Задание -2 Основы электроники 45 группа 13.04.2020

Уважаемая 45 группа у вас начинается новый предмет «Основы электроники»
Веду я, Андреева Н И

Учебник:

Основы электротехники (Кузнецов М.И.) rateli.ru
Учебники | Электротехника Таблица 1.1 **booksite.ru**›fulltext/sindeev/text.pdf

Учебник физики 10 класс Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский можно найти в интернете:

1. Физика 10 класс. Мякишев. Онлайн учебник лена24.рф›Физика_10_кл_Мякишев/index.html
2. **Учебник Физика 10 класс** Мякишев Буховцев Сотский **uchebnik-skachatj besplatno.com**›Физика…10 класс…

1. Прочитать и записать конспект.
2. Сделать задание и результат прислать на электронную почту

Транзисторы
1.Назначение и виды транзисторов

Как мы видим, *p-n*– переход может выполнять весьма разнообразные функции, однако, он не может быть активным элементом усилительных и генераторных схем. Таким элементом может быть транзистор. Кроме усиления и генерирования, транзистор может выполнять и другие функции. Транзисторы являются основными элементами современных микросхем. В этом случае в одном кристалле полупроводника создается одновременно групповым методом большое количество (несколько миллионов) одинаковых транзисторных структур.

В зависимости от принципа действия транзисторы можно разделить на две большие группы: биполярные и полевые.

2.Биполярные транзисторы
2.1 Структура и режимы работы биполярного транзистора

Биполярный транзистор – один из важнейших полупроводниковых приборов – был изобретен группой исследователей фирмы Bell Laboratories в 1947-48 гг. За это важное открытие Дж. Бардину, У. Бардину и У. Шокли была присуждена Нобелевская премия по физике 1956 года.

Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими электронно-дырочными переходами и тремя выводами, усилительные свойства которых обусловлены явлением инжекции и экстракции неосновных носителей заряда.

Термин «биполярный» подчеркивает роль обоих типов носителей заряда (электронов и дырок) в работе этой группы транзисторов.

Биполярный транзистор состоит из трех областей. Среднюю часть называют *базой*. К базе с двух сторон примыкают области противоположного типа электропроводимости. Таким образом, в едином монокристалле образованы два электронно-дырочных перехода. Примыкающие к базе области обычно делают неодинаковыми.*Область транзистора, основным назначением которой является инжекция носителей в базу, называют эмиттером, соответствующий p-n-переход – эмиттерным. Область транзистора, основным назначением которой является экстракция носителей из базы, называют коллектором, соответствующий p-n переход – коллекторным.*

Эмиттерная область – самая сильно легированная из трех областей транзистора. База транзистора должна быть тонкой, так как взаимодействие между переходами может осуществляться лишь в том случае, если толщина базы будет намного меньше диффузной длины неосновных носителей заряда.

Существуют два типа биполярных транзисторов: p-n-p и n-p-n, схематическое изображение которых приведено на рис 8.1.

