

“Фотоприемники:  
фотосопротивления,  
фотодиоды, фототранзисторы”

Зелемоткин А.В.

## Фотоприемники

- это полупроводниковые приборы, регистрирующие оптическое излучение и преобразующие оптический сигнал на входе в электрический сигнал на выходе фотодетектора.

# Статистические Параметры фотоприемников:

- Если на выходе фотоприемника изменяется ток, то фотоприемник характеризуется токовой чувствительностью  $S_i$ . Токовая чувствительность – величина, характеризующая изменение тока, снимаемого с фотоприемника при единичном изменении мощности падающего оптического излучения:

$$S_i = \frac{\Delta I}{\Delta P} \left[ \frac{B}{B_T} \right]$$

- Если регистрируемый сигнал на выходе фотоприемника - напряжение, то вводят понятие вольтовая чувствительность – как величина, показывающая, на сколько изменится напряжение на выходе фотоприемника, при единичном изменении мощности падающего лучистого потока:

$$S_V = \frac{\Delta U}{\Delta P} \left[ \frac{B}{B_T} \right]$$

# К фотоприемникам относятся:

- **Фотодиоды**
- **Фоторезисторы**
- **Фототранзисторы**
- **P-I-N Фотодиоды**

# Процессы лежащие в основе действия фотоприемников:

- **Генерация** носителей под действием внешнего излучения.
- **Перенос** носителей и умножение за счет того или иного механизма, характерного для данного прибора.
- **Взаимодействие** тока с внешней цепью, обеспечивающее получение выходного сигнала.

# Фотодетекторы должны обладать

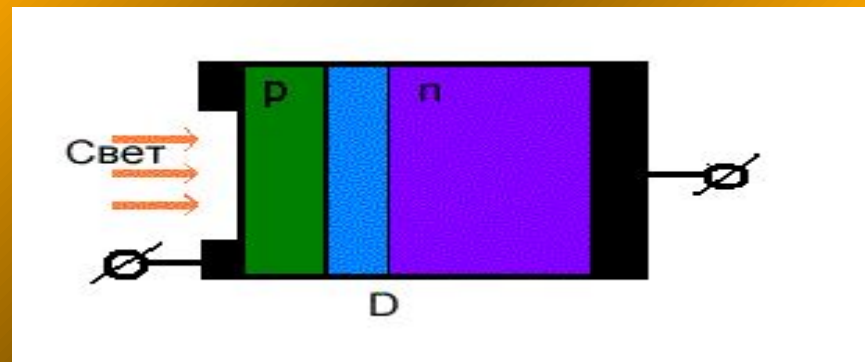
- высокой чувствительностью и быстродействием
- низким уровнем шумов
- иметь малые размеры
- низкие управляющие напряжения и токи.

# ФОТОДИОДЫ

## Принцип действия:

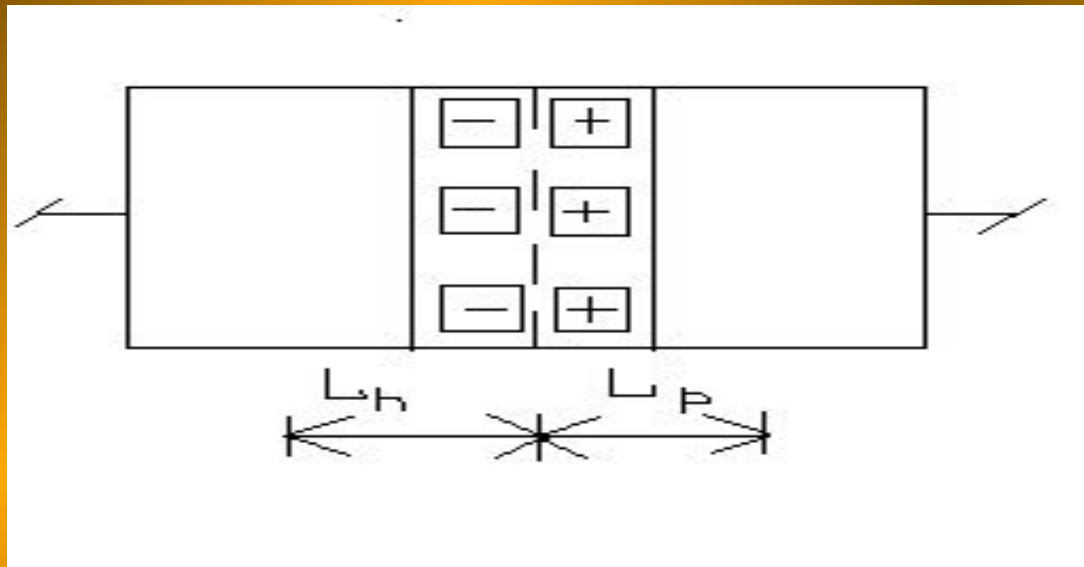
под действием оптического излучения образуется электронно-дырочная пара и в области пространственного заряда р-n перехода резко возрастает обратный ток фотодиода.

