

ТЕМА № 2

***АКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ
ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ, IGBT ТРАНЗИСТОРЫ***

***Санкт-Петербург
2020 г.***



УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ

2

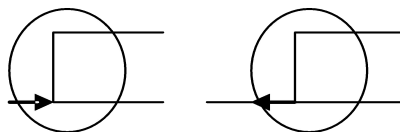
- 1. Классификация полевых транзисторов*
- 2. Устройство и принцип действия полевого транзистора с управляющим р-п-переходом.*
- 3. Особенности полевого транзистора с управляющим переходом металл-полупроводник.*
- 4. Транзисторы силовой электроники – IGBT транзисторы*

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

3

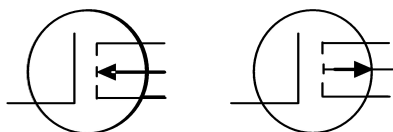
Полевыми транзисторами называют полупроводниковые приборы, у которых для управления электрическим током используется зависимость сопротивления токопроводящего слоя (канала) от напряженности поперечного электрического поля.

полевые транзисторы с управляющим p - n -переходом



**полевые транзисторы со структурой металл-диэлектрик
(полевые транзисторы с изолированным затвором)**

МДП-транзисторы с
индуцированным
каналом

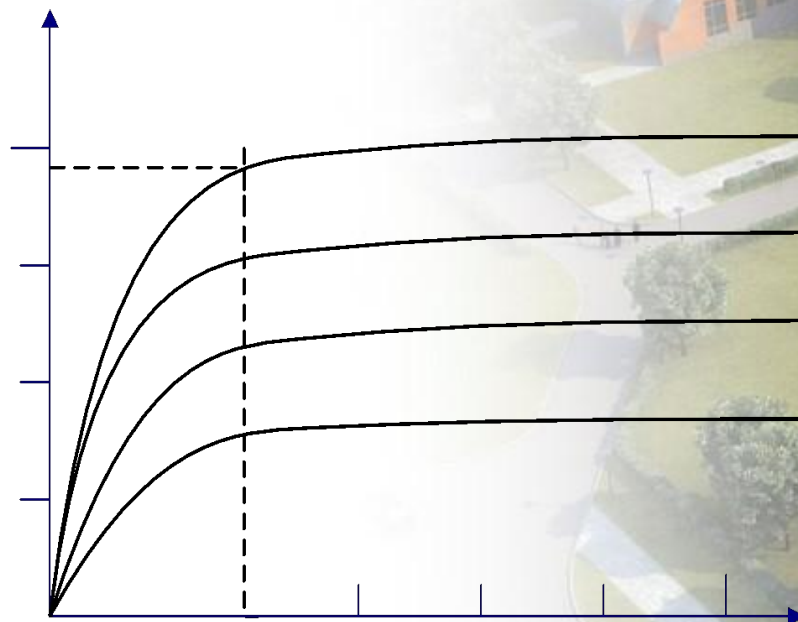
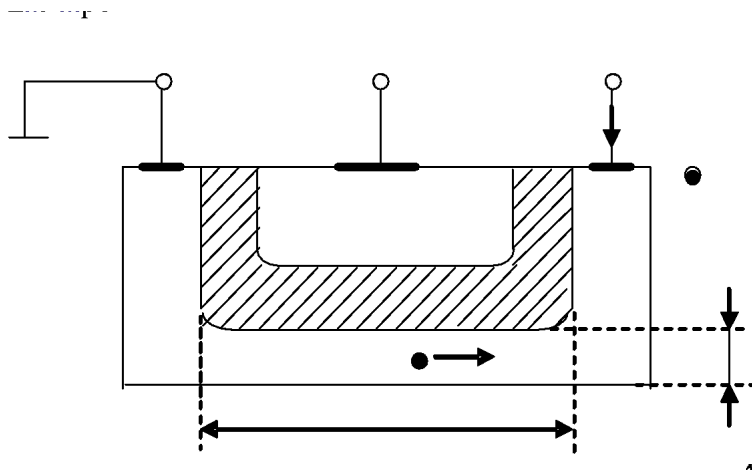


