

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

кафедра электротехники, электроснабжения,
автоматики и информационных технологий

ЛЕКЦИЯ № 3

по дисциплине “ *ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И
ЭЛЕКТРОНИКА* ”

РАЗДЕЛ № 2: Полупроводниковые электронные
приборы.

ЗАНЯТИЕ № __: Общие сведения о
полупроводниковых диодах (ППД)

Учебные вопросы:

1. Устройство и принцип действия.
2. Вольт-амперные характеристики.
3. Классификация и система условных обозначений.

Литература:

1. Булычев А.Л. Электронные приборы. М.: Воениздат, 1982, с.169-172,182-186, 200-202.
2. Электронные приборы, микроэлектроника и элементы электронной техники./ Под ред. В.А. Прохоренко. М.: Воениздат, 1997, с. 102-104, 117-121.
3. Лихачев А.В. Электротехника и электроника. СПГАУ, СПб.: 2013, с. 3-10.

Вопрос 1. Устройство и принцип действия.

Полупроводниковым диодом (ПВД) называется полупроводниковый прибор с одним электронно-дырочным переходом, имеющий два вывода.

Электронно-дырочным (p-n) переходом называется зона между двумя областями полупроводника с различным типом проводимости (p- и n-типа).

В полупроводнике *p- типа* концентрация свободных носителей положительного заряда – *дырок* значительно превышает концентрацию свободных носителей отрицательного заряда – *электронов*, т.е.

$$p_p \gg n_p, \quad (1)$$

где p_p и n_p - концентрация в полупроводнике p-типа дырок и электронов соответственно.

В полупроводнике *n- типа* концентрация свободных носителей отрицательного заряда – *электронов* значительно превышает концентрацию свободных носителей положительного заряда – *дырок*, т.е.

$$n_n \gg p_n, \quad (2)$$

где n_p и n_n - концентрация в полупроводнике n-типа электронов и дырок соответственно.

Носители электрического заряда, концентрация которых преобладает в полупроводнике, называются *основными*.

Неосновными называются носители заряда, концентрация которых меньше, чем концентрация основных носителей.

Виды носителей заряда в зависимости от типа полупроводника показаны в табл. 1.

Таблица 1

Тип полупроводника	Носители заряда	
	основные	неосновные
p	дырки	электроны
n	электроны	дырки

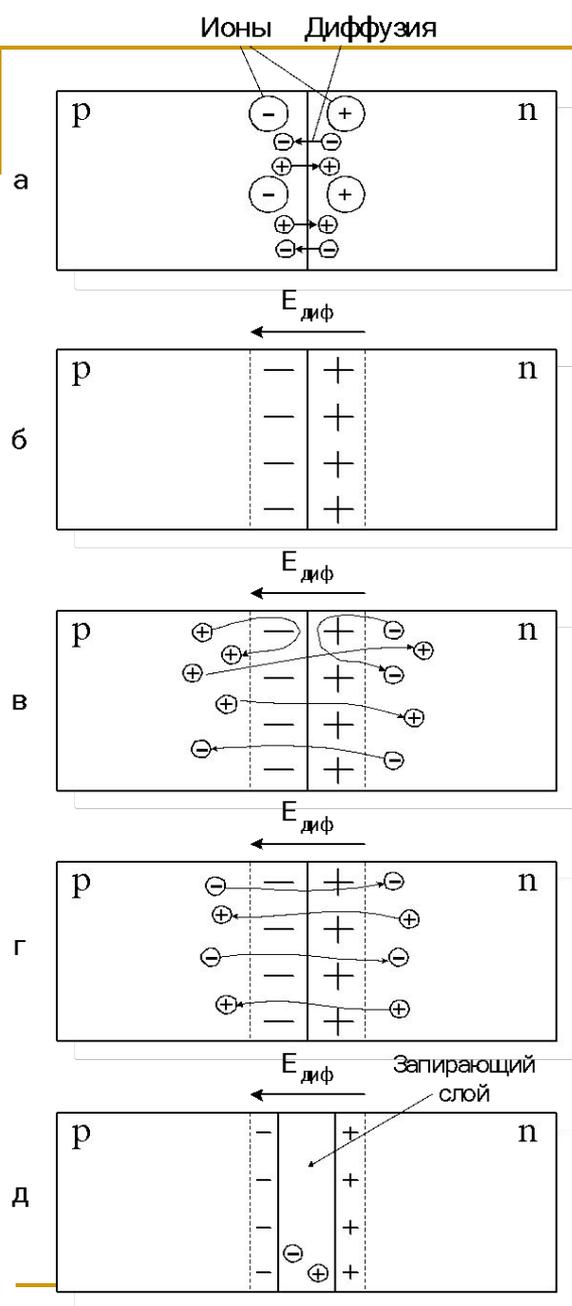


Рис.1. Физические процессы в р-п - переходе при отсутствии внешнего напряжения

Контактная разность потенциалов (потенциальный барьер)

$$U_k = \phi_n - \phi_p, \quad (3)$$

где ϕ_n и ϕ_p – электрические потенциалы соответствующих областей полупроводника.