## Схема фотодиода:



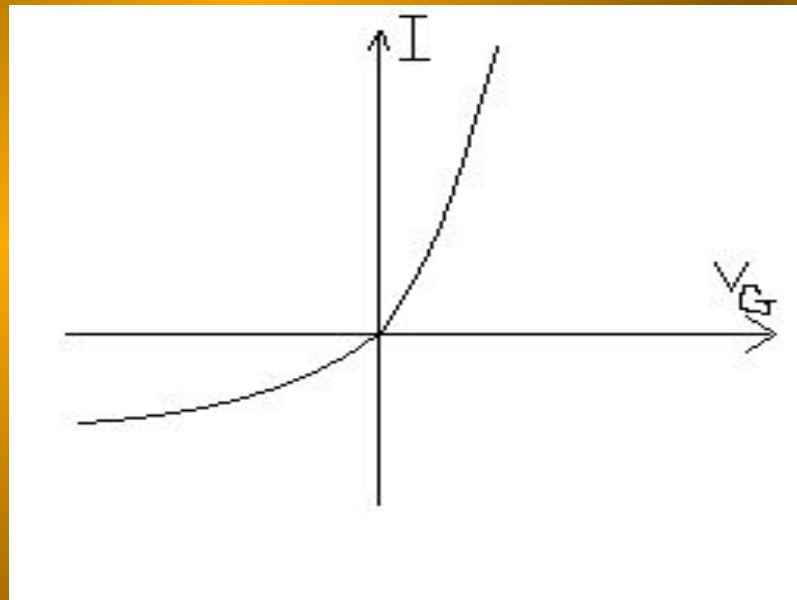


Рассмотрим фотодиод на основе р-п перехода



# ВАХ фотодиода

- $I_{\text{темн}} = I_0 (e^{\beta V_g} - 1)$
- $I_0 = q \cdot L_p \cdot P n_0 / t_p + q \cdot L_n \cdot N p_0 / t_n$



$$\Delta N, \Delta P \gg P n_0, N p_0$$

- При освещении фотодиода происходит генерация электронно-дырочных пар. Во всем проводнике изменяется концентрация неосновных носителей, следовательно возрастает дрейфовая компонента тока, а диффузионная не меняется.