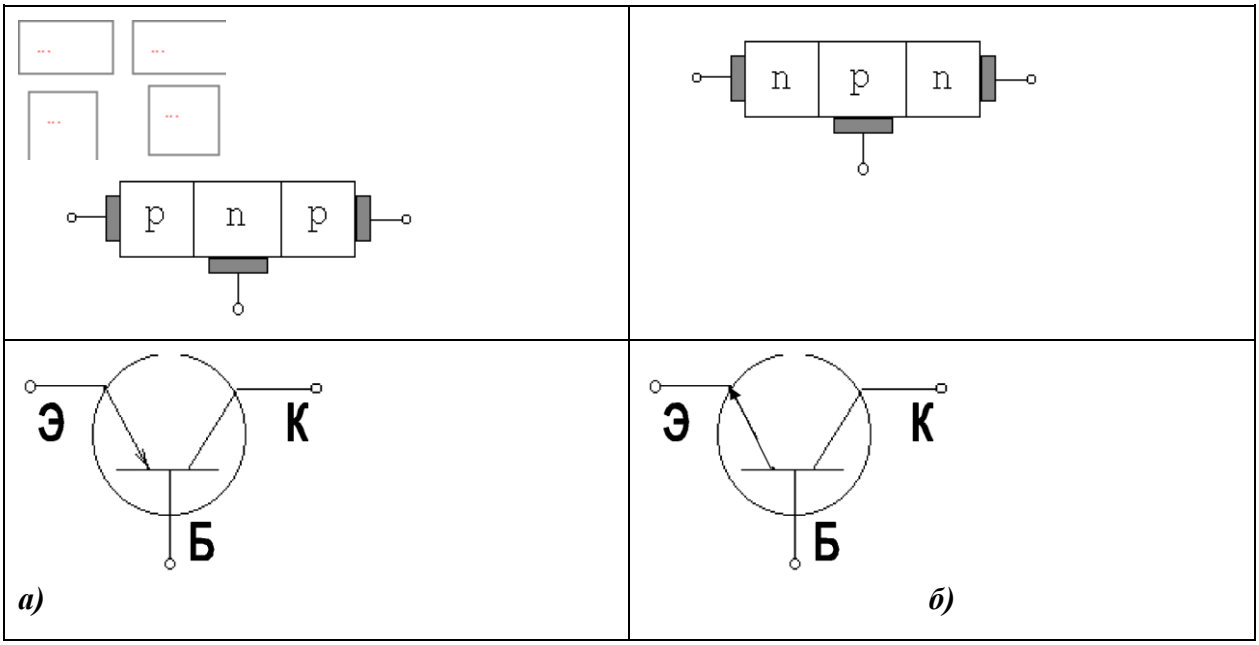


Рис.8.1 Схематическое изображение биполярных транзисторов и их обозначения на электронных схемах: а) p-n-p транзистор; б) n-p-n транзистор; Э – эмиттер, Б– база, К – коллектор

Каждый из двух p-n-переходов биполярного транзистора может быть включен либо в прямом, либо в обратном направлении. Это соответствует трем режимам работы транзистора:

- *режим отсечки*– оба p-n-перехода включены (смещены) в обратном направлении (заперты), через них проходят сравнительно малые токи;
- *режим насыщения*– оба p-n-перехода смещены в прямом направлении (открыты) при этом через транзистор проходят относительно большие токи;
- *активный режим*– один из переходов (эмиттерный) смещен в прямом направлении, а другой (коллекторный) — в обратном.

В режиме отсечки и режиме насыщения управление транзистором почти отсутствует. В активном режиме такое управление осуществляется наиболее эффективно. Причем транзистор может выполнять функции активного элемента электрической схемы (усиление, генерирование, переключение и т.п.).

Основные характеристики транзистора определяются в первую очередь процессами, происходящим в базе. В зависимости от распределения примесей в базе может существовать или отсутствовать электрическое поле. Если при отсутствии тока в базе существует электрическое поле, которое способствует движению неосновных носителей заряда от эмиттера к коллектору, то транзистор называют *дрейфовым*, если же поле в базе отсутствует, то транзистор называют*бездрейфовым*.

2.2.Схемы включения биполярных транзисторов

Различают три схемы включения транзистора: с общим эмиттером, общей базой и общим коллектором. Общим называют электрод, относительно которого измеряют и задают напряжения.

2.3.Физические процессы в транзисторе

Схема включения с общей базой позволяет лучше раскрыть физические процессы, протекающие в транзисторе. Поэтому далее мы рассмотрим бездрейфовый n-p-n-транзистор в активном режиме в схеме с общей базой. Энергетическая диаграмма такого транзистора приведена на рис. 8.2.