Диффузионный ток перехода

$$I_{\text{диф}} = I_{\text{р диф}} + I_{\text{н диф}}. \quad (4)$$

Ток проводимости или ток дрейфа

$$I_{\text{пров.}} = I_{\text{р пров}} + I_{\text{н пров.}} \quad (5)$$

При равенстве диффузионного тока и тока проводимости устанавливается динамическое равновесие, т.е.

$$I_{\text{диф}} - I_{\text{пров}} = 0. \quad (6)$$

Прямое включение p-n- проводника

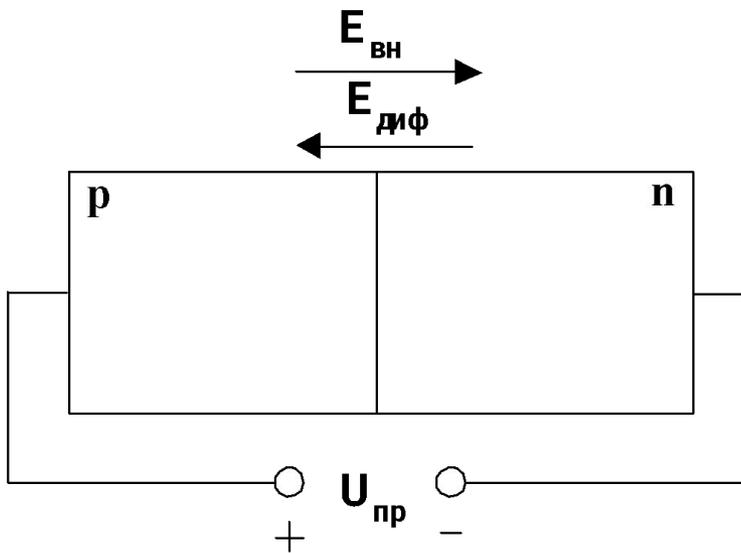


Рис.2. Прямое включение p-n-перехода

Процесс введения носителей заряда через *p-n*-переход при понижении высоты потенциального барьера в область полупроводника, где они являются неосновными носителями, называется *инжекцией*.

Ток проводимости не зависит от величины напряженности суммарного электрического поля. Поэтому $I_{\text{диф}} > I_{\text{пров}}$ и полный ток через переход, называемый *прямым током*

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{диф}} - I_{\text{пров}} > 0. \quad (7)$$

Обратное включение p-n- проводника

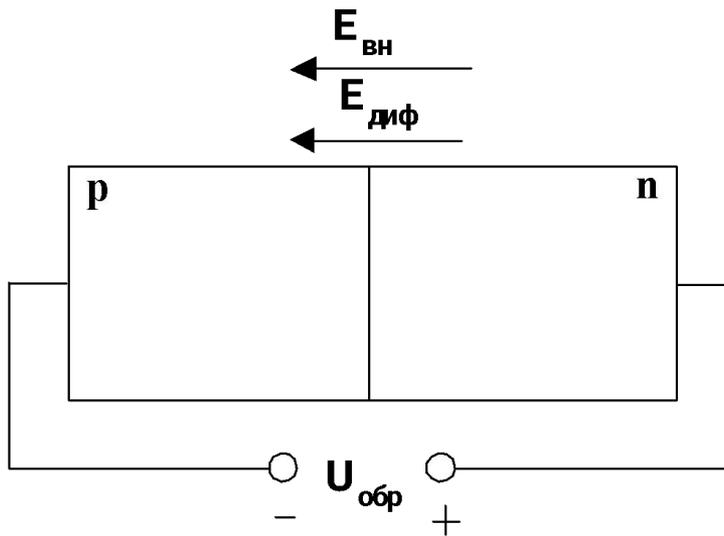


Рис.3. Обратное включение p-n-перехода

Ток проводимости не зависит от величины напряженности суммарного электрического поля, то $I_{\text{диф}} < I_{\text{пров}}$ и ток через переход, называемый *обратным током*

$$I_{\text{обр}} = I_{\text{диф}} - I_{\text{пров}} < 0. \quad (8)$$

Процесс выведения носителей заряда из области полупроводника, где они являются неосновными, через p-n-переход электрическим полем, созданным действием внешнего напряжения, называется *экстракцией*.

Анализ прямого и обратного включения p-n-перехода позволяет заключить, что основным свойством p-n-перехода является его односторонняя проводимость. При этом соотношение прямого и обратного токов значительно больше единицы:

$$I_{\text{пр}} / I_{\text{обр}} \gg 1 \quad (9)$$

Вопрос 2. Вольт-амперные характеристики.

Основной характеристикой ППД является *вольтамперная характеристика* (ВАХ), описывающая зависимость тока, протекающего через диод, от напряжения, приложенного к диоду:

$$I_{\text{д}} = f(U_{\text{д}}) \quad (10)$$

Уравнение теоретической ВАХ (ВАХ идеального диода) определяется в виде:

$$I = I_0 [\exp (U/\varphi_T) - 1], \quad (11)$$

где I_0 – обратный ток, $\varphi_T \approx 0,025$ В - температурный потенциал, U – внешнее напряжение.