МДП-транзисторы со
встроенным (собственным)
каналом



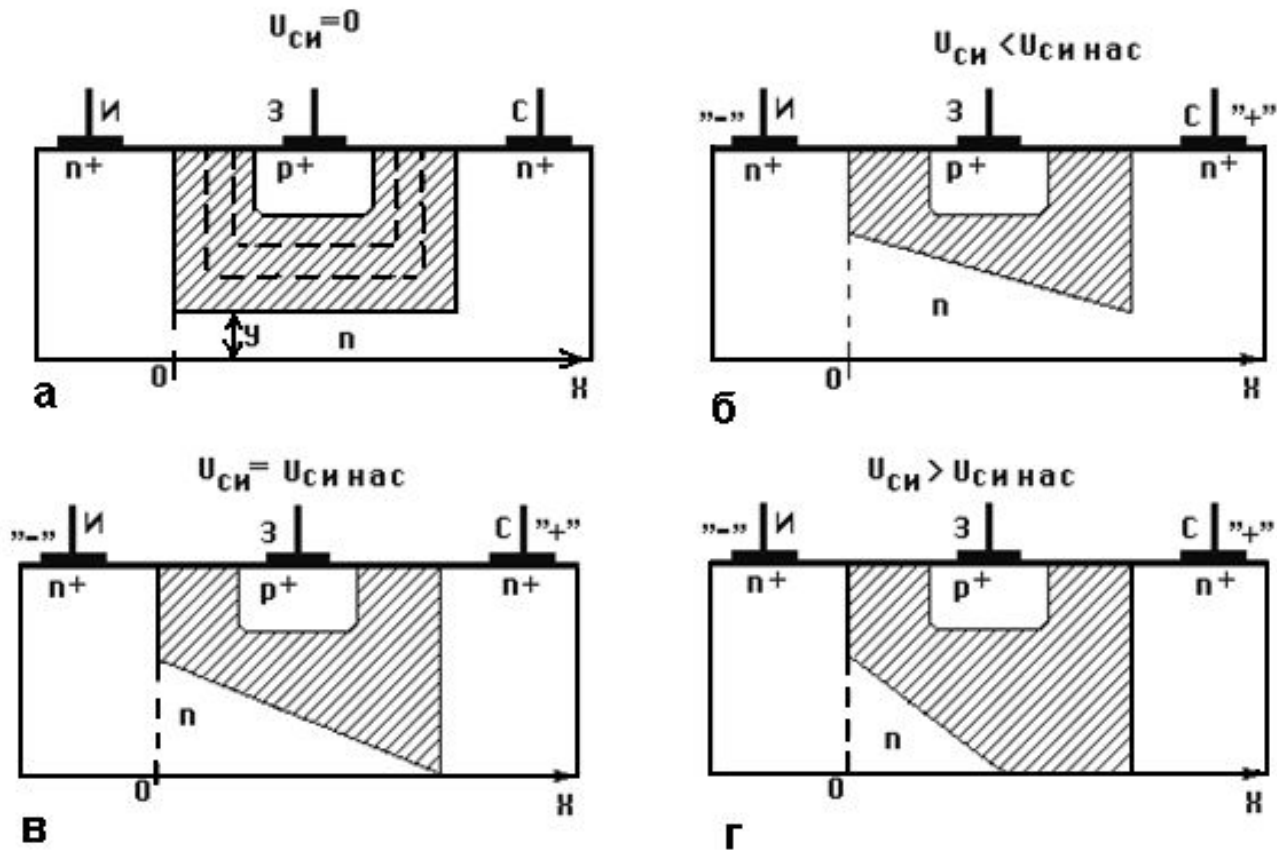
2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С УПРАВЛЯЮЩИМ p - n -ПЕРЕХОДОМ

