

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

АНАЛИЗ И ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ВЫПОЛНЕНИЯ ПРИБОРОВ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

Утверждено редакционным советом
института в качестве методических
указаний к лабораторной работе № I

Куйбышев 1984

УДК 621.382

Рассматривается принцип работы приборов с зарядовой связью (ПЗС), механизм перемещения зарядового пакета.

Описываются конструкции двухфазных и трехфазных ПЗС, технология их изготовления.

Предлагается составить топологический чертёж, структуру кристалла, воспроизвести схему технологического процесса изготовления ПЗС.

Рекомендуется студентам специальности 0705.

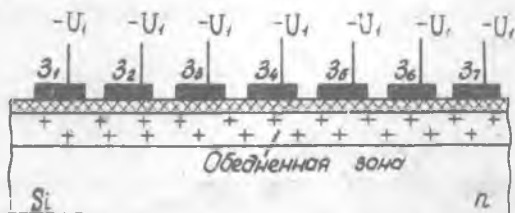
Составитель-М.Н.П и г а н о в

Рецензенты: доц. В.Ф.С о к о л о в,
доц. В.А.Р о ж к о в

Металлические электроды ПЭС называют затворами. При подаче отрицательного напряжения на один из электродов основные носители (электроны) отойдут от поверхности в объем, и в поверхностном слое полупроводника под затвором образуется обедненная основными носителями заряда область. Она является потенциальной ямой для дырок. Глубина этой области зависит от величины приложенного напряжения, удельного сопротивления полупроводника, толщины диэлектрика, электрофизических свойств диэлектрика и границы раздела диэлектрик-полупроводник. Чем больше сопротивление, модуль напряжения и меньше толщина диэлектрика, тем больше глубина обедненного слоя.

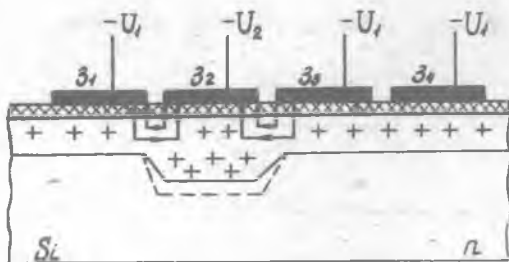
Если на все электроды подать отрицательное напряжение, то образуется единый обедненный слой – обедненные слои МДП-элементов сливаются в связи с малым расстоянием между ними ($H = 2$ мкм). "Дно" этого слоя будет иметь определенный рельеф, который соответствует распределению напряжений на затворах МДП-элементов. Неосновные носители (дырки) будут притягиваться к электродам и собираться в обедненной области. Они могут существовать там длительное время, не рекомбинируя, в связи с малым количеством основных носителей заряда.

Если напряжения на всех затворах одинаковы, то обедненный слой будет иметь одну и ту же глубину вдоль всей поверхности полупроводника (рис.2).



Р и с. 2. Образование обедненного слоя в ПЭС

Если на затвор Z_2 подать более отрицательное напряжение, чем на остальные затворы, то под ним получается "углубление" (рис.3, штриховая линия). На границах затвора Z_2 образуются электрические поля, препятствующие перемещению дырок из под него. Если теперь под этот затвор ввести зарядовый пакет дырок, то он в течение длительного времени будет сохраняться в этой области. Такой режим называют



Р и с. 3. Структура обедненного слоя ПЭС при различных напряжениях на затворах

режимом хранения, а соответствующее этому режиму напряжение U_2 — напряжением хранения. В режиме хранения дырки не могут уйти из-под затвора $З_2$ в связи с наличием тормозящих полей на границах.

При введении дырочного пакета происходит уменьшение заряда "обнаженных" доноров под затвором, т.е. уменьшение глубины обедненной области. Рельеф обедненного слоя для этого случая показан сплошной линией.

Максимально допустимое значение заряда дырочного пакета можно определить по формуле

$$Q_{max} = C_0 (U_2 - U_1) Z L,$$

где C_0 — удельная емкость диэлектрика;

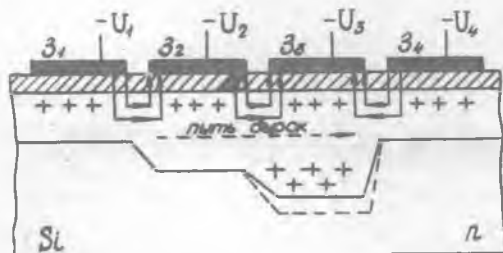
Z — ширина затвора;

L — длина затвора.

