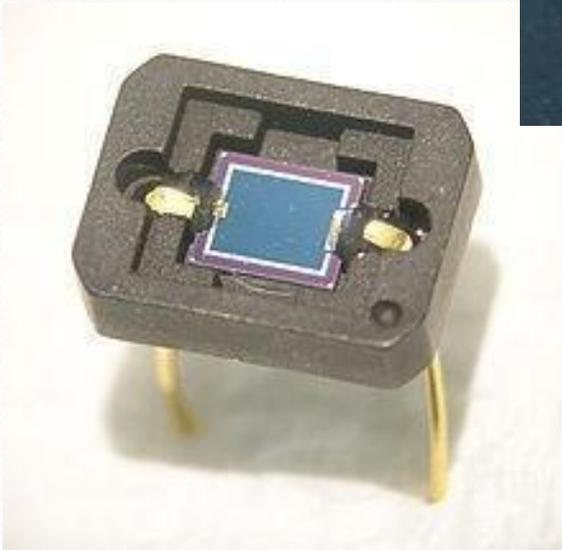


# Фотодиод

Выполнила: студентка группы  
МТР-13-(9)-1  
Евдокимова Ю.А.



# Фотодетекторы

- Фотодетекторы – полупроводниковые приборы, регистрирующие оптическое излучение и преобразующие оптический сигнал на входе в электрический сигнал на выходе фотодетектора.
- Термину фотодетектор используют как эквивалентный термин фотоприемник или приемник оптического излучения.
- **К фотоприемникам относятся:**
  - Фотодиоды
  - Фоторезисторы
  - Фототранзисторы
  - P-I-N Фотодиоды и др. типы

# Определение фотодиода

- Фотодиод — приёмник оптического излучения Фотодиод — приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет Фотодиод — приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счёт процессов в р-п-переходе.
- Фотодиод - это полупроводниковый прибор, в котором

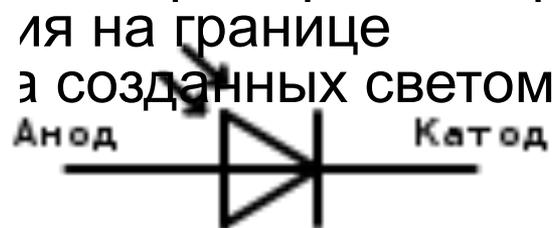
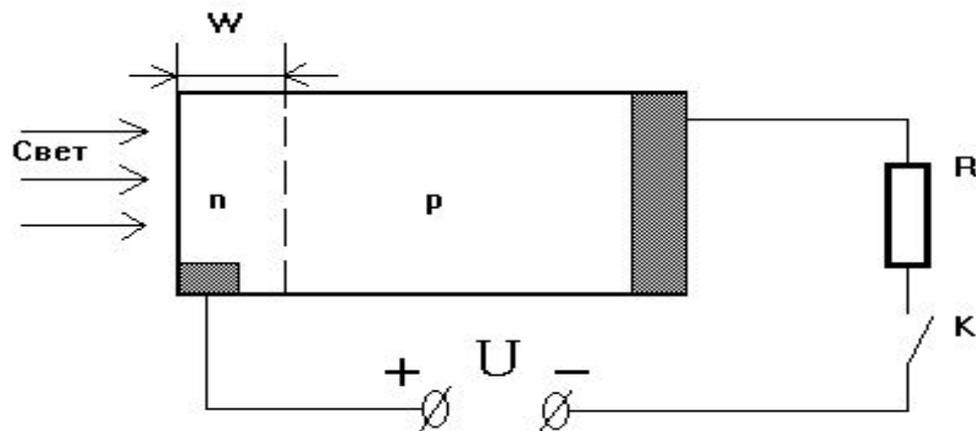


Рис.1. Схематическое изображение фотодиода и схема его включения (слева), обозначение фотодиода на схемах (справа).

# Требования

- высокая чувствительность и быстродействие
- низкий уровень шумов
- малые размеры
- низкие управляющие напряжения и токи.

# Физические основы работы фотодиода

□ При контакте двух полупроводников с разными типами проводимости вследствие разности термодинамических работ выхода  $\Phi_{n\text{-тип}} < \Phi_{p\text{-тип}}$  произойдет перераспределение свободных зарядов и возникнет область пространственного заряда  $Q_1$  и  $Q_2$ . Объемный заряд создает электрическое поле, максимальный на границе  $E_{\text{max}}$  и линейно спадающее вглубь области пространственного заряда.