4

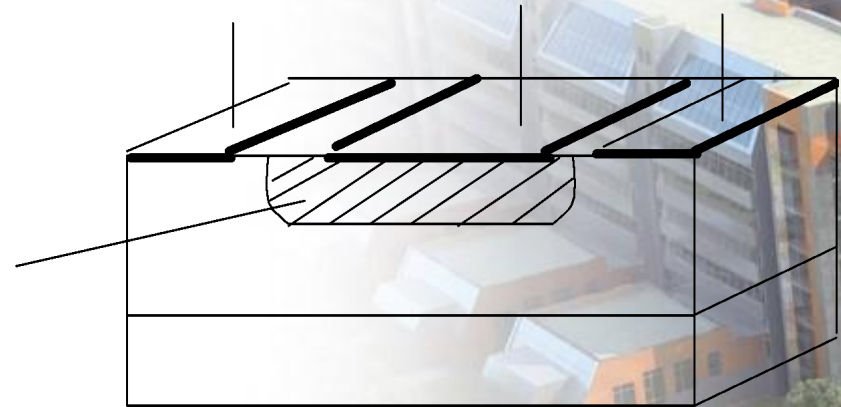
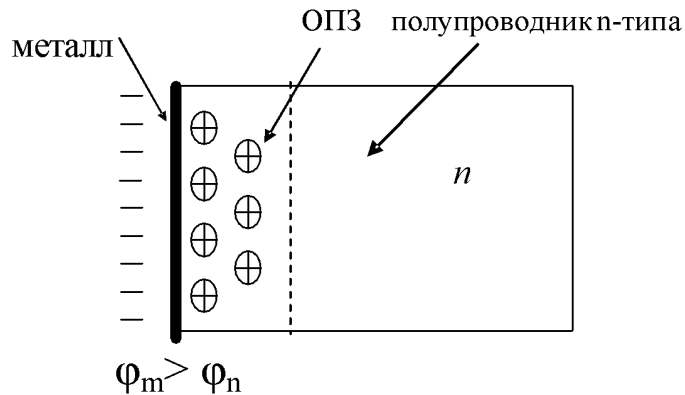


2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С УПРАВЛЯЮЩИМ p - n -ПЕРЕХОДОМ

5



3. ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С УПРАВЛЯЮЩИМ ПЕРЕХОДОМ МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК



При использовании металлического затвора на поверхности полупроводникового материала подложки образуется выпрямляющий контакт (диод Шоттки). Применение металлического затвора позволяет значительно уменьшить размеры транзистора, а использование арсенида галлия для создания канала и высокоомной подложки - расширяет диапазон рабочих частот. Принцип его работы аналогичен ПТ с управляющим $p-n$ -переходом. Обедненная носителями область барьера Шоттки определяет поперечное сечение проводящего канала

3. ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С УПРАВЛЯЮЩИМ ПЕРЕХОДОМ МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК

7

Применение для управления током в канале перехода Шоттки позволило решить проблему создания СВЧ транзисторов сантиметрового и миллиметрового диапазона длин волн.

Замена p - n -перехода контактом металл-полупроводник дало следующие преимущества:

