнии. Такая примесь называется донорной или отдающей, а полученный полупроводник будет полупроводником n-типа. Полупроводник р-типа получается тем же способом, но в качестве примеси в кристалл кремния внедряется не пятивалентный, а трехвалентный атом (7), это приводит к тому, что одна из связей с соседним атомом кремния окажется не полной и в связи между атомами будет образована дырка (8), свободное место с некомпенсированным положительным зарядом. Такой тип примеси называется акцепторным или принимающим. При попадании такого полупроводника в электрическое поле, электроны с соседних атомов начинают перемещаться на свободные места, дырки. Однако в данном случае реальными носителями заряда все так же остаются отрицательно заряженные электроны. Принимая во внимание тот факт, что для переноса электрона от одного атома к другому, требуется больше энергии чем для свободного перемещения внутри кристалла, то проводимость р-типа всегда слабее электронной при равных условиях. Увеличивая количество примесей в кристалле его

сопротивление падает, а электрические свойства смещаются от изолятора к проводнику.

Если установить контакт между полупроводником n-типа и p-типа (рис 2а), причем обе области должны располагаться на одном кристалле кремния, то начнется процесс диффузии, на месте контакта двух систем электроны получив энергию от тепла покинут свой атом и начнут хаотическое движение, а некоторым электронам удастся преодолеть границу раздела двух систем, которая называется p-n переходом. Дырки, перешедшие из r-области в n-область больше, не дадут электронам перейти из n в r область, притягивая их к себе. То же самое произойдет и на другой половине. Оставшиеся без электронов атомы доноров превратятся в положительные ионы (4), а атомы акцепторов, которые лишились дырок в отрицательные ионы (6), которые тоже не пропустят подвижные носители заряда из своих областей в чужую. В этот момент p-n переход на границе полупроводников прекратиться и образуется запирающий слой (5), а система установиться в электрическое равновесие.

При подключении r-области к минусу источника питания, а n-области соответственно к плюсу, электроны под воздействием электрического поля притянутся к положительному контакту, а дырки соответственно к отрицательному, тем самым запирающий слой будет увеличиваться (рис. 2б). При смене контактов источника питания, электроны так же начнут притягивать к положительному контакту, а дырки к отрицательному, и все же смогут преодолеть p-n барьер преодолев весь кристалл, а из источника питания новые электроны будут двигаться по тому же маршруту, при этом электрическая цепь замкнется и установится непрерывный ток (рис. 2в).

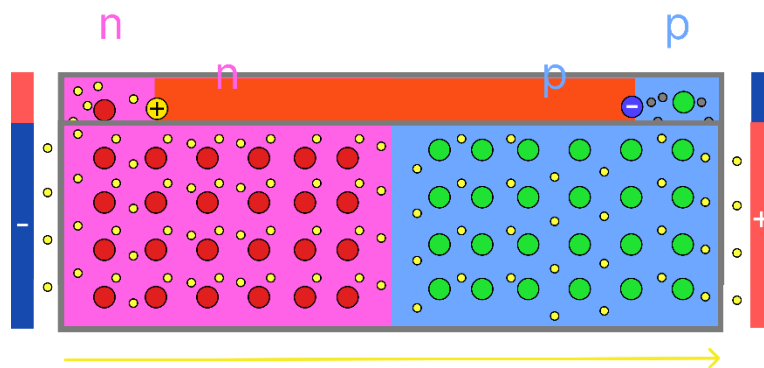


Рисунок 2б – Схема обратного включения p-n перехода

Рисунок 2в – Схема прямого включения p-n перехода

Так же в ПЗС устройствах используется такое свойство полупроводников, как фотоэффект, при воздействии на полупроводник излучения в нем увеличивается количество основных носителей заряда. Данное свойство можно использовать для разработки ПЗС устройств, которое переводит внешнее излучение в электрический сигнал, этот метод широко применяется в устройствах для фиксации изображения. Рассмотрим полную работу устройства на примере ПЗС-матрицы.

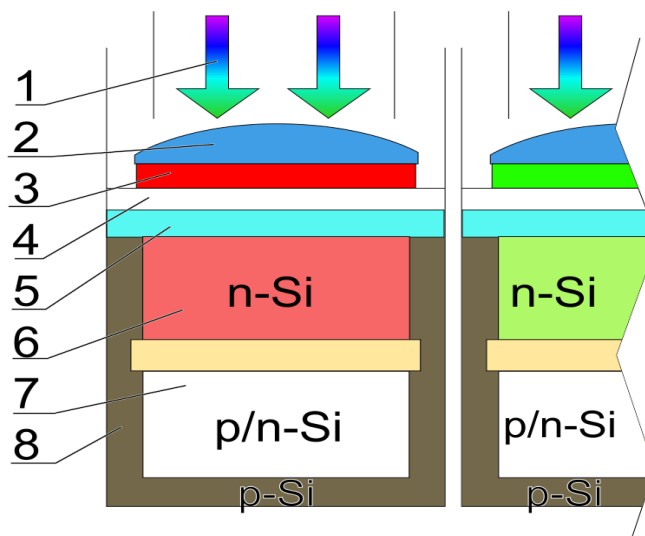


Рисунок 3 – Субпиксель ПЗС-матрицы

На (рис. 3) изображены 1 - излучение, в данном случае фотоны, которые необходимо считать

