

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ -

вещества, основным свойством которых
является сильная зависимость
электропроводности от внешних факторов

По типу электропроводности

Собственные

с.н.з. – электроны и дырки

12 простых веществ

B, C, Si, P, S, Ge, As, Sn (серое
олово), Sb, Te, Y, Se.

Примесные

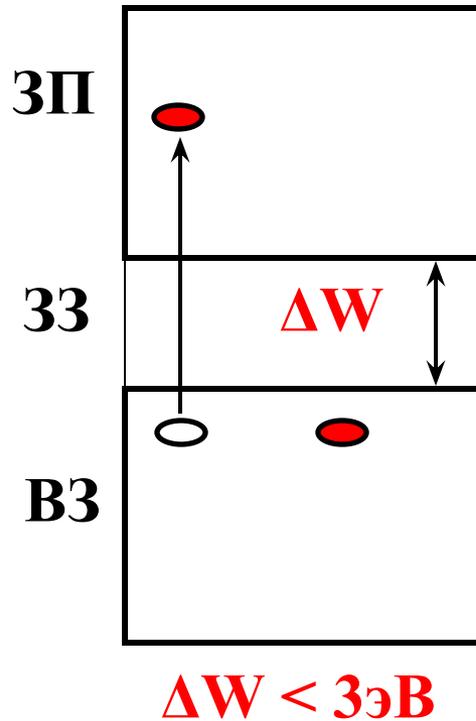
Донорные

с.н.з. –
электроны

Акцепторные

с.н.з. –дырки

полупроводники



$$\rho_V \sim 10^{-4} \div 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

$A^I B^{VII}$ (AgCl, CaBr и др.),

$A^{II} B^{VI}$ (CdS, CdSe и др.),

$A^{III} B^V$ (GaP, GaAs и др.),

$A^{IV} B^{IV}$ (PbS, GeO₂ и др.),

$A^I B^{VI}$ (CuS и др.)

$A^I B^{VII} C^{VI}$ (CuAlS₂, CuJnS₂ и др.);

$A^I B^V C^{VI}$ (CuSbS₂, CaAsS₂ и др.);

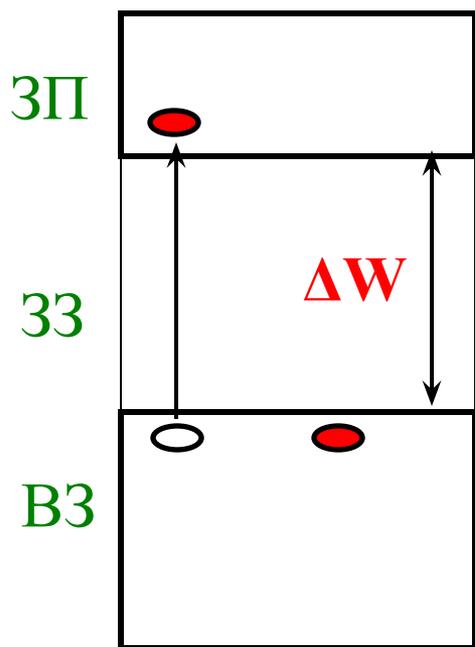
$A^I B^{VIII} C^{VI}$ (CuFeSe₂ и др.);

$A^{II} B^{IV} C^V$ (ZnSiAs₂, ZnGeAs и др.);