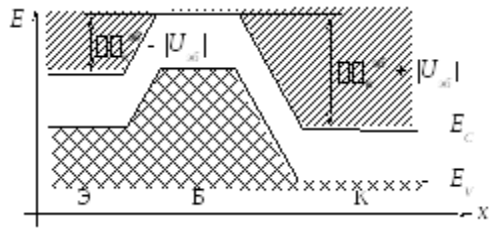


Рис.8.2. Энергетическая диаграмма биполярного n-p-n транзистора в активном режиме. E_c – дно зоны проводимости E_v – потолок валентной зоны, $\Delta\varphi_к^{эб}$ и $\Delta\varphi_к^{эб}$ - контактные разности потенциалов эмиттерного и коллекторного переходов

На эмиттерный переход подают прямое напряжение *($U_{эб}$)*,его величина для транзистора малой мощности обычно составляет несколько долей вольта. Под действием этого напряжения создается внешнее электрическое поле, вектор напряженности которого направлен навстречу вектора диффузионного (внутреннего) электрического поля эмиттерного перехода. Чем больше напряжение$U_{эб}$,тем ниже потенциальный барьер (см. рис. 8.2) в эмиттерном переходе, тем больше носителей заряда (в данном случае электронов) преодолевает его и попадает из эмиттера в базу.

На коллекторный переход подают обратное напряжение. Как известно (см. раздел 5.1.3), при обратном смещении p-n-перехода через него идет ток неосновных носителей. Электроны, инжектированные в p-базу, являются в ней неосновными носителями. Неосновные носители, оказавшиеся вблизи коллекторного перехода, попадают в ускоряющее их электрическое поле коллекторного перехода и втягиваются в коллектор – происходит экстракция неосновных носителей заряда.

Таким образом, неосновные носители в базе распределены неравномерно: их концентрация велика вблизи эмиттерного перехода и мала вблизи коллекторного. Как следствие наличия градиента концентрации возникает диффузия. *Перенос неосновных носителей* (электронов)*через базу в бездрейфовых транзисторах осуществляется посредством диффузии*. Инжектированные из эмиттера электроны через базовую область доходят до коллекторного перехода.

Из принципа действия транзистора следует, что ток, текущий через эмиттерный переход $I_э$, является управляющим током, от величины которого зависит ток в цепи коллектора$I_к$ ($I_к$ – управляемый ток). В идеальном n-p-n транзисторе ток образован только электронами, причем все электроны, инжектированные в базу, доходят до коллекторного перехода ($I_э = I_к$). Работа реального транзистора характеризуется следующими особенностями.

При малых напряжениях на эмиттерном переходе высота потенциального барьера на переходе еще велика. Тогда многие электроны не смогут преодолеть потенциальный барьер, однако вблизи середины p-n - перехода может происходить их рекомбинация с электронами. Составляющую прямого тока, связанную с процессом рекомбинации носителей в p-n -переходе, называют *рекомбинационным током*. С ростом напряжения на эмиттерном переходе вклад рекомбинационной составляющей тока уменьшается. Эмиттерный ток образуется не только при движении электронов из эмиттера в базу. Некоторый вклад в него вносят дырки, движущиеся из базы в эмиттер. Вклад дырочной составляющей тока необходимо уменьшать. В базе транзистора происходит рекомбинация инжектированных электронов с дырками базы. Желательно, чтобы эта рекомбинация была незначительна.

Чтобы уменьшить влияние последних двух факторов, уменьшают толщину базы и снижают концентрацию основных носителей (электронов в рассматриваемой структуре) в базе. Это достигается более высокой степенью легирования эмиттера по сравнению с базой.

Площадь коллекторного перехода обычно в несколько раз больше площади эмиттерного перехода, что позволяет коллектору собирать даже те неосновные носители заряда (электроны), которые передвигаются от эмиттера под некоторым углом к оси транзистора. Вывод базы располагают по возможности дальше от эмиттера. Несмотря на эти меры, незначительная часть инжектированных электронов все же доходит до базового вывода и рекомбинирует на нем.

Небольшое изменение тока связано также с рекомбинацией на поверхности кристалла, в объемах эмиттера и коллектора; возможна генерация носителей в коллекторном переходе и т.д.

Коллекторный переход смещается в обратном направлении, на него подается сравнительно высокое (единицы, десятки вольт) по модулю напряжение $U_{кб}$.Концентрация примесей (доноров) в коллекторе должна быть меньше, чем в эмиттере, поскольку в этом случае коллекторный переход получается более широким и возрастает его напряжение пробоя.

