

## ЛЕКЦИЯ № 3

по дисциплине

**«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»**

для специальности

среднего профессионального образования

**РАЗДЕЛ 2. Электроника**

**ЗАНЯТИЕ №\_\_:** Полупроводниковые диоды:  
классификация, маркировка, область применения

## Учебные вопросы:

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

---

## *Литература:*

1. *Электротехника и электроника: учебник для студ.учреждений сред. проф.образования / М.В. Немцов, М. Л. Немцова. - 3-е изд.,испр. - М, Академия, 2018. – Стр. 477-488*

# Вопрос 1. Устройство и принцип действия ПД.

**Полупроводниковым диодом (ПД)** называют полупроводниковый прибор с одним  $p$ - $n$  переходом, имеющий два омических вывода, (Рисунок 3.1, а).

Одна из областей  $p$ - $n$  структуры ( $p^+$ ), называемая **эмиттером**, имеет большую концентрацию основных носителей заряда, чем другая область, называемая **базой**.

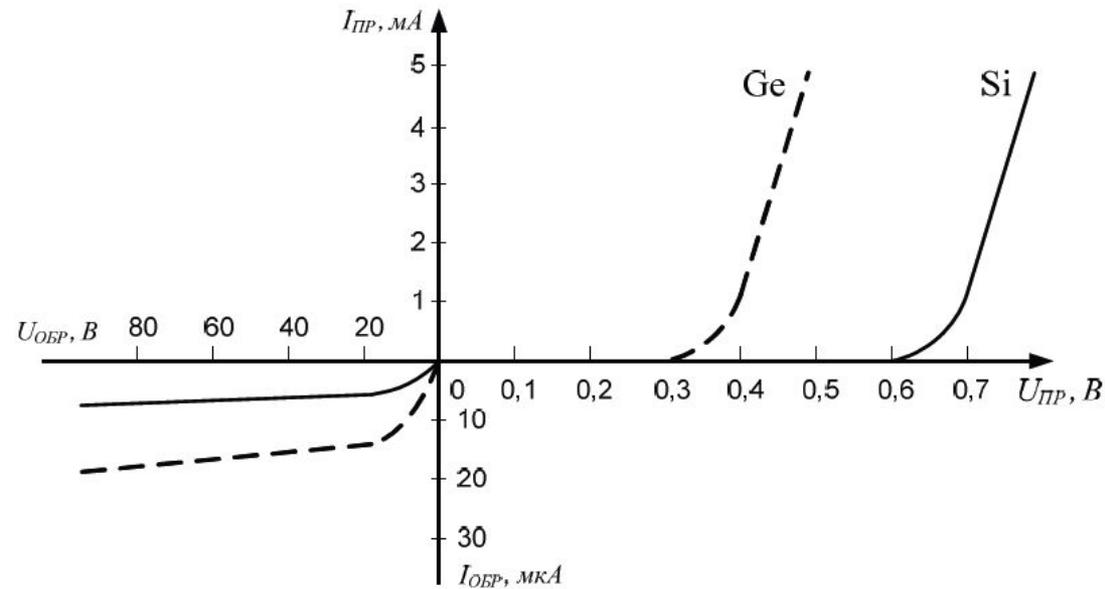
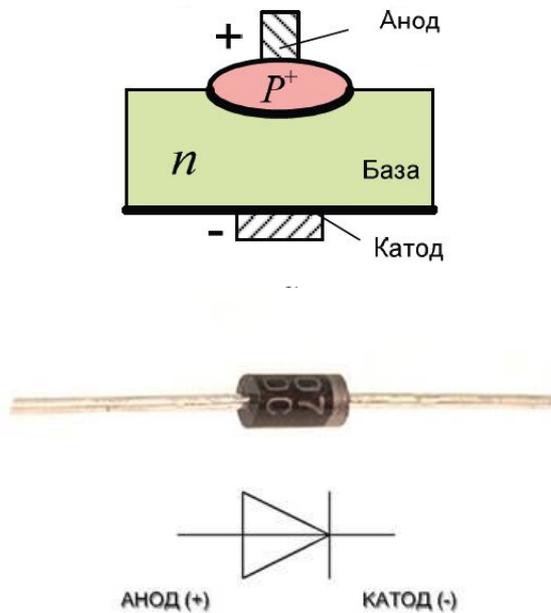


Рисунок 3.1 – Полупроводниковый диод: а – структура; б - вольтамперная характеристика (ВАХ) полупроводникового диода

*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  $p_n$  - концентрация в полупроводнике n-типа электронов и дырок соответственно.

