

Полупроводниковые приборы

Электрофизические свойства полупроводников.

Полупроводниками называют кристаллические или аморфные вещества, занимающие по удельному сопротивлению положение между проводниками и диэлектриками.

Наиболее широкое применение в полупроводниковой технике получили германий, кремний, селен, а также полупроводниковые соединения типа арсенид галлия, карбид кремния, сульфид кадмия и др.

Важнейшим признаком полупроводников является зависимость их электрических свойств (электропроводности) от внешних

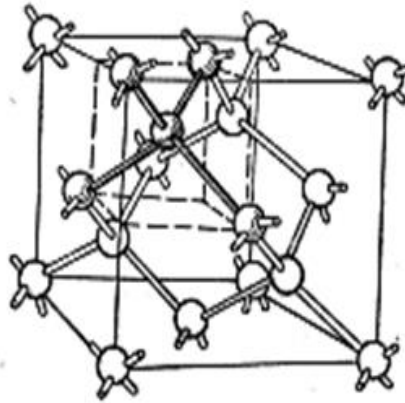
температуры;

- освещенности,

- давления,

- внешних электрических полей и т.п.

- Для полупроводников характерно кристаллическое строение, т.е. закономерное упорядоченное расположение их атомов в пространстве на одинаковом расстоянии друг от друга – образование кристаллической решетки твердого тела.



- Рис. 1.1 Кристаллическая решетка германия
- Между атомами кристаллической решетки существуют связи, образованные валентными электронами, которые взаимодействуют не только с ядром своего атома, но и соседними.

Химическая связь двух соседних атомов с образованием на одной орбите общей пары электронов называется ковалентной или парноковалентной связью.

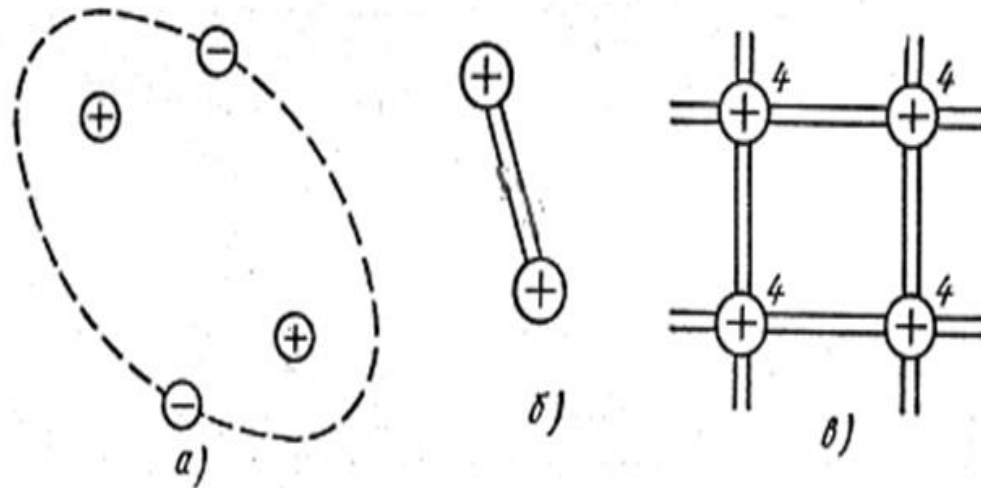


Рис. 1.2. Кристаллическая решетка полупроводника:

а) ковалентная связь атомов,

б) ее схематическое изображение,

в) связи в кристаллической решетке германия

Четыре валентных электронов каждого атома образуют связи с четырьмя соседними атомами (рис. 1.2 в)

- При наличии «дырки» какой-либо из электронов связей может занять место дырки и нормальная ковалентная связь в этом месте восстановится, но будет нарушена в том месте, откуда ушел электрон. Новую дырку может занять еще какой-нибудь электрон и т. д. Этот процесс непрерывно повторяется и дырка, переходя из одной связи к другой, будет перемещаться по кристаллу, что равносильно перемещению частицы, имеющей положительный заряд, равный по величине заряду электрона. Если отсутствует внешнее электрическое поле, то электроны и дырки будут перемещаться хаотически. Если же на кристалл действует электрическое поле, то движение дырок и электронов становятся упорядоченными,
- и в кристалле возникает электрический ток.