В результате принятых мер коллекторный ток транзистора в активном режиме примерно равен эмиттерному

$I_к \approx I_э$, (8.2.1)

а ток базы мал: он значительно меньше как тока коллектора, так и тока эмиттера. Его можно найти, вычитая из эмиттерного тока коллекторный:

$I_б = I_э - I_к$. (8.2.2)

Рассмотрим, как происходит усиление в транзисторе при активном режиме его работы.

В схеме с общей базой в выходной (коллекторной) цепи идет практически тот же ток, что и во входной, следовательно, усиление по току в данном случае отсутствует. Однако эта схема дает возможность получить усиление по мощности. Ввод носителей в область базы через эмиттерный переход связан с затратой сравнительно небольшой энергии, так как падение напряжения на эмиттерном переходе невелико. Однако носители, введенные в область базы, попадают затем в коллекторный переход, а оттуда – во внешнюю цепь. Падение напряжения на коллекторном переходе и на включенной последовательно с ним нагрузке значительно больше, чем на эмиттерном переходе. Значит, прохождение носителей через цепь коллектора вызывает отбор от источника питания значительно большего количества энергии, чем было затрачено на введение носителей в базу.

В схеме с общим эмиттером входной цепью является цепь базы, а ток базы существенно меньше тока эмиттера, таким образом, в схеме с общим эмиттером можно получить усиление как по мощности, так и по току.

3.Полевые транзисторы

3.1.Разновидности полевых транзисторов

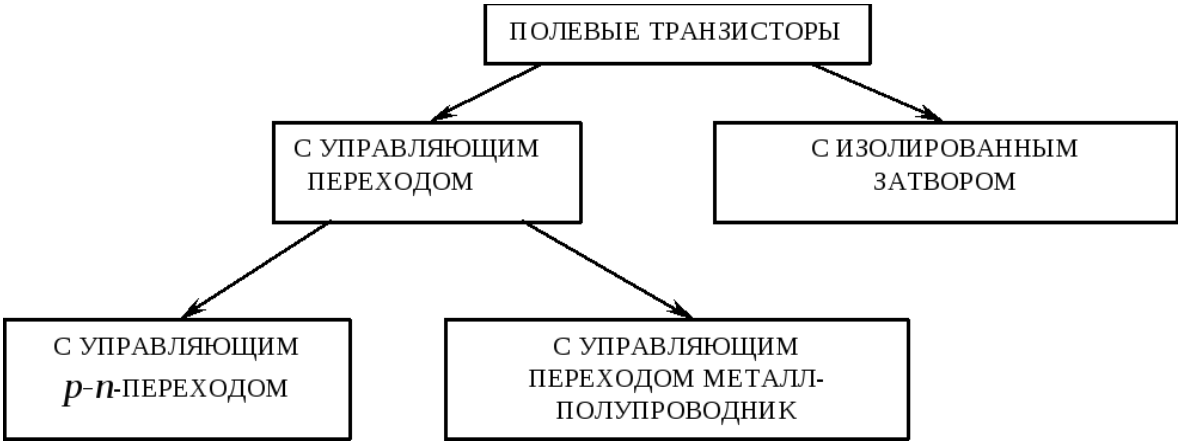
Полевой транзистор - это полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающих через проводящий канал, управляемым электрическим полем.

Термин «полевые» обусловлен тем, что управление осуществляется непосредственно полем (входным напряжением), в то время, как в биполярных управление входным сигналом производится

входным током. Ток в полевых транзисторах протекает через проводящий канал, поэтому также их называют *канальными.*Существует и еще одно название полевых транзисторов –*униполярные*, так как их работа основана на использовании только одного типа носителей заряда – основных.

Различают полевые транзисторы с управляющим переходом и с изолированным затвором (см. рис. 8.3).

Рис. 8.3.



Классификация полевых транзисторов по принципу действия.