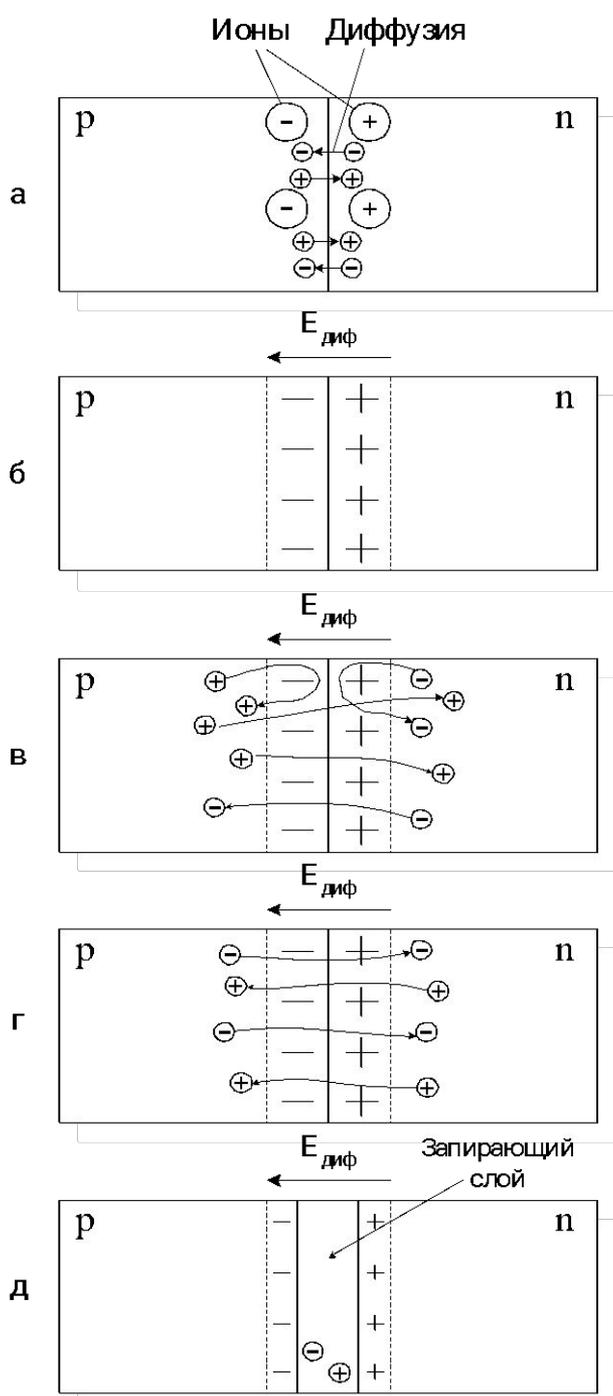
Носители электрического заряда, концентрация которых преобладает в полупроводнике, называются *основными*.

*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



Контактная разность потенциалов  
(потенциальный барьер)

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

где  $\phi_n$  и  $\phi_p$  – 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.