–

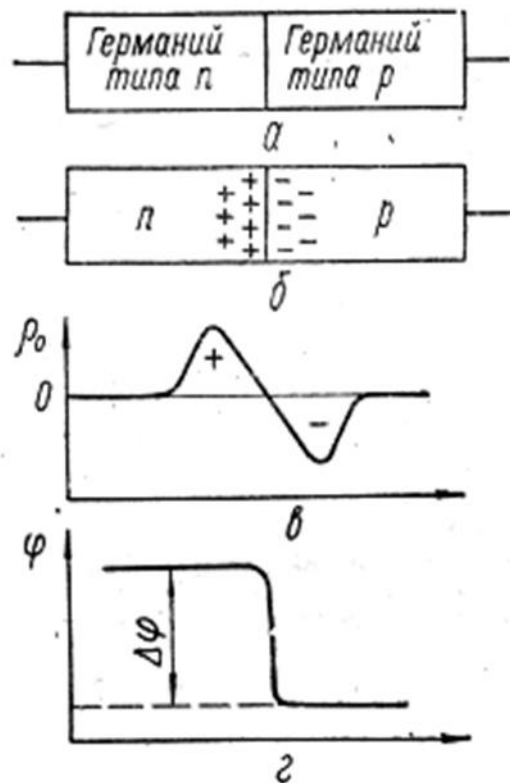
- Примеси, вызывающие в полупроводнике увеличение свободных электронов, называются донорными, а увеличение дырок – акцепторными.
- Полупроводники, электропроводность которых улучшилась благодаря избытку свободных электронов, при введении примеси, называются полупроводниками с электронной проводимостью или полупроводниками n – типа. Электроны в полупроводниках n – типа называются основными носителями зарядов, а дырки –
- неосновные носители зарядов.
- Полупроводники, электропроводность которых обуславливается в основном движением дырок, называют полупроводниками с дырочной проводимостью или полупроводниками p – типа. Дырки в этих полупроводниках являются основными носителями заряда, а электроны – неосновные.

- Под действием эл. поля свободные электроны металла начинают перемещаться в сторону противоположную направлению поля. В результате перемещения произойдёт разделение зарядов и возникнет внутреннее поле напряжённостью $E_{вТ}$. Это поле направлено против внешнего; следовательно, напряжённость результирующего поля в проводящем теле

$$E_{рез} = E_{вш} - E_{вТ}$$

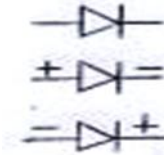
–Электронно-дырочный переход.

- Возьмем контактное соединение двух полупроводников, один из которых с
- электронной проводимостью n - типа, а другой - с дырочной p – типа.



- Это поле препятствует диффузии электронов и дырок из одного полупроводника в другой. Таким образом, на границе двух полупроводников возникает тонкий слой, обедненный основными носителями зарядов и обладающий большим сопротивлением. Этот слой называется запирающим слоем.
- Область на границе двух полупроводников с различными типами электропроводности называется электронно-дырочным или pn – переходом.
- Вследствие теплового движения в электрическое поле перехода попадают
 - неосновные носители зарядов (электроны из p – области, дырки из n - области).
 - Движение неосновных носителей заряда называют тепловым или дрейфовым током и
 - направлено встречно диффузионному току основных носителей. При
 - отсутствии внешнего электрического поля дрейфовый ток уравновешивается
 - диффузионным и суммарный ток через переход равен нулю.

- **Полупроводниковый диод.**
- Прибор с двумя выводами, содержащий один электронно-дырочный переход называется полупроводниковым диодом.
- Его условное обозначение
- Прямое включение диода
- Обратное включение
- Классификация полупроводниковых диодов.
 - выпрямительные,
 - кремниевые стабилитроны,
 - фотодиоды,
 - светодиоды,
- По назначению туннельные, импульсные, лавинно – пролетные, варикапы,
- диоды Ганка.



- По материалу кремниевые, германиевые,
- изготовления на основе соединения галлия.
- По способу получения точечные, электронно-дырочного перехода плоскостные.
- По частоте низкой частоты (НЧ), средней частоты (СЧ),
- высокой частоты (ВЧ).
- малой мощности,
- По мощности средней мощности,
- большей мощности.