Названия электродов у полевых транзисторов иные, чем у биполярных. Электрод полевого транзистора, через который в проводящий канал входят носители заряда, называют *истоком***.** Электрод полевого транзистора, через который из канала выходят носители заряда, называют*стоком***.** Электрод, на который подают сигнал, называют*затвором*.

Проводящий канал может иметь электропроводность как n-,так и p-типа. Все полярности напряжений смещения, подаваемых на электроды полевых транзисторов с n- и p- каналами, противоположны.

*Полевые транзисторы, имеющие проводящие каналы с разными типами электропроводности,называют комплементарными***,**т.е. дополняющими друг друга по типу электропроводности проводящих каналов. Комплементарные транзисторы оказываются удобными для построения ряда схем.

3.2.Полевые транзисторы с управляющим переходом

Впервые полевой транзистор с p-n-переходом в качестве затвора предложил и проанализировал Шокли в 1952 году. Этот прибор выполняет функцию резистора, управляемого напряжением.

Первый униполярный транзистор, который работал по принципу, предложенному Шокли, был изготовлен и продемонстрировал в 1955 г. Дейки и Россоном.

Полевой транзистор с управляющим переходом - это полевой транзистор, управление потоком основных носителей в котором происходит с помощью выпрямляющего электрического перехода, смещенного в обратном направлении.

Чаще всего такие приборы изготовляют из кремния, а выпрямляющим переходом является p-n-переход.

Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом имеет два омических перехода к области полупроводника, по которой проходит управляемый поток основных носителей и один или два управляющихp-n-перехода, смещенных в обратном направлении.

Рис. 8.4. Обозначение полевых транзисторов с управляющим p-n-переходом: а) с n-каналом; б) с p-каналом

На схемах полевые транзисторы обозначаются так, как показано на рис. 8.4.

Структура полевого транзистора показана на рис. 8.5.

При изменении обратного напряжения на управляющем p-n-переходе изменяется его толщина (толщина области объемного заряда), а следовательно, изменяется и толщина области, на которой проходит управляющий поток основных носителей заряда.

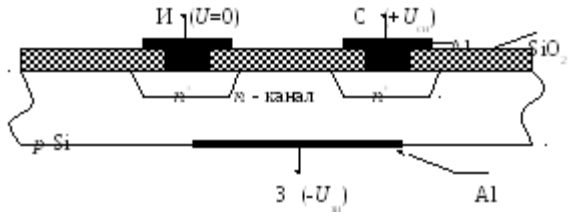


Рис. 8.5. Структура полевого транзистора с управляющим p-n-переходом

Как и в случае биполярных транзисторов, возможны три схемы включения полевого транзистора: с общим истоком, с общим затвором и общим стоком (применяется редко). На рис. 8.6 приведена схема включения с общим истоком.

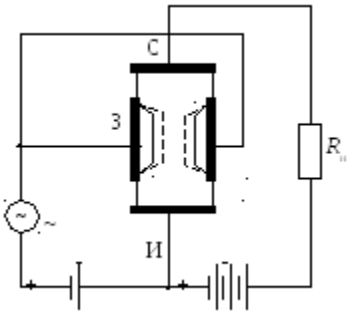


Рис. 8.6. Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом.

Схема включения с общим истоком

Управление током стока, т.е. током от внешнего относительно мощного источника питания в цепи нагрузки, происходит при изменении обратного напряжения на p-n-переходе затвора (или на двух p-n-переходах одновременно). В связи с малостью обратных токов, мощность, необходимая для управления тока стока и потребляемая от источника сигнала в цепи затвора, оказывается ничтожно малой. Поэтому полевой транзистор может обеспечить усиление электрических сигналов как по мощности, так и по току, и по напряжению.

8.3.3. Полевые транзисторы с изолированным затвором. Структуры мдп-транзисторов

Полевой транзистор с изолированным затвором – это полевой транзистор, имеющий один или несколько затворов, электрически изолированных от проводящего канала.

Полевые транзисторы данного типа в настоящее время является основным элементом сверхбольших и ультрабольших интегральных схем (СБИС и УБИС), таких как микропроцессоры и полупроводниковые запоминающие устройства. В последнее время они находят широкое применение и в мощных схемах.