Значение Q_{max} ограничено величиной напряжения, при котором рельеф обедненного слоя выравнивается. В этом случае тормозящие поля на границах затвора исчезают и зарядовый пакет дырок распределяется вдоль всей поверхности.

1.2. Механизм перемещения зарядового пакета

Если на затвор $З_3$ подать более отрицательное напряжение, чем на затвор $З_2$, под которым находится зарядовый пакет, то вследствие диффузии и образовавшегося ускоряющего электрического поля дырки будут перемещаться в более глубокую потенциальную яму (рис.4). Зарядовый пакет остановится под затвором $З_3$, поскольку



Р и с. 4. Перемещение зарядового пакета под третий затвор

на границе со следующим затвором действует тормозящее поле. Этот случай называют режимом записи информации, а напряжение U_3 — напряжением записи.

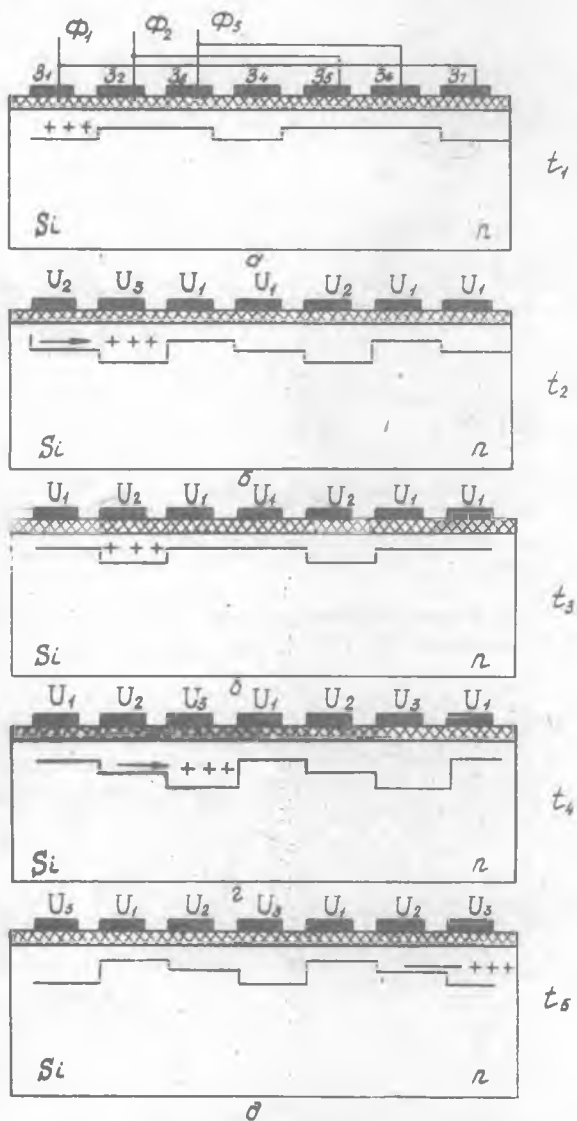
Для управления процессами хранения и записи зарядовых пакетов можно использовать трехфазную схему управления ПЗС. Напряжения фаз подаются на каждый третий затвор (рис.5). Они сдвинуты друг относительно друга на треть периода и меняются в определенной последовательности (рис.6).

Если в момент t_1 на затворы ПЗС подать напряжения, соответствующие показанным на рис.6 и под затвор 3_1 осуществить инжекцию дырок, то дырки сохранятся в этой области, так как на 3_1 действует более отрицательное напряжение, чем на 3_2 . На затворе 3_2 действует напряжение смещения U_1 .