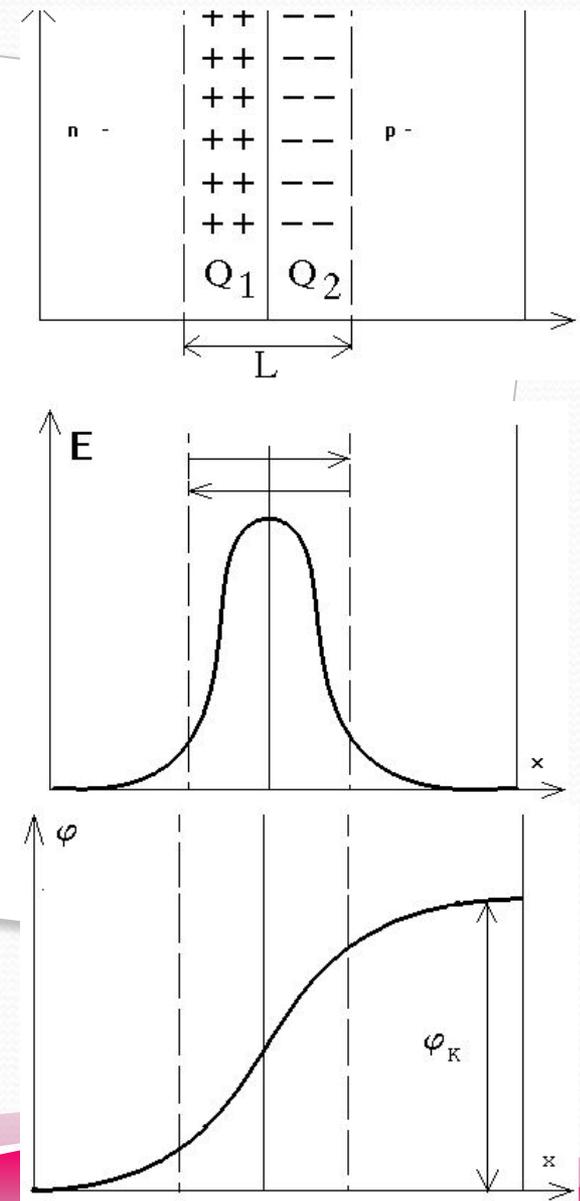


Рис.2 а) Образование вблизи границы раздела двух полупроводников объемных зарядов  $Q_1$  и  $Q_2$ , б) Электрическое поле  $E$ , созданное этими объемными зарядами.  $E = d\phi/dx$  в) Изменение потенциала вблизи границы  $\phi(x)$ .