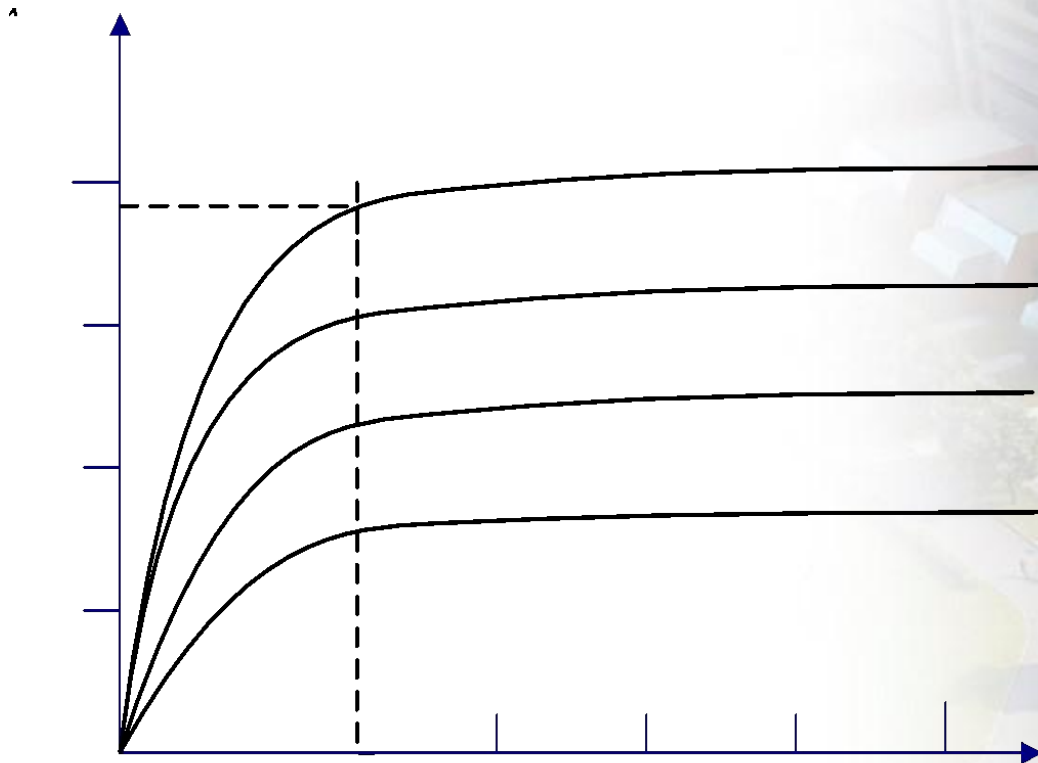
- позволило исключить из технологического процесса операцию диффузии, что дало возможность уменьшить длину канала до 0,5-1,0 мкм;
- меньшая глубина залегания перехода металл-полупроводник позволила уменьшить проходную емкость затвор-сток, определяющую максимальную частоту устойчивого усиления;
- исключение температурной обработки материалов, связанной с процессом диффузии, дало возможность использовать для изготовления полевых транзисторов нового материала арсенида галлия ($GaAs$), подвижность электронов в котором в 3-4 раза превышает подвижность электронов в кремнии (Si).

4. ВЫХОДНЫЕ И ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

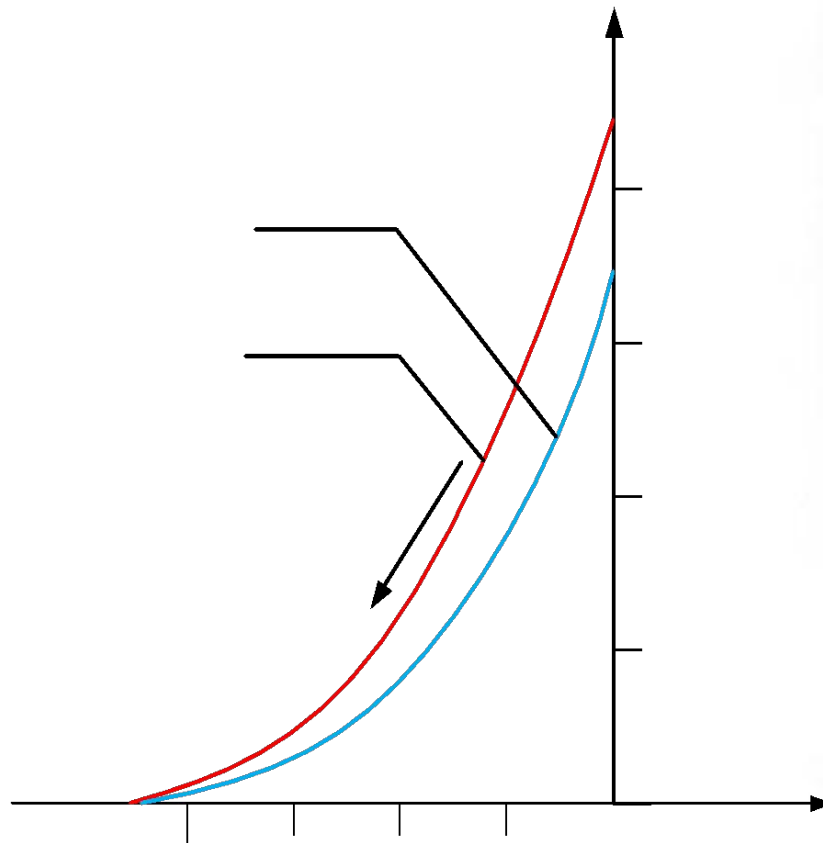
8

Выходные характеристики

$$I_{pr} \psi(U_{cu})_{const} =$$



Передаточные характеристики.