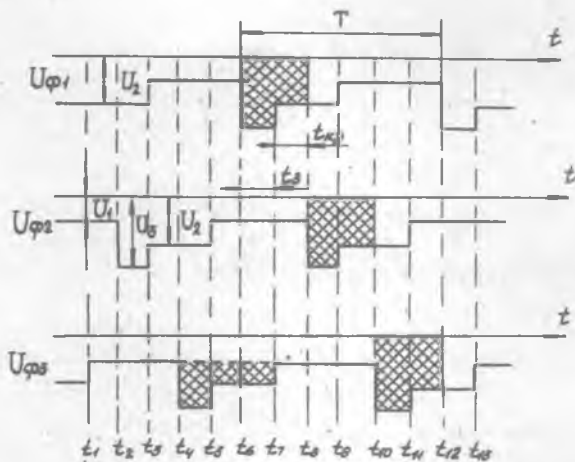
В момент t_2 на затворы 3_2 и 3_5 (фаза $\Phi 2$) будет подано напряжение записи. Дырочный пакет перейдет под затвор 3_2 . В момент t_3 напряжение на 3_2 уменьшится до U_2 , а на 3_1 , 3_4 и 3_7 до U_1 . Это будет режим хранения. В момент t_4 происходит перемещение дырок под затвор 3_3 . Далее происходит их перемещение под следующие затворы.

В момент t_{12} на последнем затворе 3_7 будет действовать напряжение записи. Дырки перейдут от затвора 3_6 к затвору 3_7 и процесс транспортировки дырочного заряда, инжектированного в момент t_1 , будет закончен.

Обычно напряжения хранения и записи получают наложением импульсов специальной формы (см.рис.6 в интервале $t_4 \dots t_7$) на напряжение смещения U_1 , которое постоянно действует на всех затворах.



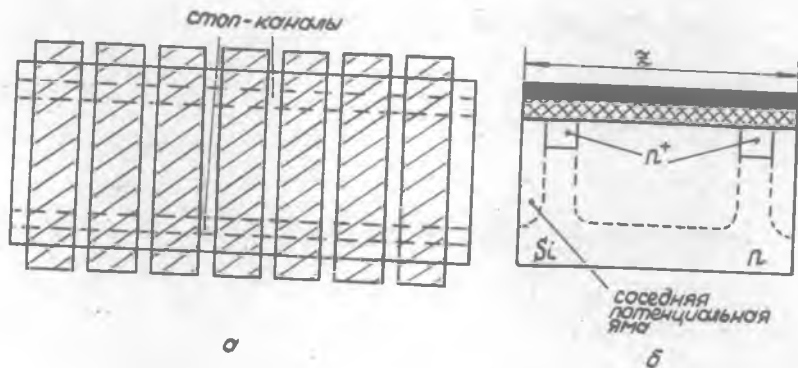
Р и с. 5. Этапы перемещения зарядового пакета



Р и с. 6. Вре-
менные диаграм-
мы питающих на-
пряжений

1.3. Стоп-каналы

Для более направленного перемещения зарядового пакета в ПЭС предусматривают стоп-каналы (рис.7), которые не дают возможности

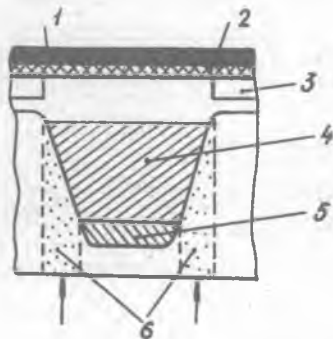


Р и с. 7. Стоп-каналы: а - топология; б - структура кристалла

зарядовым пакетам растекаться в стороны. Стоп-каналы располагают с обеих сторон канала переноса. Они представляют собой области полупроводника с более высоким уровнем легирования, чем полупроводник в канале переноса. Затворы располагают как поверх канала переноса, так и поверх стоп-канальных областей. При подаче на затворы смещения потенциальные ямы будут возникать только в канале переноса. Степень легирования стоп-каналов подбирается такой, чтобы при требуемом смещении на затворе потенциальные ямы под ними не образовывались.