• Выпрямительные диоды

- Выпрямительный полупроводниковый диод - диод, предназначенный для выпрямления переменного тока.
- Обычно к диоду прикладывается прямое напряжение не более 1В
- Если же приложить к диоду прямое напряжение больше допустимого, то возникает недопустимо большой прямой ток, что вызывает нагрев полупроводника и подводящих проводов, это приводит к разрушению диода.
-

- Кремневые стабилитроны
- (опорные диоды)
- Стабилитроны предназначены для стабилизации постоянного напряжения.
- Стабилитроны отличаются от силовых диодов повышенной концентрацией носителей зарядов, благодаря чему напряженность электрического поля перехода возрастает настолько, что при сравнительно небольшом обратном напряжении возникает лавинный пробой перехода и ток через переход резко возрастает, а напряжение на стабилитроне остается почти неизменным.
- Значит нормальным режимом работы стабилитрона является работа при обратном напряжении, соответствующему обратимому электрическому пробоем $p-n$ – перехода.
- Явление обратимого пробоя наблюдается как у кремниевых, так и германиевых диодов. Однако в качестве материала для стабилитронов используется кремний, обладающий более высокой температурной стабильностью.
- Основной характеристикой стабилитрона является его вольтамперная характеристика.

Транзисторы.

Полупроводниковые приборы, предназначенные для усиления мощности.

Биполярные транзисторы.

Трехэлектродный полупроводниковый прибор, с двумя рп-переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических колебаний.

В них используются заряды носителей обоих полярностей, поэтому они называются биполярными.

Основным элементом плоскостного биполярного транзистора является кристалл германия или кремния, в котором созданы три области. Две крайние всегда обладают проводимостью одного типа, средняя – другой.

- **Схема с общей базой.**
- Усилительный каскад, собранный по этой схеме обладает малым входным (единицы Ом – прямое включение рп - перехода) и большим выходным (сотни кОм обратное включение рп - перехода) сопротивлением.
- **Схема с общим эмиттером.**
- В этой схеме входным током является малый ток базы – I_B , поэтому его входное сопротивление значительно выше (сотни Ом), чем входное сопротивление в схеме с общей базой (единицы Ом).
- Важнейшим достоинством этой схемы является большое усиление по току.
- **Схема с общим коллектором.**
- Входное сопротивление схемы очень велико (десятки и сотни кОм). Поэтому каскад имеет коэффициент усиления по напряжению меньше единицы ($K_u=0.9-0.95$) и применяется для согласования сопротивлений между каскадами усилителя или между
- усилителями и низкоомной нагрузкой (Его часто называют коллекторным повторителем).

- **Достоинства и недостатки транзисторов**

- **Достоинства:**

- - малый вес и габариты,
- - высокая надежность,
- - высокая прочность,
- - постоянная готовность к работе,
- - отсутствия источника накала,
- - низкое напряжения питания.

- **– Недостатки:**

- - зависимость параметров от внешних условий (температуры, излучений и т. д- управляются токами (из-за малого входного сопротивления),
- - чувствительность к перегрузкам,
- - трудность изготовления транзисторов с идентичными параметрами,
- - высокий уровень собственных шумов (из-за носителей зарядов двух знаков),
- - небольшая выходная мощность.

Полевые транзисторы.

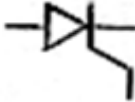
Полевой транзистор – трехэлектродный полупроводниковый прибор, в котором ток создают основные носители заряда под действием продольного электрического поля а управление величиной тока осуществляется поперечным электрическим полем, создаваемым напряжением, приложенным к управляющему электроду.

В устройствах промышленной электроники применяются две разновидности полевых транзисторов с рп-переходом (канальные или полярные транзисторы), с изолированным затвором (МДП или МОП транзисторы).

Принцип работы, характеристики и параметры обоих разновидностей аналогичны.

Слой полупроводника n-типа (р-типа) между истоком и стоком, ограниченный с двух сторон электронно-дырочным переходом называется каналом.

- Тиристоры
- Тиристор – многослойный полупроводниковый прибор с тремя и более рп–переходами, вольтамперная характеристика которого имеет участок отрицательного сопротивления.
- При включении такого прибора в цепь переменного тока он открывается, пропуская ток в нагрузку лишь тогда, когда мгновенное значение напряжения достигает определенного уровня (в двухэлектродных), либо при подачи отпирающего напряжения на специальный управляющий электрод
- (в трехэлектродных приборах).
- Число внешних электродов у тиристоров может быть различным.
- Простейшие из них – двухэлектродные, они называются динисторами и трехэлектродные - триодные их называют тринисторами.
- Те и другие имеют четырехслойную структуру полупроводника электропроводностями разного типа (р–n–р–n). Крайние являются анодом и катодом. А третий электрод у триодного тиристора является управляющим электродом.

- **Динистор.**
- Условное обозначение динистора в схеме
- Динистор можно выключить:
 1. уменьшить ток до величины, при которой лавинный процесс прекращается,
 2. изменить полярность напряжения.
- **Тринистор**
- Условное обозначение тринистора в схеме 
- При подаче обратного напряжения тиристор закрывается обратно включенными переходами П1 и П3, независимо от управляющего тока.
- Применение:
- Тиристоры находят применение как бесконтактные переключатели в схемах автоматики и вычислительной техники, регулируемых выпрямителях, в системе питания и зажигания автомобиля, на трансформаторных подстанциях.