$$h_{\text{пр}}(U_{\text{зи}})_{\text{const}} =$$

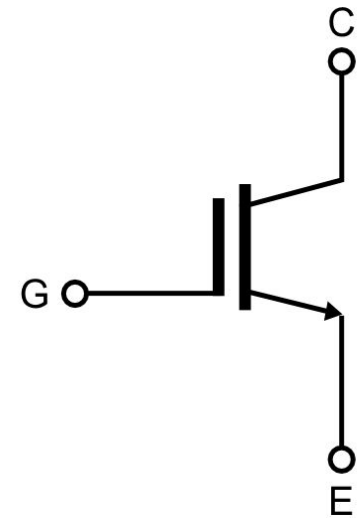
4. ТРАНЗИСТОРЫ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ- IGBT ТРАНЗИСТОРЫ

В современной силовой электронике широкое распространение получили так называемые транзисторы IGBT.

Аббревиатура заимствована из зарубежной терминологии и расшифровывается как Insulated Gate Bipolar Transistor, а на русский манер звучит как Биполярный Транзистор с Изолированным Затвором. Поэтому IGBT транзисторы ещё называют БТИЗ.

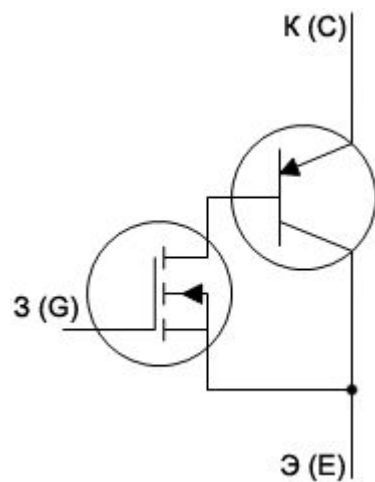
БТИЗ представляет собой электронный силовой прибор, который используется в качестве мощного электронного ключа, устанавливаемого в импульсные источники питания, инверторы, а также системы управления электроприводами.

IGBT транзистор - это электронный компонент, который представляет собой гибрид полевого и биполярного транзистора. Данное сочетание привело к тому, что он унаследовал положительные качества, как полевого транзистора, так и биполярного.



Принцип работы заключается в том, что полевой транзистор управляет мощным биполярным. В результате переключение мощной нагрузки становится возможным при малой мощности, так как управляющий сигнал поступает на затвор полевого транзистора.

Внутренняя структура БТИЗ – это каскадное подключение двух электронных входных ключей, которые управляют оконечным плюсом.



Процесс работы БТИЗ может быть представлен двумя этапами: как только подается положительное напряжение, между затвором и истоком открывается полевой транзистор, то есть образуется n -канал между истоком и стоком. При этом начинает происходить движение зарядов из области n в область p , что влечет за собой открытие биполярного транзистора, в результате чего от эмиттера к коллектору устремляется ток.

История появления IGBT (БТИЗ).

Впервые мощные полевые транзисторы появились в 1973 году, а уже в 1979 году была предложена схема составного транзистора, оснащенного управляемым биполярным транзистором при помощи полевого с изолированным затвором. В ходе тестов было установлено, что при использовании биполярного транзистора в качестве ключа на основном транзисторе насыщение отсутствует, а это значительно снижает задержку в случае выключения ключа.

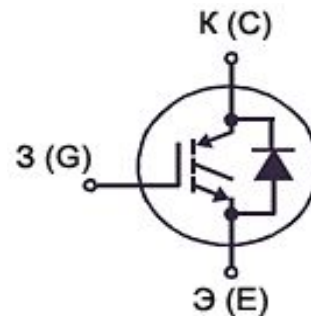
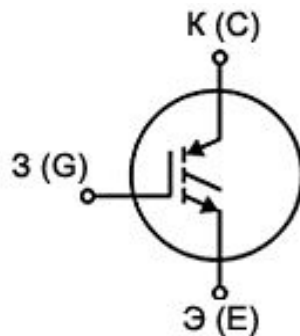
Несколько позже, в 1985 году был представлен БТИЗ, отличительной особенностью которого была плоская структура, диапазон рабочих напряжений стал больше. Так, при высоких напряжениях и больших токах потери в открытом состоянии очень малы. При этом устройство имеет похожие характеристики переключения и проводимости, как у биполярного транзистора, а управление осуществляется за счет напряжения.