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

Рисунок 3.2 – Физические процессы в р-п-переходе при отсутствии внешнего напряжения

## Прямое включение $p$ - $n$ - проводника

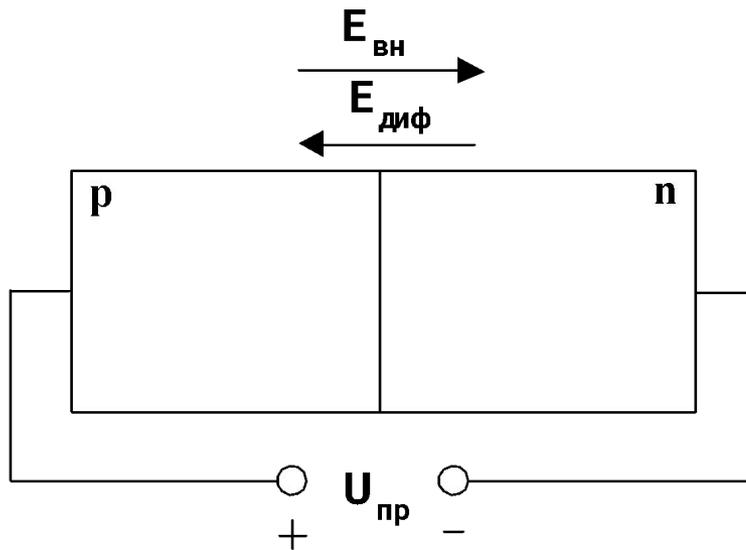


Рисунок 3.3 – Прямое включение  $p$ - $n$ - перехода

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

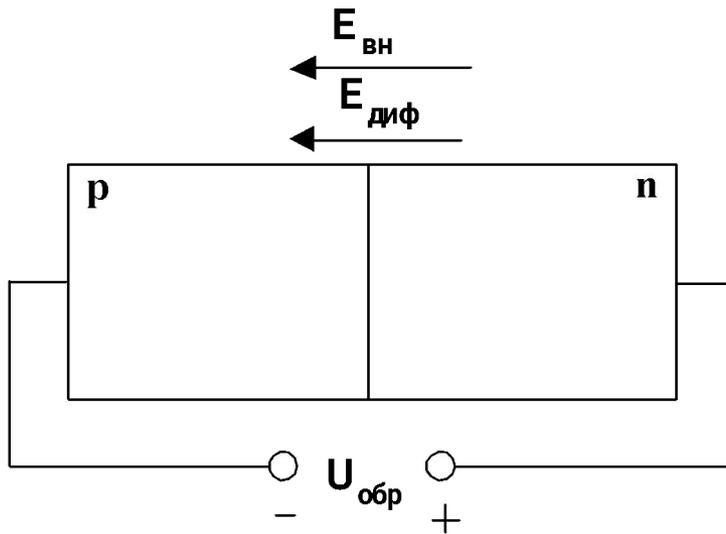


Рисунок 3.4 – Обратное включение  $p$ - $n$ - перехода

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.