и МДП структура (один субпиксель) ПЗС матрицы, состоящий из таких элементов как: 2 - микролинза субпикселя которая необходима для того, чтобы матрица захватывала как можно больше света, 3 - светофильтр, который пропускает световые волны определенной длины, в данном случае R - Красный светофильтр, 4 - светопропускающий электрод (затвор), 5 - SiO (диэлектрик), 6 - зона внутреннего фотоэффекта (карман n типа), 7 - зона потенциальной ямы, 8 - кремниевая подложка p – типа.

Рассмотрим, как фотон становится электроном. Свет, падающий на МДП структуру проходя через светофильтр (3), который пропускает волны только необходимой длины, минует прозрачный электрод (4) и проникает вглубь структуры попадая на кремниевую подложку (8), где происходит преобразование света в заряд в результате внутреннего фотоэффекта: световые кванты поглощаются кристаллической решеткой полупроводника с выделением носителей заряда. Это может быть либо пара «электрон + дырка», либо единичный носитель заряда – последнее происходит при использовании донорных или акцепторных примесей в полупроводнике. В данном случае используется акцепторная примесь, соответственно возникать будет лишь единичный носитель заряда. Очевидно, что образовавшиеся носители заряда до момента считывания необходимо как-то сохранить

Для хранения заряда в структуре, кремниевая подложка (8), основной материал ПЗС-матрицы, оснащена каналом из полупроводника n-типа (6), над которым располагается прозрачный для фотонов электрод из поликристаллического кремния (4) с изолирующей прослойкой из оксида кремния (5). При подаче на этот электрод потенциала вокруг него формируется электрическое поле, а под n-каналом в обедненной зоне образуется потенциальная яма, посредством электрического поля избыточные электроны притягиваются к потенциальной яме, в которой и задерживаются. Чем больше фотонов попадет на ПЗС-элемент и превратится в электроны, тем выше будет заряд, накопленный ямой. При этом электроны по мере накопления в яме частично нейтрализуют электрическое поле и в конце концов могут полностью его скомпенсировать, так что всё электрическое поле будет падать только на диэлектрике, и все вернется в исходное состояние - за тем исключением, что на границе раздела образуется тонкий слой электронов. Это обусловлено тем, что к положительному потенциалу притягиваются отрицательно заряженные носители заряда – электроны, а положительно заряженные – дырки – отталкиваются.

После накопления электронов в субпикселях каждого пикселя, заряд, получивший название фототок, необходимо считать из каждой потенциальной ямы матрицы. При считывании заряда используется способность ПЗС-элементов к перемещению зарядов потенциальных ям – собственно, именно поэтому данные устройства называются приборами с зарядовой связью. Для этого на проводник очередной МДП структуры подается напряжение большее, чем у предыдущей, вследствие чего в кремниевой подложке этого элемента образуется более глубокая потенциальная яма, в которую устремляются электроны из предыдущего элемента т.к. потенциал электрического поля больше. Устройство считывания, которое должно получать и записывать заряд с каждой потенциальной ямы, расположено в одном из углов матрицы. Для доставки зарядов к устройству считывания в ПЗС матрице используется два вида переноса заряда: параллельный и последовательный. Параллельный перенос будет осуществлять перенос заряда не одного элемента, а целой строки на последующую, вплоть до сдвигового регистра, одновременно. Последовательный перенос отвечает за постепенный сдвиг заряда к устройству считывания заряда. Оба переноса работают по одному принципу:

При синхронной подаче разного потенциала на проводники МДП-структур обеспечивается одновременный перенос всех зарядов строки справа налево (или слева направо) за один рабочий цикл. Чтобы выполнять все эти переносы необходимо большое количество управляющих микросхем, которые будут синхронизировать подачу потенциалов на оба регистра. Рассмотрим подачу потенциалов и перенос зарядов за один цикл на трехфазном ПЗС устройстве. Для этого будем использовать три шины, которые поочередно будут соединять каждый 3-й элемент начиная с: 1-я шина - с 1-ого элемента, 2-я шина – со 2-ого, 3-я шина - с 3-его. Изначально напряжение на всех шинах мало и одинаково. Подадим напряжение ( $U_2$ ) на первую шину (рис.3а), таким образом создается напряжение на 1-ом элементе и в потенциальную яму скатываются образованные фотоэлектроны. При этом напряжение на 2-ом и 3-ем проводниках равно нулю. Это напряжение является напряжением хранения заряда и ПЗС работает в режиме хранения. Теперь подадим более высокое напряжение ( $U_3$ ) на вторую шину (рис.3б). Напряжение на проводнике 2 будет выше, поэтому электроны с элемента 1 перейдут во второй элемент под действием более сильного электрического поля. Напряжение  $U_3$  является напряжением переноса, а ПЗС работает в режиме передачи заряда. После этого мы уменьшаем напряжение на проводнике 1 до изначального ( $U_1$ ) и напряжение на проводнике 2 до того, которое было на проводнике 1 в момент хранения заряда ( $U_2$ ). Таким образом мы возвращаем ПЗС в режим хранения. Выполняя синхронные подачи напряжений на шины, мы добьемся переноса заряда из одной стороны в другую и перевода его в цифровой сигнал.