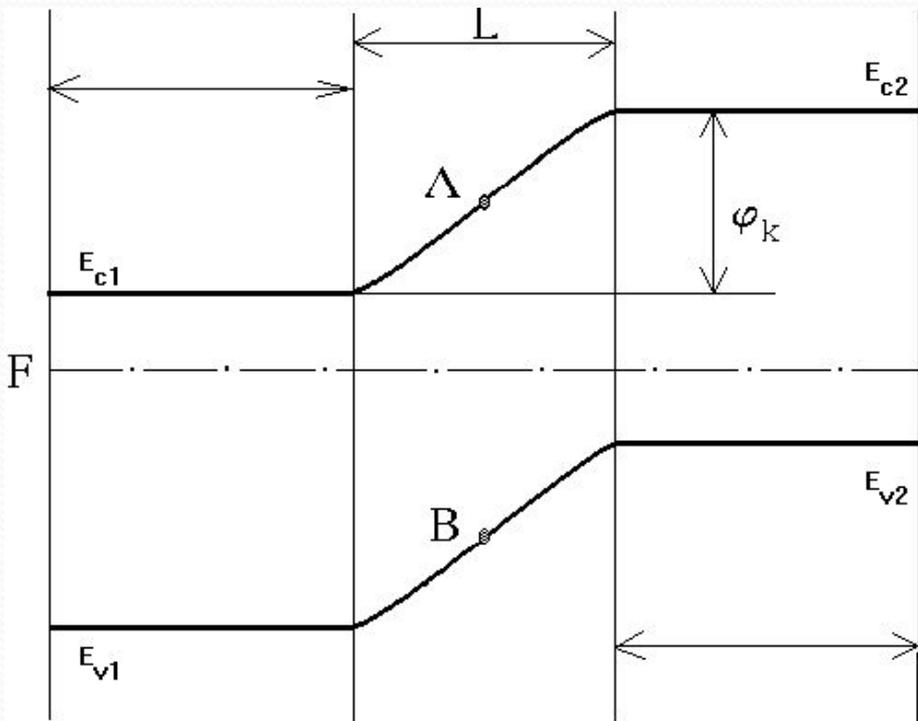
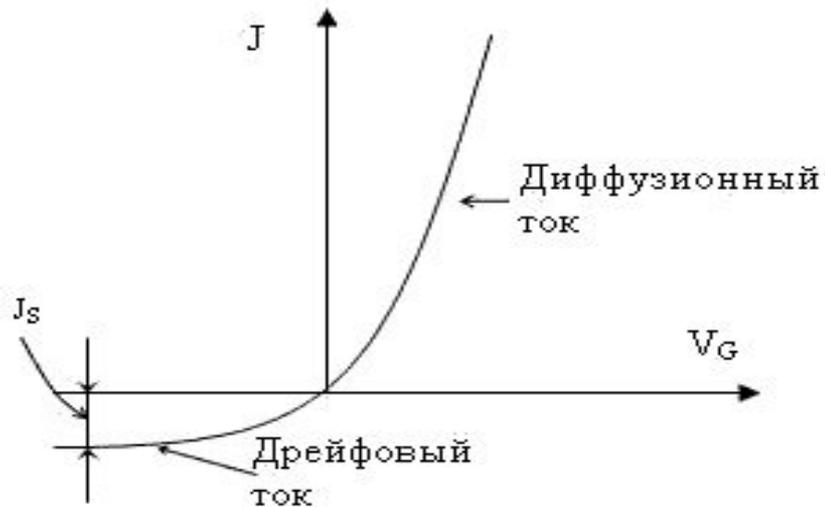


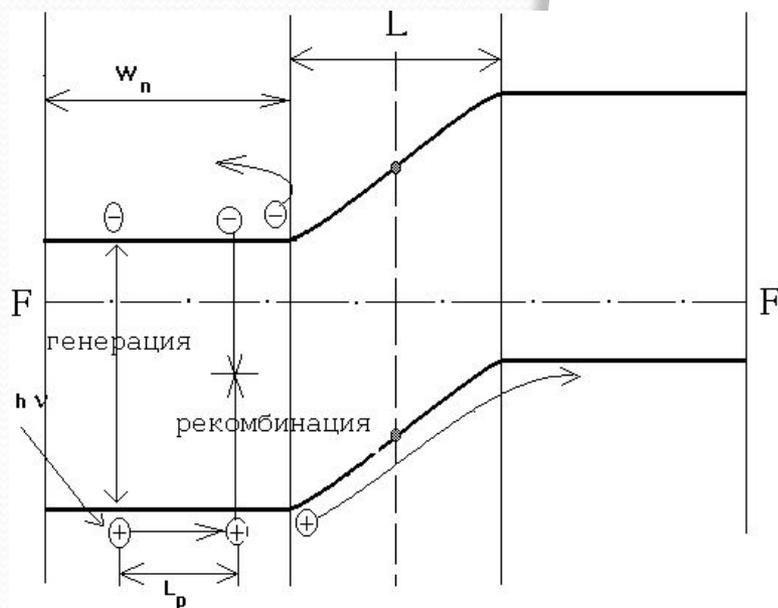
Рис.3. Зонная диаграмма контакта полупроводников р- и n- типов в равновесии.

В условиях термодинамического равновесия в р-п-переходе существуют четыре компоненты тока. Две из них дрейфовые, две – диффузионные, каждый из которых образована неосновными и основными носителями заряда. При приложении напряжения  $V_G$  равновесие нарушается и ВАХ диода будет иметь вид:

$$J = J_s (e^{\beta V_G} - 1)$$



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



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

$$I = \frac{\Delta \mu^{sp}}{R} = I_{\phi} + I_s \left( 1 - e^{-\frac{q \Delta \mu}{kT}} \right)$$

Рис.4. Протекание диффузионного дырочного тока  $I_{\phi}$  через p-n-переход при освещении фотодиода.