1.4. Фоновый заряд

Для борьбы с захватом носителей на ловушках предложено вводить так называемый фоновый заряд. Если в ПЭС электрическим путем или с помощью освещения ввести равномерно по всем элементам небольшой (несколько процентов от информационного) заряд носителей, то они заполняют свободные ловушки и тем самым предотвращают захват дырок из рабочего зарядового пакета. Влияние ловушек на эффективность переноса информационного заряда резко снизится. Практически при фоновом заряде, составляющем 10...20% от информационного, коэффициент потерь уменьшается на порядок. Однако возможности этого способа ограничены, это связано с тем, что стенки потенциальных ям наклонные и заполняющий яму информационный заряд занимает большую площадь, чем находящийся на дне ямы фоновый заряд. В результате возникает краевой эффект: часть информационных носителей взаимодействует с верхностными ловушками, не заполненными фоновыми носителями. Из рис.8, где представлен разрез ПЭС перпендикулярно направлению переноса, видно, что краевой эффект тем больше, чем меньше ширина канала



Р и с. 8. Образование краевых областей: 1 - электрод; 2 - слой двуоксида кремния; 3 - стоп-канал; 4 - сигналный заряд; 5 - фоновый заряд; 6 - краевые области

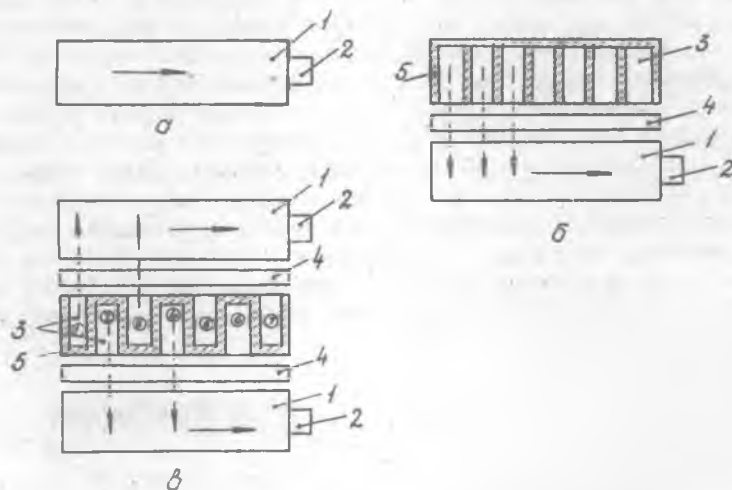
переноса, так как площадь ямы уменьшается, а ширина краевых областей остается неизменной; следовательно возрастает отрицательное влияние краевых областей.

1.5. Применение ПЗС

Приборы с зарядовой связью используют для построения формирователей видеосигнала (ФВС), запоминающих устройств, логических элементов, управляемых линий задержки и др.

Наиболее широко их используют для построения ФВС. Формирователи видеосигнала на ПЗС по конструктивному исполнению можно разделить на линейные и матричные.

Простейший линейный ФВС представляет собой сдвиговый регистр с выходным устройством (рис.9,а). Он работает следующим образом. В



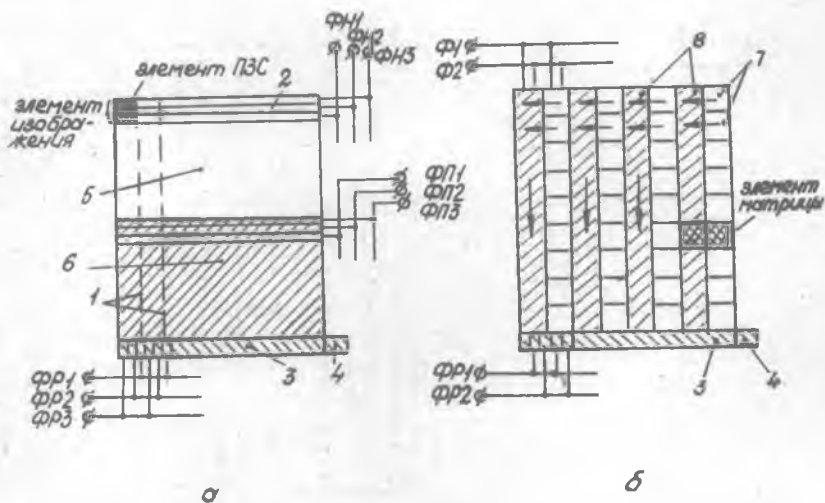
Р и с. 9. Линейные ФВС: а - без разделения областей накопления и переноса; б - с отдельными светочувствительными элементами и одним сдвиговым регистром; в-то же с двумя сдвиговыми регистрами: 1 - сдвиговый регистр; 2 - выходное устройство; 3 - светочувствительные элементы; 4 - разрешающий затвор; 5 - стоп-каналы

течение определенного времени на электроды подает обедняющее смещение. При этом происходит процесс накопления носителей. Затем производят считывание зарядовых пакетов, перемещая их поочередно к выходному устройству. Чтобы исключить смазывание информации, время считывания должно составлять небольшую часть от времени накопления.