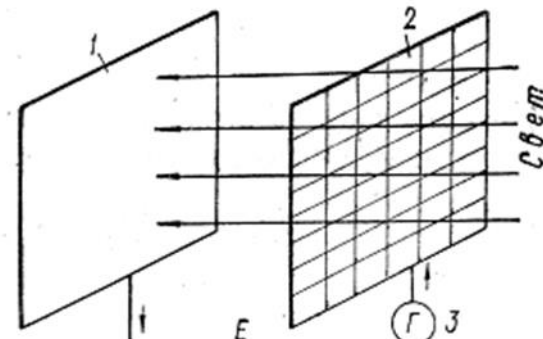
Фотоэлектронные приборы.

Приборы, в которых происходит преобразование световой энергии в электрическую называют фотоэлектронными. Явление получения электрического тока под действием света называется фотоэффектом.

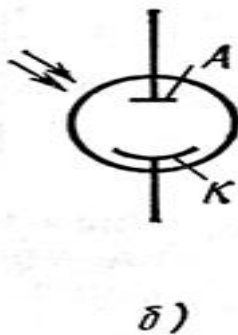
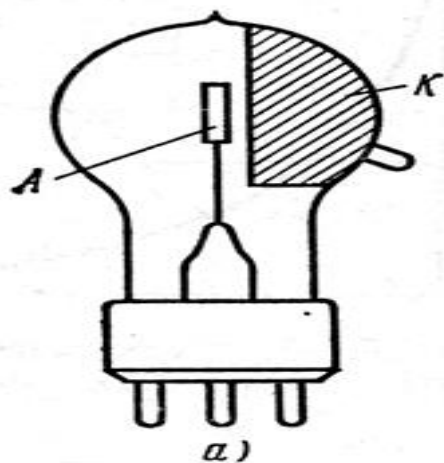
Фотоэффект бывает.

1. Внешний: электровакуумные приборы.
2. Внутренний: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры.
3. Вентильный: солнечные батареи.

1. Внешний фотоэффект (фотоэлектронная эмиссия)



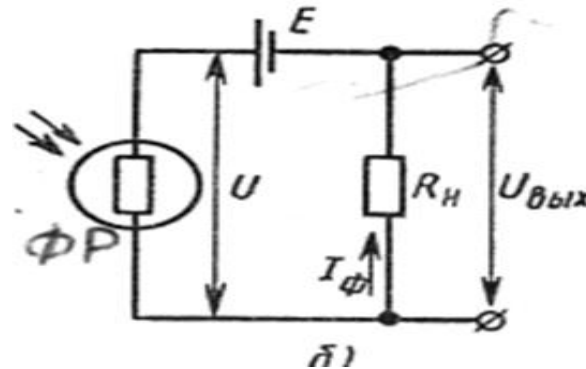
- **Вакуумные и газонаполненные фотоэлементы.**
- Устройство внутри которого помещается фотокатод, расположенный на внутренней поверхности стеклянного баллона и занимающий до 50% всей поверхности (рис.2.2). Вторая половина баллона прозрачная, через это окно попадает на катод световой поток. Анод имеет форму рамки и расположен так, чтобы не препятствовать попаданию света на катод.



- **Применение.**
- Фотоэлементы с внешним фотоэффектом используются в фоторелейном и фотометрическом режимах.
- Фоторелейный режим работы устройства:
 - - эти устройства имеют два устойчивых положения – включено и выключено. Одно – при отсутствии света, другое – при его появлении.
 - - эти устройства реагируют на изменение или интенсивность светового потока.
- Недостатком фотоэлементов с внешним фотоэффектом является их невысокая чувствительность..
- Повышение чувствительности можно получить за счет вторичной эмиссии.
- Такие приборы получили название фотоэлектронных умножителей.