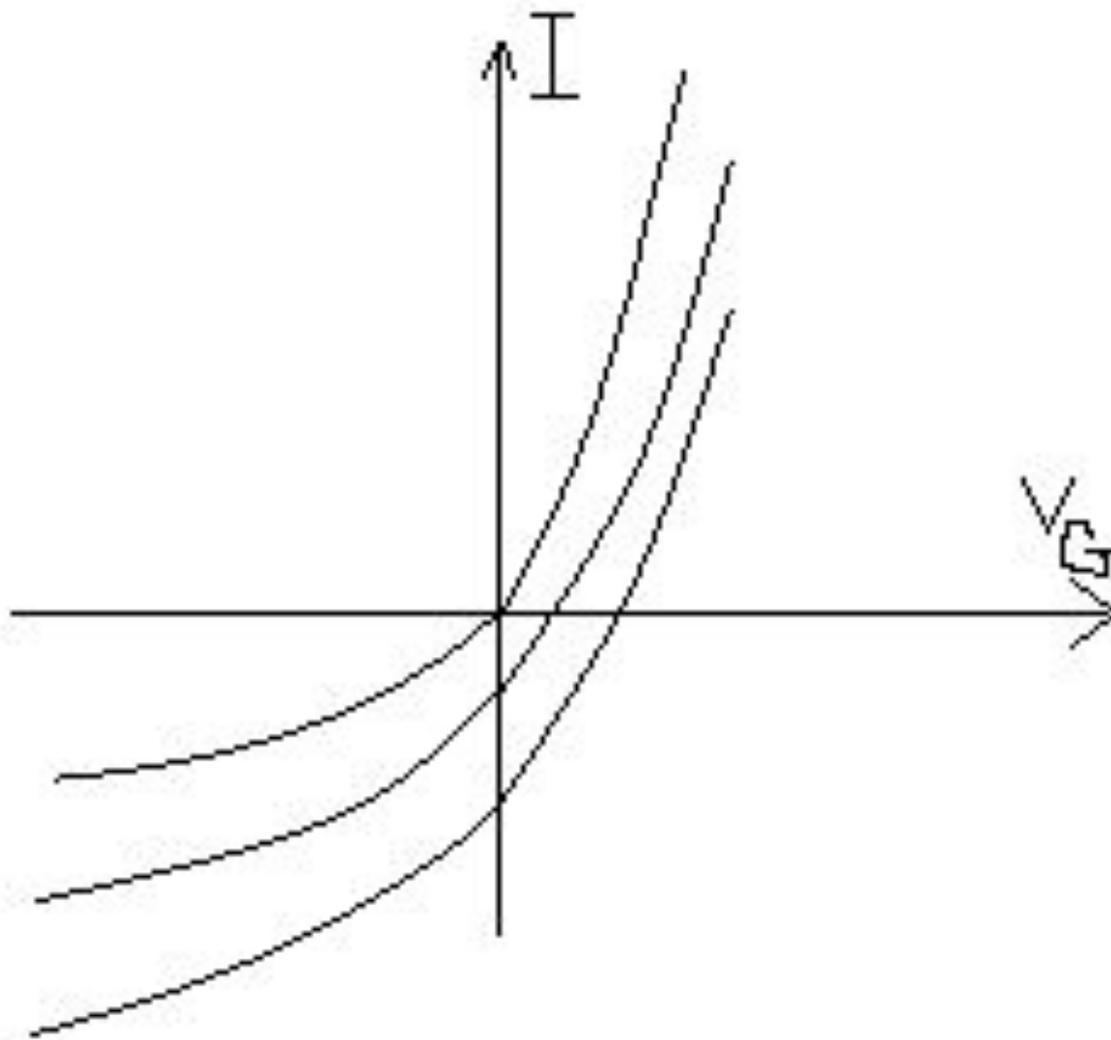


Рис.5. Семейство вольт-амперных характеристик фотодиода при различных уровнях освещения.

# Параметры фотодиодов

● чувствительность - отражает изменение электрического состояния на выходе фотодиода при подаче на вход единичного оптического сигнала. Количественно чувствительность измеряется отношением изменения электрической характеристики, снимаемой на выходе фотоприёмника, к световому потоку или потоку излучения, его вызвавшему.