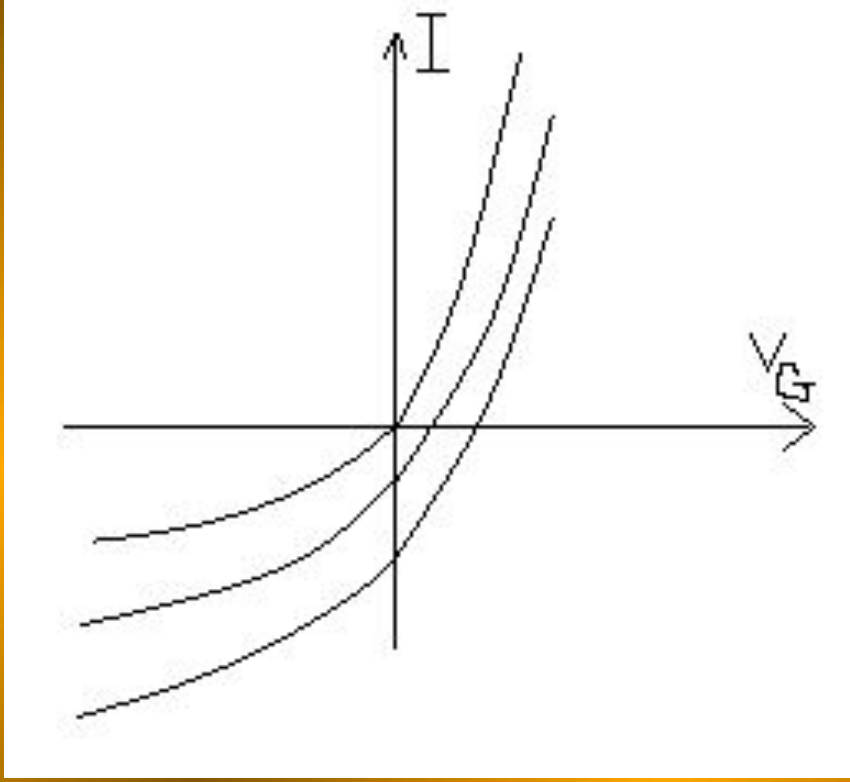
$$\Delta N, \Delta P \gg P n_0, N p_0$$

$$\Delta N, \Delta P \ll N n_0, P p_0$$

$$I_{\Phi} = q \cdot L_p \cdot \Delta P / t_p + q \cdot L_n \cdot \Delta N / t_n = I_{\Delta PE} + I_{\Delta NE}$$

## Полный ток в фотодиоде

- $I = I_{\Phi} + I_{\text{темн}}$
- Фототок от напряжения не зависит.
- Область поглощения светового потока должна принадлежать промежутку  $(-L_{p,n}; L_{p,n})$
- ВАХ сдвигаются эквидистантно.



# Расчет полного тока

$$I = I_r + I_n + I_p = I_T + I_\Phi$$

**$I_n$**  - обусловлена равновесными и избыточными электронами в p-области

**$I_r$**  - обусловлена термо- и фотогенерацией электронно-дырочных пар в области пространственного заряда p-n перехода

**$I_p$**  - обусловлена дырками в n-области

**$I_T$**  - плотность темнового тока

**$I_\Phi$**  - добавка за счет действия оптического излучения

Вклад в  **$I_n$**  и  **$I_p$**  дают те носители, которые не рекомбинируют с основными носителями и достигают за счет диффузии p-n перехода.

# Фоторезистор

- **Фоторезистор** - это пластина полупроводника, на противоположных концах которого расположены омические контакты.
- **Схема фоторезистора:**



# Поток внутри полупроводника:

$$\Phi(x) = \Phi_0(1-R)\exp(-\alpha x)$$

$\Phi_0$  - падающий поток

$R$  - коэффициент отражения

$\alpha$  - коэффициент поглощения

$$n_{\phi n} = \frac{\alpha \cdot \Phi_0 \cdot (1 - R) e^{-\alpha x}}{S_{\phi} \cdot h\nu}$$

$S_{\phi}$  - площадь



# Работа фоторезистора характеризуется:

## 1. Квантовой эффективностью (усиление)

Поскольку концентрация изменяется по закону:

$$N=N_0*\exp(-t/T)$$

где  $T$  - время релаксации, то коэффициент усиления по току выражается:

$$I_p/I_{ph}=M_n*T*E/L=T/t_p$$

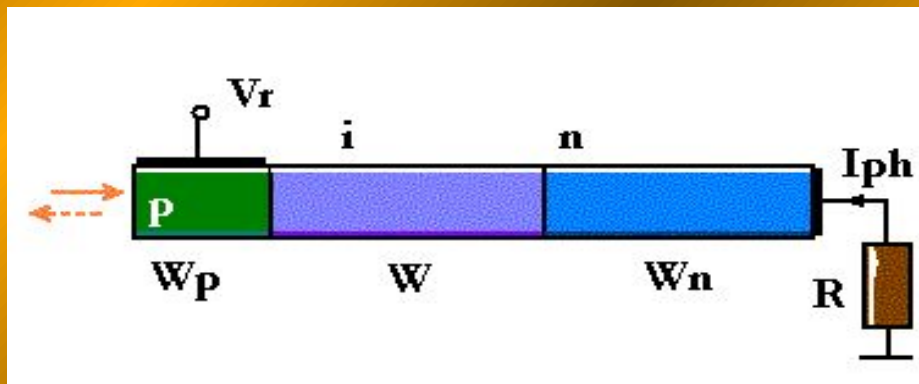
$$t_p=L/V_{др} \text{ - время пролета}$$