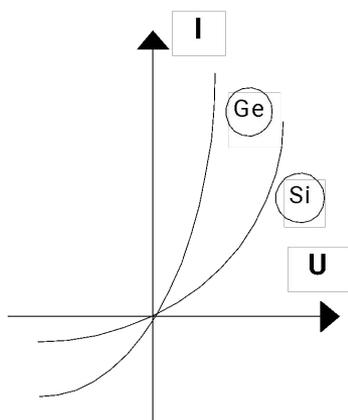


Рис.4 ВАХ германиевых и кремниевых диодов

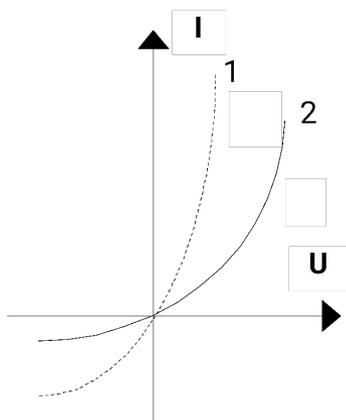


Рис.5 ВАХ идеального (1) и реального (2) диодов

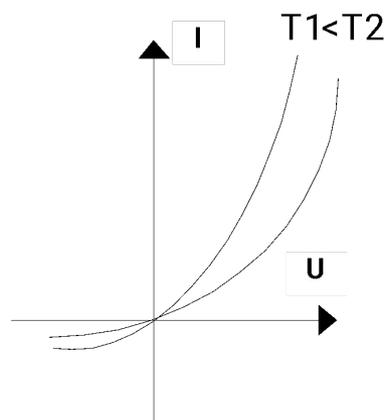
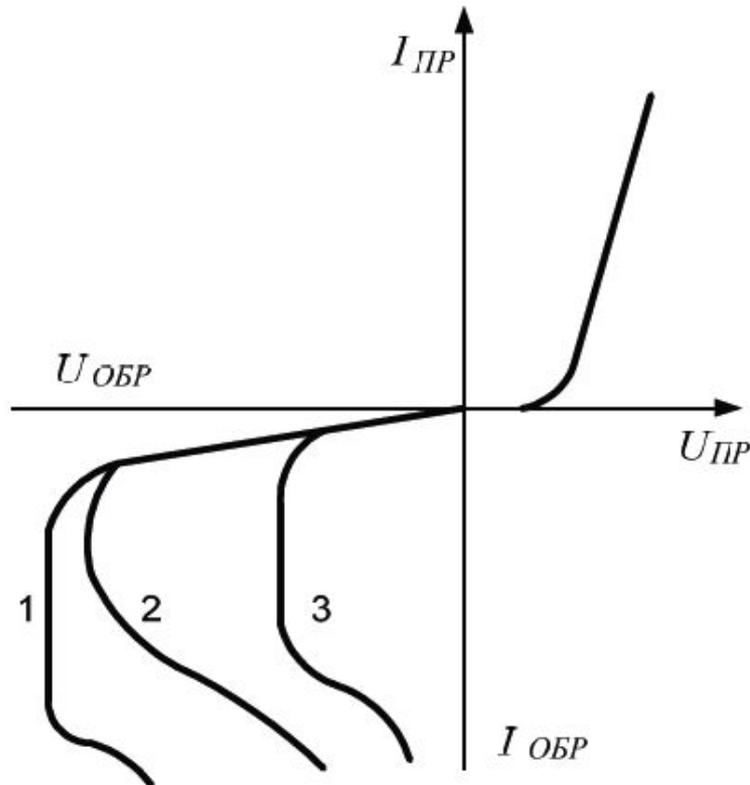


Рис.6 ВАХ идеального диода при разных температурах

## Пробой $p-n$ -перехода :

При обратном напряжении диода свыше определенного критического значения наблюдается резкий рост обратного тока - это явление называют *пробоем диода*.

Пробой диода возникает либо в результате воздействия сильного электрического поля в  $p-n$  переходе (рисунок 3.7, кривая 1 и 2). Такой пробой называется *электрическим*. Он может быть *лавинным* - кривая 1 или *туннельным* - кривая 2.



### Виды пробоев $p-n$ -перехода :

1. Лавинный
2. Туннельный
3. Тепловой

Рисунок 3.7 – Рост обратного тока при обратном напряжении

## 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.

***Тепловой пробой является необратимым.***

# Основные параметры ППД :



Рис.7. Классификация параметров полупроводниковых диодов

*К основным параметрам ППД относятся :*

1.  $U_{пр}$  - постоянное прямое напряжение при заданном прямом токе;
2.  $I_{обр}$  - постоянный обратный ток диода (при заданном обратном напряжении);
3.  $I_{пр}$  - постоянный прямой ток при заданном прямом напряжении;
4.  $I_{пр.ср}$  - 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)			
Галлий (Ga)	Стабилитронь	Время восстанов. Рабочая частота	Корпусные Бескорпусные
Индий (In)	Варикапы	Напряж. стабил. Емкость	
	Туннельные Обращенные	Туннельный эффект	
Фото- Магнито- Термо-	Фото- Магнито- Термо-	Чувствительность	
Свето-	Свето-	Яркость	

Рисунок 3.9. Классификация ППД

**Выпрямительные диоды** используют для выпрямления переменных токов частотой 50 Гц ÷ 100 кГц. В них используется главное свойство *p-n* перехода - *односторонняя проводимость*.