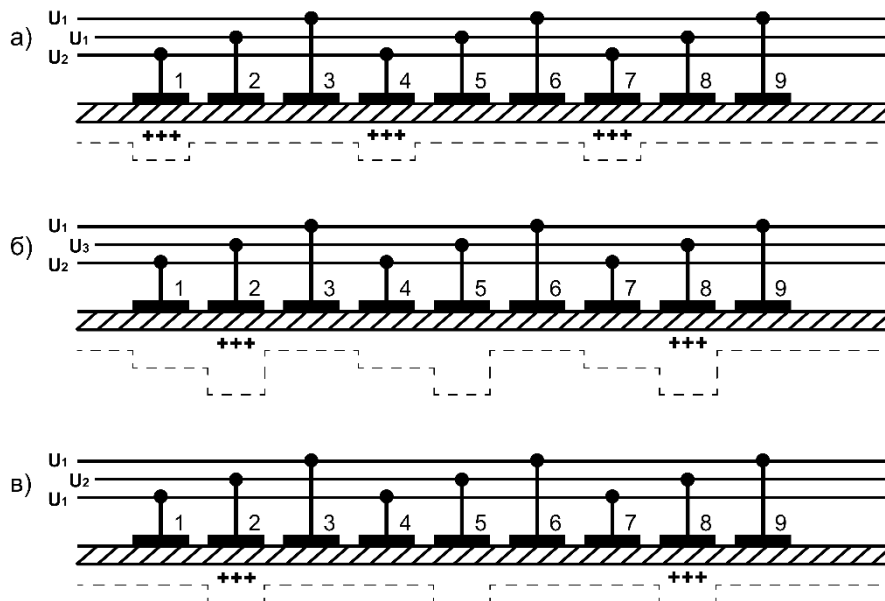


Рисунок 4 – Перемещение зарядов между МДП - структурами

Однако при таком способе считывания можно столкнуться с проблемой того, что при сдвиге генерация электронов не прекращается, а значит в пакеты зарядов попадает избыточный заряд, который портит получаемое изображение. Эта проблема решается добавлением механического затвора, который перекрывает фотонам доступ к матрице, а значит генерация электронов прекращается до момента полного считывания изображения. Однако это решение не может предоставить возможность считывать видеоряд. В камерах видеозаписи, затвора нет, а борьба с избыточным зарядом ведется при помощи буферных элементов. Рядом с основной МДП-структурой, располагается точно такая же, но полностью защищенная от воздействия света буферная структура. При получении заряда, основные МДП элементы передают его на буферные элементы, в которых уже и происходит перенос и считывание зарядов по описанному выше методу.

**Список использованных источников:**

1. Воробьев, С.И., Дороднов, В.А., Шиманский, А.П. Приборы с зарядовой связью. М.: Наука, 1982.
2. Носов, Ю.Р. Приборы зарядовой связи. М.: Знание, 1989.
3. Носов, Ю.Р., Шилин, В.А. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью. М.: Сов. радио, 1976. -141с.
4. Носов Ю.Р., Шилин В. А. Основы физики приборов с зарядовой связью. М.: Наука, 1986.-319с.
5. Ривкин, Я.Я., Енеибарян, В.В. Приборы с зарядовой связью: Физика и применение. М.: Издательство МГУ, 1988.
6. Шилин, В.А. «ПЗС» // Микроэлектроника. Под ред. Васенкова А.А. Выпуск 6. М.: Современное радио, 1973.

## CHARGE COUPLED DEVICES (CCD)

*Dudko M.V., Kravchenko M.D.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Grigoriev A.A. – PhD in Physics and Mathematics*

**Annotation.** This work contains general information about a charge-coupled device, the scope of application of this technology, as well as the physical basis of the operation and design of charge-coupled devices.

**Keywords.** Charge-coupled device (CCD), MIS structures, physics of CCD operation, advantages of CCD, scope and application of CCD, disadvantages of CCD, p-n junctions, CCD-matrix.