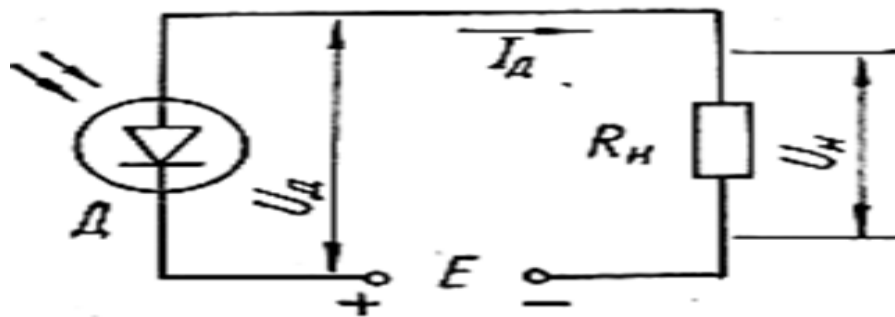
- **Внутренний фотоэффект.**
- Внутренний фотоэффект наблюдается лишь в полупроводниках и диэлектриках.
- При освещении полупроводников и диэлектриков часть валентных электронов увеличивает свою энергию за счет световой, преодолевая запрещенную зону, переходят в зону проводимости.
- Световая энергия излучается и поглощается веществом в виде квантов (фотонов). К приборам с внутренним фотоэффектом относятся:

- - фоторезисторы,
- - фотодиоды,
- - фототранзисторы,
- - фототиристоры.



- Схема включения фоторезистора.

- **Фотодиоды.**
- Фотодиод – полупроводниковый диод, обратный ток которого зависит от освещенности рп– перехода.
- Устройство аналогично устройству обычного плоскостного полупроводникового диода и выполнено так, что рп – переход с одной стороны обращен к стеклянному окну, через которое поступает световой поток, а с другой защищен от воздействия света.



- Применение:
- В устройствах ввода и вывода информации в ЭВМ, в фотометрии, в фотоколориметрии (контроль источника света, изменение интенсивности освещения, прозрачности среды).

- **Фототранзисторы.**
- Фототранзистор – полупроводниковый прибор с двумя рп – переходами, обладающий свойством усиления фототока под воздействием светового излучения.



- Условное обозначение его на схемах
- Применение:
- Фототранзисторы используются в качестве чувствительных элементов в системе телеконтроля, автоматике, в аппаратуре считывания числового материала, фототелеграфии и др.

- **Интегральные микросхемы**
- Микроэлектроника – одно из самых динамичных направлений науки и техники, на базе которого решается проблема создания микроминиатюрных схем и устройств (с помощью сложного комплекса физических, химических, схематических, технологических методов и приёмов).
- Термин интегральная микросхема (ИМС) включает в себя три основные характерные особенности этого изделия.
- 1. «Интегральная» – означает групповую массовую технологию изготовления.
- 2. «Микро» - размеры близкие к микрону (микрометр).
- 3. «Схема» - мы имеем дело не с отдельным элементом, а с их группой, достаточно многочисленной, связанной между собой вполне определенным образом (по конкретной электрической схеме).

• Интегральные микросхемы

- Микроэлектроника – одно из самых динамичных направлений науки и техники, на базе которого решается проблема создания микроминиатюрных схем и устройств (с помощью сложного комплекса физических, химических, схематических, технологических методов и приёмов).
- Термин интегральная микросхема (ИМС) включает в себя три основные характерные особенности этого изделия.
- 1. «Интегральная» – означает групповую массовую технологию изготовления.
- 2. «Микро» - размеры близкие к микрону (микрометр).
- 3. «Схема» - мы имеем дело не с отдельным элементом, а с их группой, достаточно многочисленной, связанной между собой вполне определенным образом (по конкретной электрической схеме).

- **ИМС** - микроминиатюрный функциональный узел электронной аппаратуры, в котором активные, пассивные и соединительные элементы изготавливаются в единой технологии на поверхности и объеме материала и имеют общую оболочку.
- Классификация ИМС.
- 1. По способу изготовления:
 - - полупроводниковые,
 - - пленочные,
 - - гибридные,
 - - совмещенные.
- Полупроводниковые ИМС – в которых все активные, пассивные элементы и их соединения выполнены в виде сочетания неразрывно связанных рп– переходов в одном исходном полупроводниковых ИМС на каждой.
- .

- **Пленочные ИМС** – ИМС, нанесенные в виде тонких пленок на изоляционную подложку из стекла или керамики.
- Термин «тонкие пленки» относится к проводящим, полупроводниковым и непроводящим покрытиям толщиной до нескольких микрон.
- **Гибридные ИМС**
- В современных гибридных ИМС пассивные элементы, контактные площадки и внутрисхемные соединения изготавливают путем последовательного нанесения на подложку пленок из различных материалов, а активные элементы выполняют в виде отдельных навесных деталей
- **Совмещение ИМС** – активные элементы изготавливают в объеме полупроводникового кристалла, а пассивные элементы – методом тонкопленочной технологии на его поверхности.