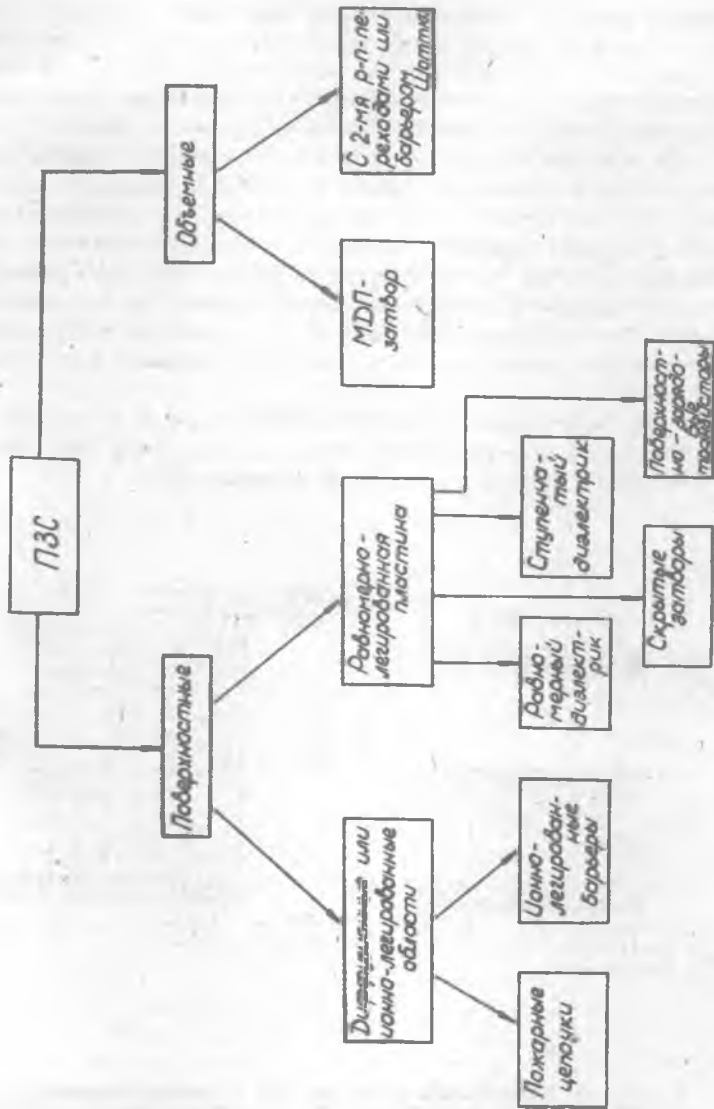
Для уменьшения скорости считывания и увеличения времени накопления функции и области накопления и считывания разделяют (рис.9,б). После того, как процесс накопления закончился, на разрешающий затвор подают обедняющее смещение и зарядовые пакеты всех элементов одновременно переходят под соответствующие электроды сдвигового регистра. В области накопления зарядов начинается следующий период накопления зарядов. Пока он длится, сдвиговый регистр считывает поступившие в него зарядовые пакеты. В этом случае время считывания равно времени накопления.

У ФВС, конструкция которого приведена на рис.9,в рабочая частота сдвигового регистра будет в два раза ниже, чем у предыдущего.

На рис.10 приведены конструкции матричных ФВС.