Поскольку ток в транзисторах с изолированным затвором переносится в основном носителями одного типа (электронами в n-канале и дырками в p-канале), эти транзисторы относят к классу униполярных приборов.

Структура полевых транзисторов с изолированным затвором показана на рис.8.7.

В кристалле полупроводника с относительно высоким удельным сопротивлением, который называют подложкой, созданы две сильнолегированные области с противоположным типом электропроводности. На эти области нанесены металлические электроды – исток и сток.

Расстояние между сильнолегированными областями истока и стока может составлять всего несколько микрометров. Поверхность кристалла полупроводника между истоком и стоком покрыта тонким (порядка 0,1 мкм) слоем диэлектрика. На слой диэлектрика нанесен металлический электрод

- затвор. Получается структура, состоящая из слоев металла, диэлектрика и полупроводника (МДП-структура).

Полевой транзистор с изолированным затвором называют МДП-транзистором.

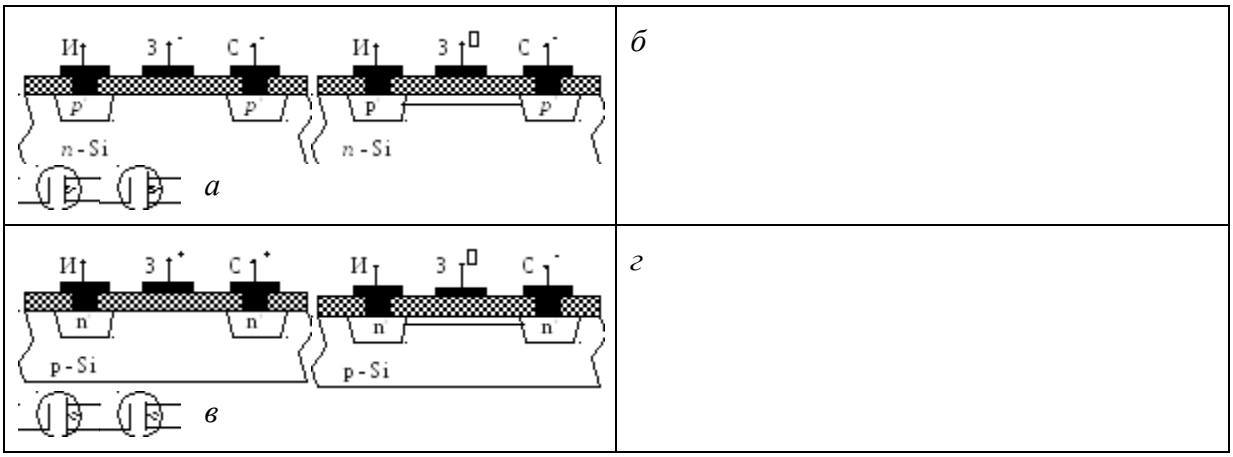


Рис.8.7. Структуры и обозначения полевых транзисторов с изолированным затвором:

а) с индуцированным p-каналом; б) со встроенным p-каналом; в) с индуцированным n-каналом ; г) со встроенным n-каналом

3.4.Принцип действия мдп-транзисторов с индуцированным каналом

Рассмотрим p-канальный МДП-транзистор в схеме включения с общим истоком. Потенциал истока считаем равным нулю. При напряжении затворе относительно истока, равном нулю и при наличии напряжения на стоке $(U_{ЗИ} = 0,\ U_{СИ} \neq 0)$ток стока оказывается ничтожно малым. Он представляет собой обратный ток p-n-перехода между подложкой и сильнолегированной областью стока.

При отрицательном потенциале на затворе при $|U_{ЗИ}|<|U_{ЗИпор}|$ у поверхности полупроводника возникают обедненный слой и область объемного заряда, состоящая из ионизированных нескомпенсированных примесных атомов (в рассматриваемом случае - доноров). При$|U_{ЗИ}|>|U_{ЗИпор}|$у поверхности полупроводника под затвором возникает инверсный слой, который и является проводящим каналом между истоком и стоком.

