

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ УНИПОЛЯРНОЙ ТРИОДНОЙ СТРУКТУРЫ С P-N ЗАТВОРОМ

Командышко Н. А., студент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Аннотация. Настоящая работа включает краткий литературный обзор, в котором систематизированы сведения о технология формирования униполярной триодной структуры с p-n затвором и обозначены наиболее значимые перспективы полевых транзисторов.

«Полевой транзистор – это электронный прибор, предназначенный для усиления сигналов. Регулировка выходного тока этого транзистора производится за счет электрического поля (напряжением), поэтому его входное сопротивление на низких частотах очень велико. Полевые транзисторы разрабатывались в качестве замены электронно-вакуумной лампы, поэтому их характеристики во многом похожи. В последнее время часто используется английское обозначение полевых транзисторов – FET (Field Effect Transistor). Электрическое поле, воздействующее на сопротивление канала, создается с помощью располагающегося над ним металлического электрода-затвора, который электрически изолирован от канала.

В зависимости от способа изоляции различают: транзисторы с управляющим p-n-переходом (p-n-затвором), изоляция затвора от канала осуществляется обедненным слоем p-n-перехода; транзисторы с металлополупроводниковым затвором (Шоттки); транзисторы с изолированным затвором.

Исторически первыми были полевые транзисторы с управляющим p-n-переходом. Английское обозначение этих транзисторов – JFET (Junction FET). В полевых транзисторах вывод, эквивалентный эмиттеру, называется исток (и), а вывод, эквивалентный коллектору, называется сток (с).

Полевые транзисторы подразделяют на два основных типа:

- полевые транзисторы с управляющим n-p-переходом;
- полевые транзисторы МДП – типа.
- со встроенным каналом;
- с индуцированным каналом.

В полевом транзисторе с p-n-переходом управление протекающим током и входные характеристики реализуются за счет свойств p-n-перехода.

Основное преимущество перед биполярными транзисторами – это то, что p-n-переход в этом типе транзисторов обычно применяется в запертом состоянии. Это обеспечивает высокое входное сопротивление на низких частотах. Регулировка тока транзистора производится за счет изменения ширины p-n-перехода под воздействием управляющего напряжения.

Производство n-канального JFET начинается с кремниевой подложки p-типа. На ней выращивается защитный слой диоксида кремния (SiO_2). с помощью фотолитографии в этом слое открывается окно, и методом ионной имплантации в подложку вносится донорная примесь, формирующая n-канал транзистора. Далее следует ключевой этап: с помощью новой фотолитографии над центром канала открывается окно, куда имплантируется акцепторная примесь с высокой концентрацией. Эта p⁺-область образует управляющий затвор, создавая два p-n перехода по краям, которые и управляют шириной канала. После этого формируются сильно легированные n⁺-области стока и истока для обеспечения надежных омических контактов. На завершающих этапах наносится слой

металла (алюминия) для создания контактов ко всем электродам, а готовая структура покрывается защитным пассивирующим слоем нитрида кремния.

Проведем краткий обзор современных источников литературы по технологии и свойствам JFET.

Краткий обзор современных источников литературы по технологии и свойствам JFET детально показывает, что эти транзисторы рассматриваются как фундаментальный элемент полупроводниковой электроники, причем акцент в учебных изданиях смещен на базовые принципы работы и моделирования, а не на глубокие технологические аспекты современного производства.

Авторы [1] дают наиболее структурированное описание физической структуры JFET, принципа работы на основе управления шириной канала обратносмещенным р-п переходом, выходных и стокзатворных характеристик, а также математических моделей вроде модели Шокли. Авторы [2] фокусируются на физике явлений, подробно объясняя образование обедненной области в р-п переходе затвора и механизм модуляции проводимости канала. Практический аспект раскрыт в учебнике [3], где JFET рассматривается с точки зрения компьютерного моделирования – приводятся эквивалентные схемы для разных частотных диапазонов, модели для SPICE-симуляторов и примеры использования в аналоговых схемах.

Хотя книга является наиболее старой в списке, она служит прочной классической базой с каноническим выводом основных уравнений и описанием технологических ограничений. В целом эти источники формируют полный учебный цикл. Однако информация о современных производственных процессах, таких как использование широкозонных полупроводников или тонкие фототехпроцессы, в этих учебных пособиях практически отсутствует и требует обращения к специализированной научной периодике и технической документации производителей. В отличие от MOSFET, где затвор изолирован от канала слоем оксида, в JFET затвор образует прямой р-п переход с каналом. JFET является прибором, работающим только в режиме обеднения. Это означает, что для закрытия канала (прекращения тока) на р-п переход затвор-канал подать обратное смещение. При нулевом смещении канал открыт. Техпроцесс JFET проще, чем у MOSFET, так как не требует создания высококачественного ультратонкого подзатворного диэлектрика, что является одной из самых сложных операций в производстве MOSFET. Благодаря отсутствию чувствительного оксида под затвором, JFET гораздо более устойчивы к статическому электричеству (ESD) и радиационным воздействиям.

Таким образом, технология производства JFET представляет собой классический пример планарной технологии, основанной на последовательном проведении фотолитографии, легирования и травления для создания р-п переходов с точно контролируемой геометрией.

Список использованных источников

1. Сычик, В. А. Твердотельная электроника: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-41 01 01 «Технология материалов и компонентов электронной техники». – Мн. : БНТУ, 2021. – 346 с.
2. Микушин, А. В. Физические основы электроники / А. В. Микушин. – СПб. : Лань, 2023. – 148 с.
3. Трухин, М. П. Компьютерное моделирование и проектирование РЭА: системный подход. Часть 1 : учебник для вузов / М. П. Трухин. – СПб. : Лань, 2022. – 408 с.