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

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

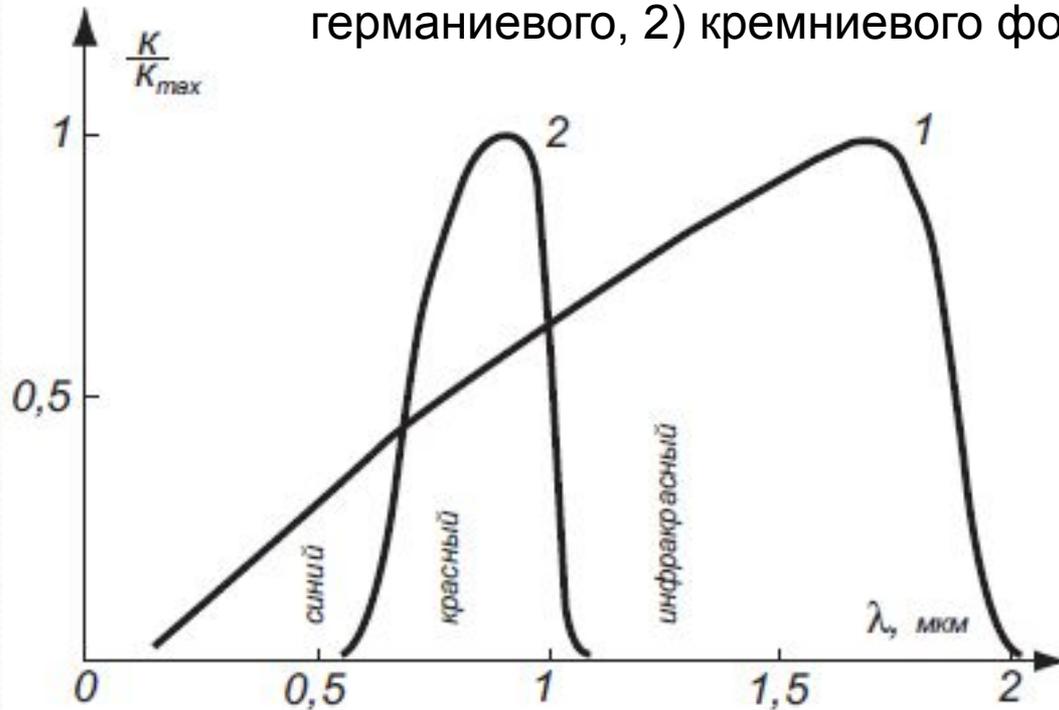
— токовая и вольт-амперная чувствительность

● шумы - хаотический сигнал со случайной амплитудой и спектром- хаотический сигнал со случайной амплитудой и спектром. Он не позволяет регистрировать сколь угодно малые полезные сигналы. Шум фотодиода складывается из шумов полупроводникового материала и фотонного шума.

# Характеристики:

- вольт-амперная характеристика (ВАХ) - зависимость выходного напряжения от входного тока.  $U_{\Phi} = f(I_{\Phi})$
- спектральные характеристики - зависимость фототока от длины волны падающего света на фотодиод. Положение максимума в спектральной характеристике фотодиода сильно зависит от степени роста коэффициента поглощения.
- световые характеристики - зависимость фототока от освещённости, соответствует прямой пропорциональности фототока от освещённости.
- постоянная времени - это время, в течение которого фототок фотодиода изменяется после освещения или после затемнения фотодиода в  $e$  раз (63 %) по отношению к установившемуся значению.
- темновое сопротивление - сопротивление фотодиода в отсутствие освещения.
- инерционность

Рис.6. Кривые спектральной чувствительности: и 1) германиевого, 2) кремниевого фотодиодов



Спад фоточувствительности в области больших длин волн соответствует краю собственного поглощения материала фотодиода, когда энергия кванта  $h\nu$  примерно равна энергии ширины запрещенной зоны. При меньших энергиях фотон просто не может перевести электрон из валентной зоны в зону проводимости. Уменьшение чувствительности в области коротких волн связано с тем, что при уменьшении длины волны световая энергия поглощается в более тонком приповерхностном слое, где скорость рекомбинации носителей за счет ловушек значительно больше, чем в глубине материала.

# Ограничение по применению

- Две характеристики р-п-фотодиодов ограничивают их применение в большинстве волоконно-оптических приложений. Во-первых, обедненная зона составляет достаточно малую часть всего объема диода, и большая часть поглощенных фотонов не приводит к генерации тока во внешнем контуре. Возникающие при этом электроны и дырки рекомбинируют на пути к области сильного поля. Для генерации тока достаточной силы требуется мощный световой источник. Во-вторых, наличие медленного отклика, обусловленного медленной диффузией, замедляет работу диода, делая его непригодным для средне- и высокоскоростных применений. Это позволяет использовать фотодиод на основе р-п – перехода только в киллогерцовом диапазоне.

**Спасибо за внимание!**