Р и с. 10. Конструкции матричных ФВС с переносом кадра (а) и строчно-кадровым переносом:(б): 1 - стоп-каналы; 2 - электроды; 3 - сдвиговый выходной регистр; 4 - выходное устройство; 5 - область накопления; 6 - область памяти; 7 - светочувствительные элементы; 8 - сдвиговые регистры



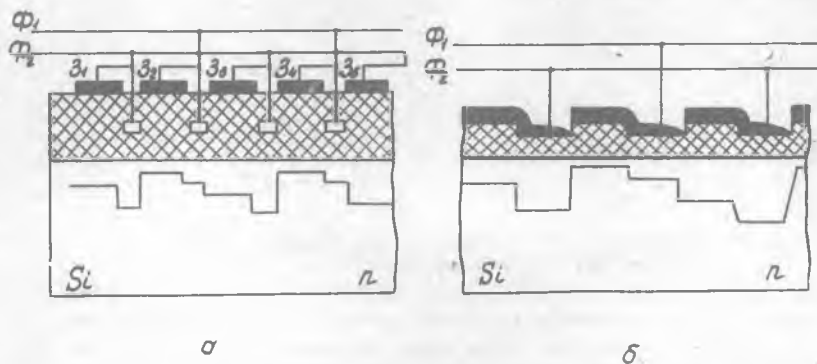
Р и с. II. Классификация приборов с зарядовой связью

2. КОНСТРУКЦИИ ПЭС

ПЭС делятся на приборы с поверхностным и объемным переносом заряда. Классификация ПЭС приведена на рис.11. Более эффективная передача зарядового пакета характерна для ПЭС с объемным переносом, т.е. с углубленным каналом переноса.

Рассмотренная ранее конструкция трехзатворного ПЭС обладает рядом недостатков. В частности, для хранения зарядового пакета необходимо три смежных затвора. В этом случае снижается эффективность использования площади кристалла. Для такого ПЭС требуется трехслойная металлизация. Часто возникают закоротки между близко расположенными затворами.

Более совершенной является ПЭС с двухфазным питанием. Наиболее распространены ПЭС со скрытыми электродами (рис.12, а). В этой струк-



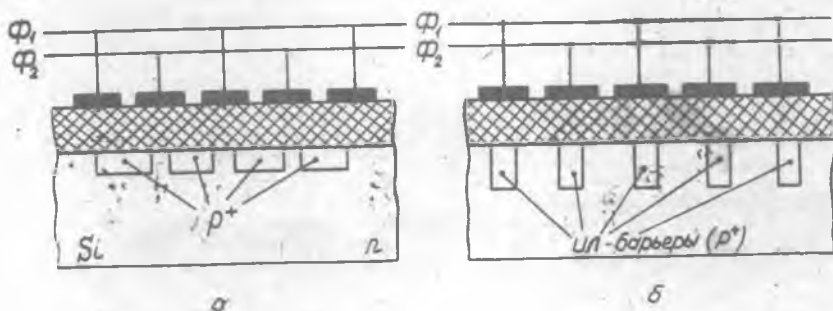
Р и с. 12. Структура двухфазного ПЭС: а-со скрытыми электродами; б - со ступенчатым диэлектриком

туре каждый МДП-элемент содержит два соединенных между собой затвора-скрытый кремниевый и алюминиевый. Иногда скрытый затвор выполняют из тугоплавкого металла, например, молибдена. После приложения напряжения под затвором образуется асимметричная потенциальная яма. Поскольку кремниевые затворы расположены к полупроводнику ближе, чем алюминиевые, то глубина ямы под кремниевым затвором будет больше. Такая конфигурация потенциальной ямы способствует направленному перемещению зарядов. Переместившийся заряд не может вернуться к предыдущему

элементу, несмотря на двухфазное питание. Подобная структура имеет двухслойную металлизацию, более высокую плотность компоновки и степень интеграции.

Другой разновидностью двухтактной ПЭС является структура со ступенчатым диэлектриком (рис.12,б). У такой ПЭС последовательно чередуются области диэлектрика с разной толщиной. Ступеньки получают травлением диэлектрика. Металлизация формируется методом косого напыления, в этом случае получаются узкие зазоры между электродами, так как ступеньки диэлектрика затемяют зазоры. Изменяя угол напыления, можно управлять величиной зазора. Недостатком данного и предыдущего ПЭС является сложность технологии изготовления.