С изменением напряжения на затворе изменяется концентрация носителей заряда в проводящем канале, а также толщина этого канала. *Основной причиной модуляции сопротивления проводящего канала в МДП-транзисторах с индуцированным каналом является изменение концентрации носителей в проводящем канале* (в полевых транзисторах с управляющим переходом основной причиной является изменение толщины канала).

При изменении сопротивления проводящего канала меняется и ток стока, то есть происходит управление током стока. В связи с тем, что затвор отделен от подложки диэлектрическим слоем, ток в цепи затвора ничтожно мал, мала и мощность, потребляемая от источника сигнала в цепи затвора и необходимая для управления относительно большим током стока. Таким образом, МДП-транзистор с индуцированным каналом может производить усиление электрических сигналов по напряжению и по мощности.

Исходным полупроводником для полевых транзисторов с изолированным затвором в основном является кремний. Поэтому в качестве диэлектрика под затвором используется обычно слой диоксида кремния SiO, выращенный на поверхности кристалла путем высокотемпературного окисления.

Полевой транзистор с изолированным затвором, в котором в качестве изоляционного слоя между металлическим затвором и проводящим каналом использован оксид полупроводника, называют МОП-транзистором. Существуют две разновидности МДП-транзисторов: с индуцированным каналом и со встроенным каналом.

В МДП-транзисторах с индуцированным каналом (рис. 8.7 *а*) проводящий канал между сильнолегированными областями истока и стока и, следовательно, заметный ток стока появляются при определенной полярности и при определенном значении напряжения на затворе относительно истока, которые называют пороговым напряжением*($U_{СИпор}$).*

В МДП-транзисторах со встроенным каналом (рис. 8.7 б) у поверхности полупроводника под затвором при нулевом напряжении на затворе относительно истока существует инверсный слой - канал, который соединяет исток со стоком.

Изображенные на (рис. 8.7 *а*и*б*) структуры имеют подложку с электропроводностью n-типа. Поэтому сильнолегированные области под истоком и стоком, а также индуцированный и встроенный канал в данном случае имеют электропроводностьр-типа. На рис.8.7*в*и*г*изображены структуры сn-каналом.

Выпрямляющие электрические переходы под истоком и стоком чаще всего выполнены в виде p-n-переходов.

3.5. Мдп-транзисторы со встроенным каналом

В МДП-транзисторах со встроенным каналом проводящий канал под затвором существует при отсутствии напряжения на затворе. Проводящий канал под затвором МДП-транзистора может быть создан в результате локальной диффузии или ионной имплантации соответствующих примесей в приповерхностный слой подложки. Он может возникнуть из-за перераспределения примесей вблизи поверхности полупроводниковой подложки в процессе термического окисления ее поверхности. Наконец, проводящий канал может появиться под затвором из-за фиксированного заряда в подзатворном диоксиде кремния, а также из-за наличия контактной разности потенциалов между металлом затвора и полупроводником подложки.

Модуляция сопротивления канала происходит при изменении напряжения как положительной, так и отрицательной полярности. Таким образом, МДП-транзистор со встроенным каналом может работать в двух режимах: в режиме обогащения и в режиме обеднения.

4. Сравнение полевых транзисторов с биполярными

1. Принцип действия. В биполярном транзисторе управление входным сигналом производится входным током, а в полевом - входным напряжением или электрическим полем.

2. Биполярные транзисторы имеют низкое входное сопротивление, а полевые – высокое.

3. Полевые транзисторы, как правило, обладают более низким уровнем шума (особенно на низких частотах). В биполярных транзисторах на низких частотах шумы связаны с рекомбинацией носителей в p-n-переходе и базе, а также генерационно-рекомбинационными процессами на поверхности прибора.

4. Поскольку полевые транзисторы являются униполярными приборами, они не чувствительны к эффектам накопления неосновных носителей, и поэтому имеют более высокие граничные частоты и скорости переключения.

5. Усилители на биполярных транзисторах имеют более высокие коэффициенты усиления, чем на полевых.