**2. Время фотоответа:** зависит от времени пролета. Обычно у фоторезистора время ответа больше, чем у фотодиода, поскольку между контактами большое расстояние и слабое электрическое поле.

**3. Обнаружительная способность.**

# P-I-N Фотодиод

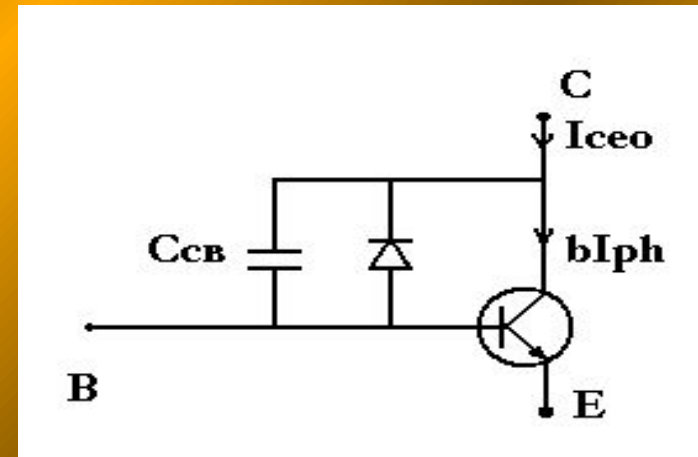
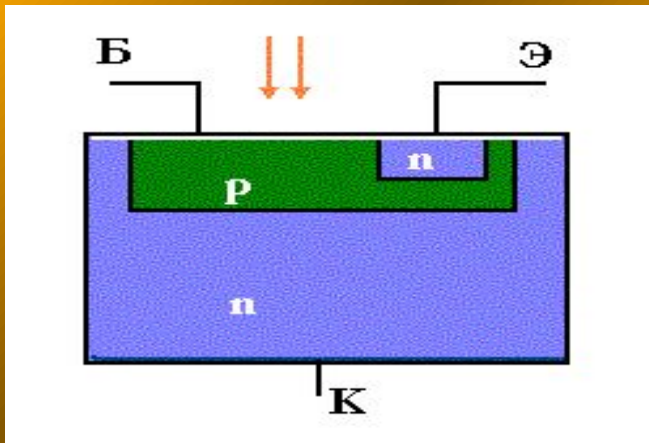
- **P-I-N Фотодиод** построен на обычном p-i-n диоде. Эти приборы являются наиболее распространенными, так как толщину обедненной области можно сделать такой, что обеспечивается оптимальная квантовая эффективность и быстродействие.



# Фототранзистор

**Фототранзистор** действует также как и остальные фотодетекторы, однако транзисторный эффект обеспечивает усиление фототока. По сравнению с фотодиодом фототранзистор более сложен в изготовлении и уступает ему в быстродействии (из-за большей площади).

# Устройство и эквивалентная схема:



Переход база - коллектор играет роль чувствительного элемента. На рисунке он показан в виде диода с параллельно включенной емкостью, имеет большую площадь

- Фототранзистор особенно эффективен, так как обеспечивает высокий коэффициент преобразования по току (50% и более). В режиме работы с плавающей базой фотоносители дают вклад в ток коллектора в виде фототока  $I_{ph}$ . Кроме того, дырки фотогенерируемые в базе, приходящие в базу из коллектора, уменьшают разность потенциалов между собой и эмиттером, что приводит к инжекции электронов через базу в коллектор.
- Общий ток:

$$J_{ceo} = J_{ph} + h_{FE} * J_{ph}$$