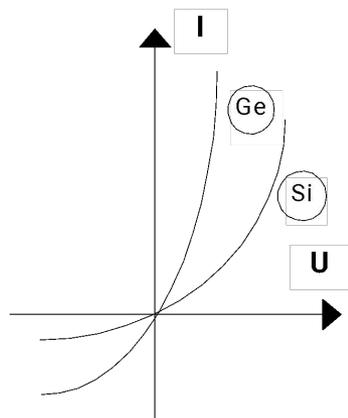


Рис.4 ВАХ германиевых и кремниевых диодов

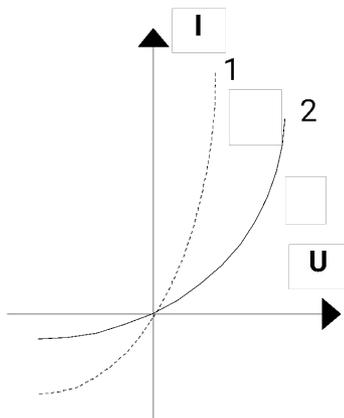


Рис.5 ВАХ идеального (1) и реального (2) диодов

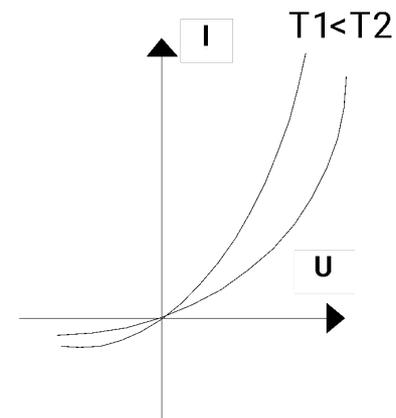


Рис.6 ВАХ идеального диода при разных температурах

Виды пробоев рп-перехода :

1. Туннельный
2. Лавинный
3. Тепловой

1. **Туннельный пробой**: возникает за счет туннельного эффекта в узких переходах с большой концентрацией примесей и, как следствие, с высокой напряженностью диффузионного электрического поля.

2. **Лавинный пробой**: возникает в широких переходах за счет ударной ионизации, происходящей при соударении носителей заряда с атомами полупроводника в зоне перехода. Появляющиеся при ионизации пары свободных носителей заряда могут ускоряться электрическим полем и также ионизировать соседние атомы полупроводника. При достаточной напряженности электрического поля процесс становится лавинообразным.

3. **Тепловой пробой**: возникает как правило после наступления туннельного или лавинного пробоя за счет разогрева перехода при резком увеличении обратного тока. Возникающие в этом случае вследствие термогенерации свободные носители заряда дополнительно увеличивают обратный ток, еще более разогревая переход. В итоге ток лавинообразно возрастает и происходит разрушение перехода.

Основные параметры ППД :



Рис.7. Классификация параметров полупроводниковых диодов

К основным параметрам ППД относятся :

1. $U_{\text{пр}}$ - постоянное прямое напряжение при заданном прямом токе;
2. $I_{\text{обр}}$ - постоянный обратный ток диода (при заданном обратном напряжении);
3. $I_{\text{пр}}$ - постоянный прямой ток при заданном прямом напряжении;
4. $I_{\text{пр.ср}}$ - средний прямой ток (среднее за период значение прямого тока);
5. $R=U / I$ - сопротивление диода постоянному току;
6. $R_i=dU/dI$ - внутреннее (дифференциальное) сопротивление переменному току.

К параметрам предельных режимов относятся :

1. $U_{\text{обр.макс}}$ - максимально допустимое постоянное обратное напряжение;
2. $I_{\text{пр.макс}}$ - максимально допустимый постоянный прямой ток;
3. $P_{\text{ср.макс}}$ - максимально допустимая средняя мощность рассеивания.

К частным относятся параметры, специфические для конкретного вида ППД в соответствии с их классификацией.

Вопрос 3. Классификация и система условных обозначений.

Полупроводниковые диоды

Тип полупроводникового материала	Область практического применения	Основные характеристики	Конструктивно-технологические признаки
Германий (Ge)	Выпрямител. Универсальн. Импульсные СВЧ	Ср. прямой ток	Плоскостные Точечные
Кремний (Si)		Время восстанов. Рабочая частота	
Галлий (Ga)	Стабилитроны	Напряж. стабил.	
Индий (In)	Варикапы	Емкость	
	Туннельные Обращенные	Туннельный эффект	
	Фото- Магнито- Термо-	Чувствительность	
	Свето-	Яркость	

Рис.8. Классификация ППД

Выводы по лекции:

1. Принцип действия ППД основан на физических процессах, протекающих в p - n -переходах при отсутствии, прямом и обратном включении внешнего напряжения.
 2. Основной характеристикой ППД является ВАХ.
 3. Знание принципов функционирования различных диодов и особенностей их практического применения позволяет грамотно эксплуатировать современную военную технику.
-