Структуры ПЭС с диффузионными областями (рис.13,а) часто назы-



Р и с. 13. Структура ПЭС с диффузионными областями (а) и ионно-легированными барьерами (б)

вают ПЭС на "пожарных" цепочках. Каждая диффузионная область является стоком для одного элемента и истоком для другого. Затвор перекрывает диффузионные p^+ -области. Между этими областями образуется сильная емкостная связь. Зарядовые пакеты дырок хранятся в обратносмещенных p^+ -областях. При подаче на затворы тактового напряжения p^+ -области подзаряжаются (режим хранения). В режиме записи на каждый второй затвор поступает импульс. Между соответствующими электродами образуются каналы, и дырки переходят в более глубокие потенциальные ямы. Направленное перемещение зарядовых пакетов в таких цепочках обеспечивается определенным расположением затворов относительно диффузионных областей. В таких структурах устраняется влияние зазоров на работу ПЭС.

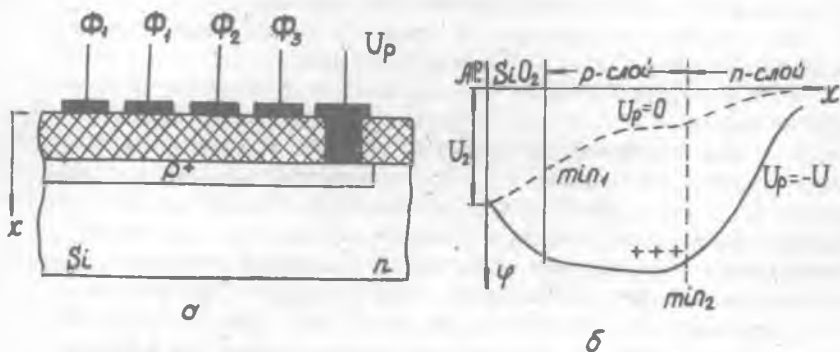
Направленное перемещение зарядовых пакетов можно обеспечить путем создания в каждом МДП-элементе ИЛ-области (рис.13,б), которые

имеют более высокую концентрацию примеси, чем основной объем полупроводника.

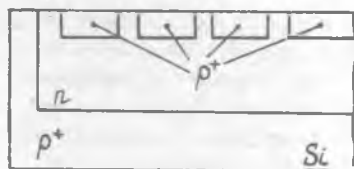
Среди ПЭС с объемным переносом заряда широко распространена структура со скрытым (углубленным) каналом (рис.14). На кристалле n -типа выращивают эпитаксиальный p^+ -слой толщиной в несколько микрон. Концентрация акцепторов на порядок больше, чем концентрация доноров в объеме кристалла. Распределение потенциала в структуре при $U_p = 0$ показано штриховой линией. При $U_p = -U$ распределение потенциала показано сплошной линией ($p-n$ - переход находится под обратным смещением). Минимум потенциала перемещается от границы с диэлектриком в глубь p -области. Там и будут располагаться пакеты дырок. Зарядовые пакеты в таком ПЭС изолированы от поверхности. В связи с этим увеличивается подвижность носителей заряда и устраняется влияние приповерхностных ловушек. Оба эти фактора способствуют увеличению быстродействия и снижению коэффициента потерь. Недостатком данной структуры является необходимость использования более высоких рабочих напряжений в связи с тем, что потенциальная яма удалена от поверхности.

В таких конструкциях граница раздела диэлектрик-полупроводник не участвует в работе ПЭС. Следовательно, принципиальной необходимости в ней нет. Это позволило создать две новые разновидности ПЭС: приборы с двумя $p-n$ - переходами и барьером Шоттки (рис.15). Принцип их работы аналогичен ПЭС со скрытым каналом. В первом случае роль МДП -затворов, которые модулируют ширину обедненного слоя, играют обратносмещенные $p-n$ - переходы, во втором -барьеры Шоттки.

ПЭС с двумя $p-n$ - переходами обладают более высокой радиа-



Р и с. 14. ПЭС с углубленным каналом: а - структура кристалла; б- распределение потенциала по кристаллу



а



б

Р и с. 15. ПЗС с двумя р-п-переходами (а) и барьером Шоттки (б)

ционной стойкостью и позволяют работать в длинноволновой области спектра. Однако они обладают большими токами утечки. Барьер Шоттки соответствует обратносмещенному $p^+ - n$ - переходу. Токи утечки через барьеры Шоттки больше, чем р - n - переходы, поэтому и зремена хранения в этом случае будут меньше.

3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЗС

Схема технологического процесса изготовления двухфазного ПЗС со скрытым каналом показана на рис.16.