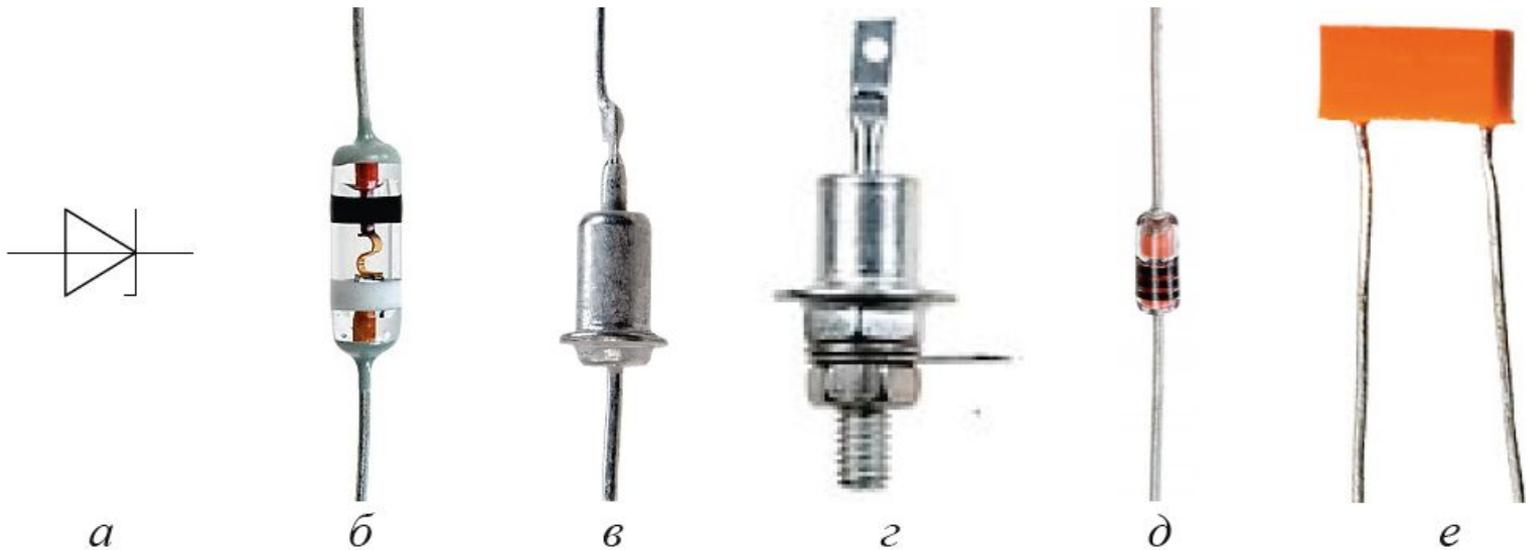
На схемах выпрямительные диоды изображаются так, как показано на рисунке 3.9. Там же приведен общий вид некоторых выпрямительных диодов, как отечественных, так и импортных.



*Рисунок 3.9 – Выпрямительные диоды: а - условное обозначение; б – маломощный высоковольтный диод ВУ228; в – диод средней мощности Д246А; г – мощный выпрямительный диод на ток 250 А типа Д185-500.*

**Стабилитроном** называется диод, напряжение на котором сохраняется с определенной точностью при изменении проходящего через него в заданном диапазоне тока. Он предназначен для стабилизации напряжения в цепях постоянного тока. Рабочим участком стабилитрона является участок электрического обратимого пробоя. Принцип работы стабилитрона заключается в том, что при изменении изменяется ток, протекающий через стабилитрон, а напряжение на стабилитроне и подключенной параллельно к нему нагрузке практически не меняется.

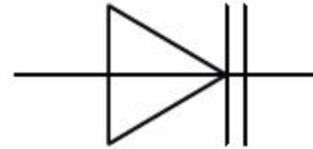
Условное обозначение стабилитрона приведено на рисунке 3.10.