Первое поколение устройств имело некоторые недостатки: переключение происходило медленно, да и надежностью они не отличались. Второе поколение увидело свет в 90-х годах, а третье поколение выпускается по настоящее время: в них устранены подобные недостатки, они имеют высокое сопротивление на входе, управляемая мощность отличается низким уровнем, а во включенном состоянии остаточное напряжение также имеет низкие показатели.

Уже сейчас пользователю доступны IGBT транзисторы, которые могут коммутировать токи в диапазоне от нескольких десятков до сотен ампер ($I_{кз\ max}$), а рабочее напряжение ($U_{кз\ max}$) может варьироваться от нескольких сотен до тысячи и более вольт.

Условное обозначение БТИЗ (IGBT) на принципиальных схемах.

Поскольку БТИЗ имеет комбинированную структуру из полевого и биполярного транзистора, то и его выводы получили названия затвор - З (управляющий электрод), эмиттер (Э) и коллектор (К). На зарубежный манер вывод затвора обозначается буквой G, вывод эмиттера – E, а вывод коллектора – C.



Условное графическое обозначение биполярного транзистора с изолированным затвором. Также он может изображаться со встроенным быстродействующим диодом.

Особенности и сферы применения IGBT (БТИЗ).

Отличительные свойства IGBT:

Управляется напряжением (как любой полевой транзистор);

Имеют низкие потери в открытом состоянии;

Могут работать при температуре более 100°C ;

Способны работать с напряжением более 1000 Вольт и мощностями свыше 5 киловатт.

Перечисленные особенности позволили применять IGBT транзисторы в инверторах, частотно-регулируемых приводах и в импульсных регуляторах тока. Кроме того, они часто применяются в источниках сварочного тока в системах управления мощными электроприводами, которые устанавливаются, например, на электротранспорт: электровагоны, трамваи, троллейбусы. Такое решение значительно увеличивает КПД и обеспечивает высокую плавность хода.

Кроме того, устанавливают данные устройства в источниках бесперебойного питания и в сетях с высоким напряжением. Их можно обнаружить в составе электронных схем стиральных, швейных и посудомоечных машин, инверторных кондиционеров, насосов, системах электронного зажигания автомобилей, системах электропитания серверного и телекоммуникационного оборудования. Как видим, сфера применения БТИЗ довольно велика.

MOSFET

MOSFET – это сокращение от двух английских словосочетаний: Metal-Oxide-Semiconductor (металл – окисел – полупроводник) и Field-Effect-Transistors (транзистор, управляемый электрическим полем). Поэтому MOSFET – это не что иное, как обычный МОП-транзистор.

MOSFET, MOS, МДП, МОП обозначают одно и то же, а именно полевой транзистор с изолированным затвором.

Наравне с аббревиатурой MOSFET применяется сокращение J-FET (Junction – переход). Транзистор J-FET также является полевым, но управление им осуществляется за счёт применения в нём управляющего р-n перехода.

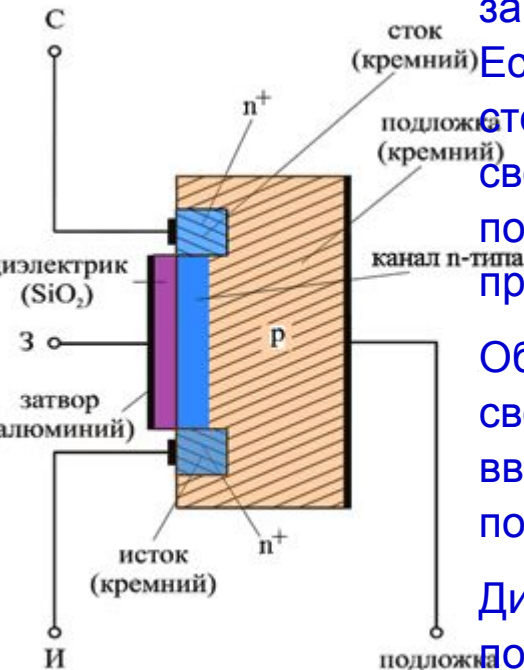
Основу МДП-транзистора составляет:

Подложка из кремния. Подложка может быть как из полупроводника р-типа, так и n-типа. Если подложка р-типа, то в полупроводнике в большей степени присутствуют положительно заряженные атомы в узлах кристаллической решётки кремния.

Если подложка имеет тип n, то в полупроводнике в большей степени присутствуют отрицательно заряженные атомы и свободные электроны. В обоих случаях формирование полупроводника р или n типа достигается за счёт введения примесей.

Области полупроводника n+. Данные области сильно обогащены свободными электронами (поэтому "+"), что достигается введением примеси в полупроводник. К данным областям подключаются электроды истока и стока.

Диэлектрик. Он изолирует электрод затвора от кремниевой подложки. Сам диэлектрик выполняют из оксида кремния (SiO_2). К поверхности диэлектрика подключен электрод затвора – управляющего электрода.



Если между затвором и истоком приложить напряжение плюсом (+) к выводу затвора, то между металлическим выводом затвора и подложкой образуется поперечное электрическое поле. Оно в свою очередь начинает притягивать к приповерхностному слою у диэлектрика отрицательно заряженные свободные электроны, которые в небольшом количестве рассредоточены в кремниевой подложке.

В результате в приповерхностном слое скапливается достаточно большое количество электронов и формируется так называемый канал – область проводимости. На рисунке канал показан синим цветом. То, что канал типа n – это значит, что он состоит из электронов. Как видим между выводами истока и стока, и собственно, их областями n+ образуется своеобразный «мостик», который проводит электрический ток.

Между истоком и стоком начинает протекать ток. Таким образом, за счёт внешнего управляющего напряжения контролируется проводимость полевого транзистора. Если снять управляющее напряжение с затвора, то проводящий канал в приповерхностном слое исчезнет и транзистор закроется – перестанет пропускать ток. Следует отметить, что на рисунке упрощённой модели показан полевой транзистор с каналом n-типа. Также существуют полевые транзисторы с каналом p-типа.

Показанная модель является сильно упрощённой. В реальности устройство современного MOS-транзистора гораздо сложнее. Но, несмотря на это, упрощённая модель наглядно и просто показывает идею, которая была заложена в его устройство.

Электрод затвора и подложка вместе с диэлектриком, который находится между ними, формирует своеобразный электрический конденсатор. Обкладками служат металлический вывод затвора и область подложки, а изолятором между этими электродами – диэлектрик из оксида кремния (SiO_2). Поэтому у полевого транзистора есть существенный параметр, который называется ёмкостью затвора.

Полевые транзисторы в отличие от биполярных обладают меньшими собственными шумами на низких частотах. Поэтому их активно применяют в звукоусилительной технике. Так, например, современные микросхемы усилителей мощности низкой частоты для автомобильных CD/MP3-проигрывателей имеют в составе MOSFET'ы.

Полевой транзистор, в сравнении с транзисторами биполярного типа, обладает более высоким входным сопротивлением, которое может достигать 10^9 Ом и более. Эта особенность позволяет рассматривать данные приборы как управляемые потенциалом или по-другому - напряжением. На сегодня это лучший вариант создания схем с достаточно низким потреблением электроэнергии в режиме статического покоя. Данное условие особенно актуально для статических схем памяти имеющих большое количество ячеек.

Если говорить о ключевом режиме работы транзисторов, то в данном случае биполярные показывают лучшую производительность, так как падение напряжений на полевых вариантах очень значительно, что снижает общую эффективность работы всей схемы. Несмотря на это, в результате развития технологии изготовления полупроводниковых элементов, удалось избавиться и от этой проблемы. Современные образцы обладают малым сопротивлением канала и прекрасно работают на высоких частотах.

Спасибо за внимание!