Пластины кремния два раза обрабатывают в кипящем перекисно-аммиачном растворе и в деионизированной воде. После сушки производят окисление в потоке кислорода с добавкой хлористого водорода до получения диэлектрического слоя толщиной 0,2...0,3 мкм.

Для создания стоп-каналов n-типа используют мышьяк. В качестве маски при ионном легировании используют фоторезист.

Слой поликремния наносят методом пиролиза моносилана. Толщина слоя составляет 0,4...0,5 мкм. Поликремниевые электроды должны иметь высокую проводимость, поэтому их легируют до максимально возможного уровня. Легирование в процессе осаждения поликремния, проводимого при температуре 650-700°C, не позволяет получить максимально высокую проводимость; поэтому используют дополнительную операцию легирования при температуре 1000-1050°C. В качестве легирующей примеси используют фосфор, позволяющий получить малое сопротивление.

Фотолитографию областей под входные диоды, стоки и истоки МОП-транзисторов, плавающие диффузионные области проводят, не вскрывая окисел.

Осаждение алюминия и последующую фотолитографию производят дважды для получения двухслойной металлизации. Вжигание алюминия проводят при температуре 450–525°C в аргоне или водороде.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка содержит микроскоп МБС-9, МИИ-4 и набор исследуемых ПЭС.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

I. Ознакомиться с заданием.

2. Получить у преподавателя ПЭС.

3. Изучить конструкцию ПЭС, определить его тип и метод введения зарядового пакета и вывода заряда.

4. Определить длину зазора между электродами.

5. Зарисовать эскиз общего вида топологии.

6. Воспроизвести структуру кристалла ПЭС.

7. Замерить геометрические размеры кристалла.

8. Определить плотность упаковки и степень интеграции ПЭС.

9. Воспроизвести схему технологического процесса изготовления ПЭС.

10. Ознакомиться с условиями эксплуатации и электрическими параметрами ПЭС.

II. Зарисовать эскиз корпуса ПЭС.

12. Сделать выводы о возможных областях применения изученного ПЭС.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

I. Цель работы.

2. Краткое описание ПЭС (тип, конструкция, метод введения зарядового пакета, метод вывода заряда).

3. Эскиз общего вида топологии.

4. Структура кристалла изученного ПЭС.

5. Эскиз корпуса.

6. Расчет плотности упаковки и степени интеграции.

7. Схема технологического процесса изготовления изученного ПЭС.

8. Электрические параметры и условия эксплуатации ПЭС.

9. Выводы.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Что такое ПЭС?
2. Принцип работы ПЭС.
3. Процесс формирования и переноса зарядового пакета.
4. Нарисуйте схему технологического процесса изготовления ПЭС заданной конструкции.
5. Области применения ПЭС.
6. Технологические ограничения при изготовлении ПЭС.
7. Классификация ПЭС.
8. Нарисуйте структуру кристалла ПЭС заданного типа (3-х, 2-х фазная система питания, ПЭС со скрытым каналом).
9. Параметры ПЭС.
10. Методы ввода и вывода зарядового пакета.

Л и т е р а т у р а

Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. -М.:Сов.радио, 1980. - 424 с.

Носов Ю.Р., Шилин В.А. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью. -М.:Сов.радио, 1976. - 144 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Теоретические основы работы	3
1.1. Принцип работы ПЭС.....	3
1.2. Механизм перемещения зарядового пакета. .	5
1.3. Стоп-каналы.....	8
1.4. Фоновый заряд ..	9
1.5. Применение ПЭС.....	10
2. Конструкции ПЭС.....	13
3. Технология изготовления ПЭС.....	16
4. Описание лабораторной установки.....	18
5. Порядок выполнения работы.....	18
6. Содержание отчета.....	18
Контрольные вопросы.....	19
Литература.....	19

Редактор Е.Д.Антонова
Техн.редактор Н.М.Каленюк
Корректор С.С.Рубан

Подписано в печать 31.05.84. Формат 60x84 1/16.

Бумага оберточная белая. Печать оперативная.

Усл.п.л. 1,16. Уч.-изд.л. 1,1. Т. 500 экз.

Заказ 5084 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Молодогвардейская, 151.

Областная типография имени В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцева, 60.