*Рисунок 3.10 – Стабилитрон: а – условное обозначение; б - 2С133А; в - КС156А; г - КС527А; д - КС210Б; е - КС175С*

**Варикапами** называют полупроводниковые диоды, действие которых основано на использовании зависимости емкости перехода от обратного напряжения. Варикапы используются в качестве элемента с электрически управляемой емкостью. В варикапах изменение обратного напряжения, приложенного к р-п переходу, приводит к изменению барьерной емкости между областями р-п .

Условное обозначение варикапа:



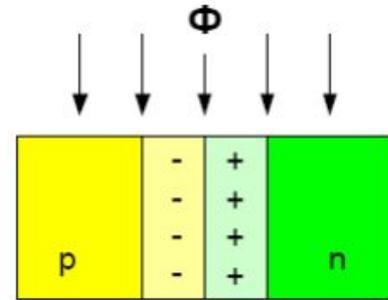
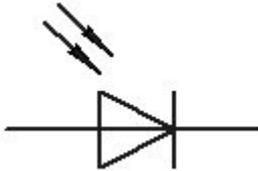
Основными параметрами варикапа является *общая емкость  $C_v$  [нФ]*, которая указывается в справочниках при небольшом обратном напряжении, обычно при **4 В**. У большинства варикапов  $C_v = 10 \div 500$  нФ.

Коэффициент перекрытия по емкости:

$$K_c = \frac{C_{\max}}{C_{\min}} = 5 - 20.$$

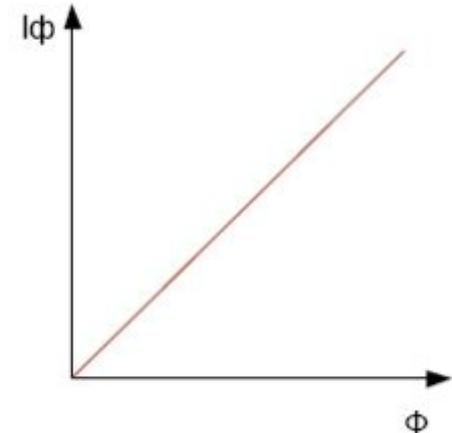
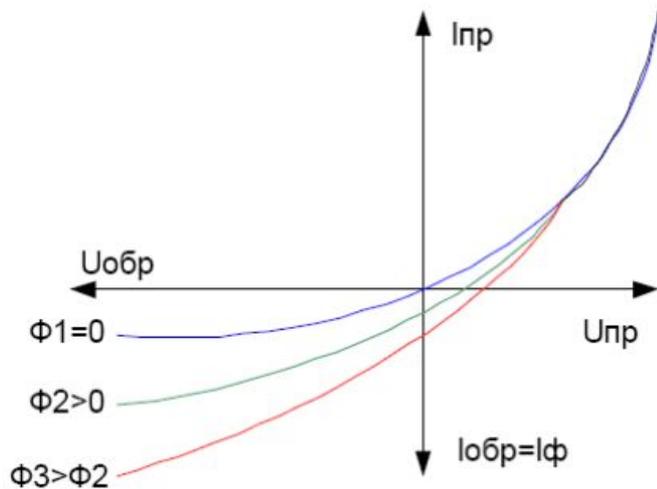
**Варикапы применяют** в системах автоматической настройки частоты радиоприемной аппаратуры и в параметрических усилителях с малым уровнем собственных шумов.

**Фотодиоды** представляют собой фотогальванический приемник излучения без внутреннего усиления, фоточувствительный элемент которого содержит структуру полупроводникового диода. Фотодиод выполнен так, что его р-n переход одной стороной обращен к стеклянному окну, через который поступает свет, и защищен от воздействия света с других сторон.



Фотогенерация в значительной степени будет влиять на обратный ток

Для фотодиодов  $I_{обр}$  — это фототок. Зависимость фототока  $I_{\phi}$  от величины светового потока  $I_{\phi} = f(\Phi)$



## 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.