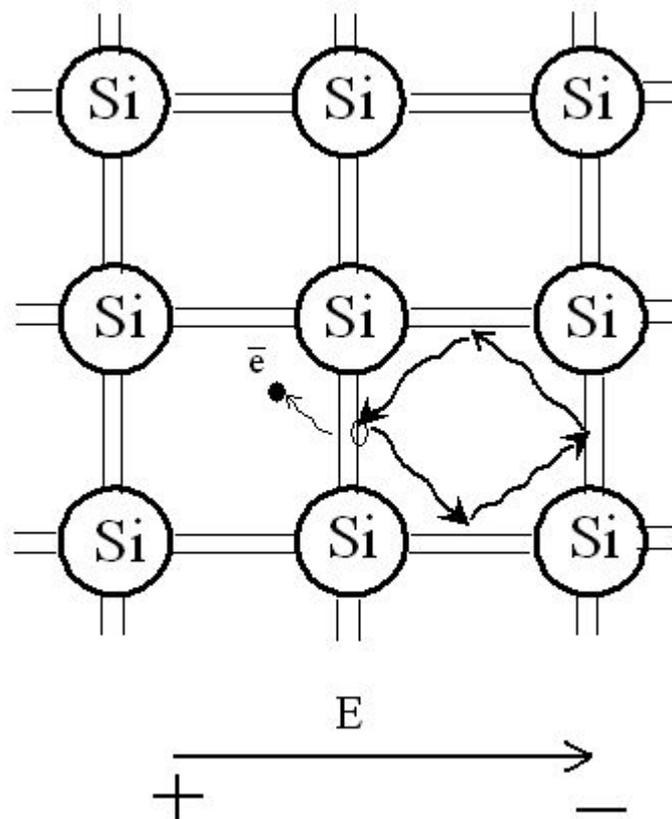
$A^{IV} B^V C^{VI}$

Энергия активации (ΔW) – минимальная энергия,
необходимая для перевода электрона в зону
проводимости

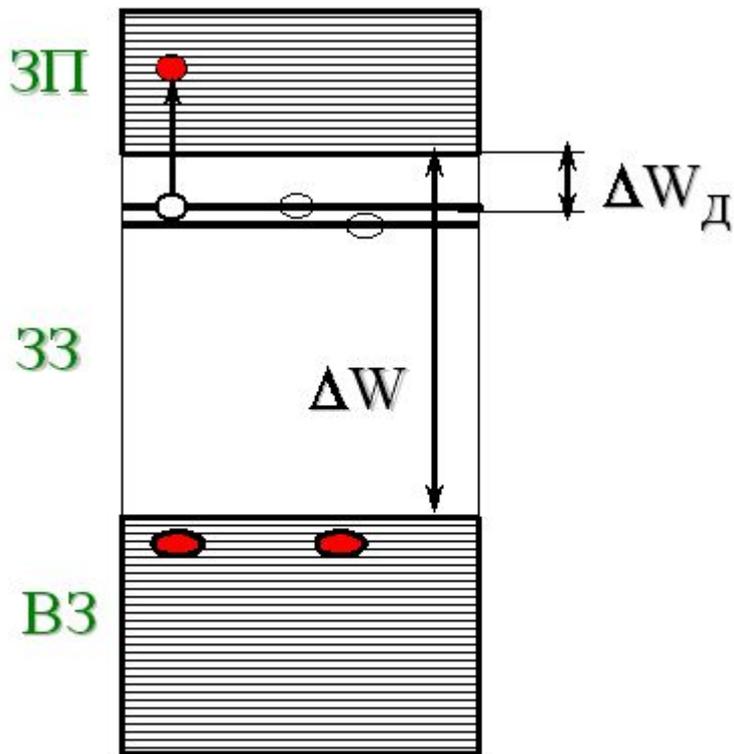
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ СОБСТВЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ



$$\Delta W < 3\varepsilon_B$$



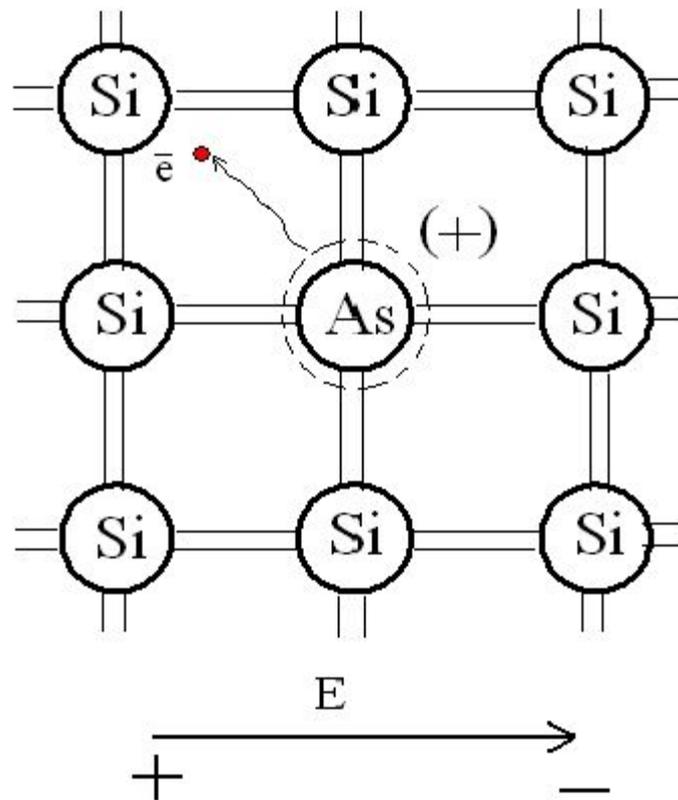
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ДОНОРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ



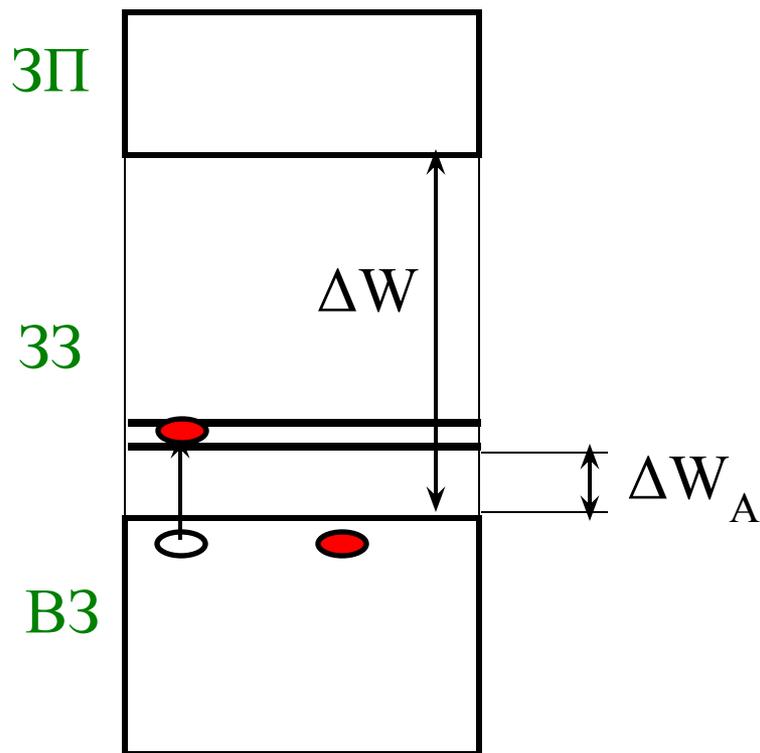
ΔW до 3эВ

$\Delta W_д$ МНОГО МЕНЬШЕ ΔW

$\Delta W_д \sim 0,01$ эВ



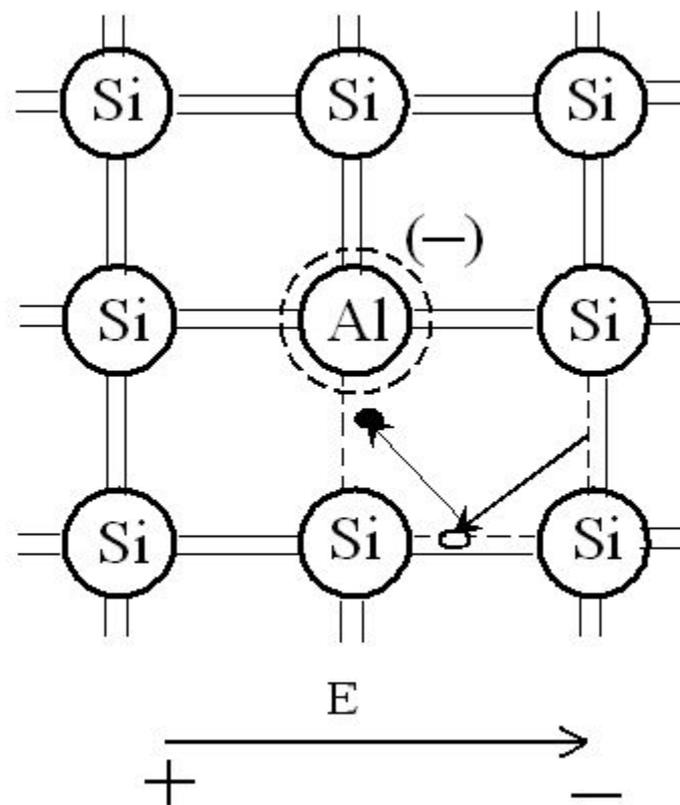
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ АКЦЕПТОРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ



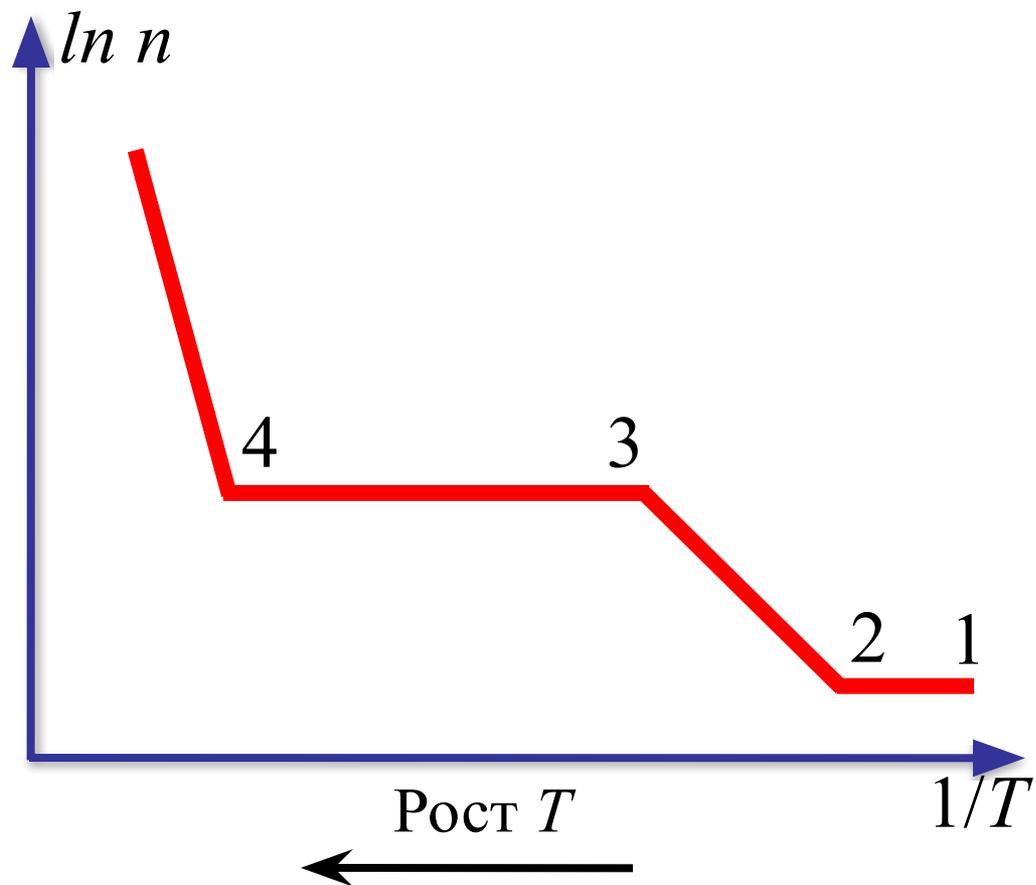
ΔW до 3эВ

ΔW_A МНОГО МЕНЬШЕ ΔW

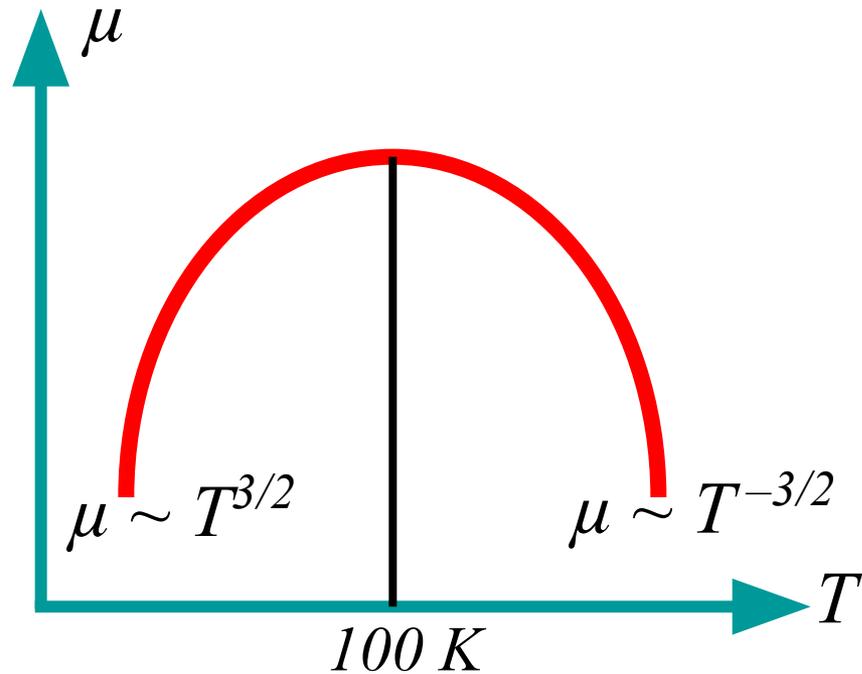
$\Delta W_A \sim 0,01$ эВ



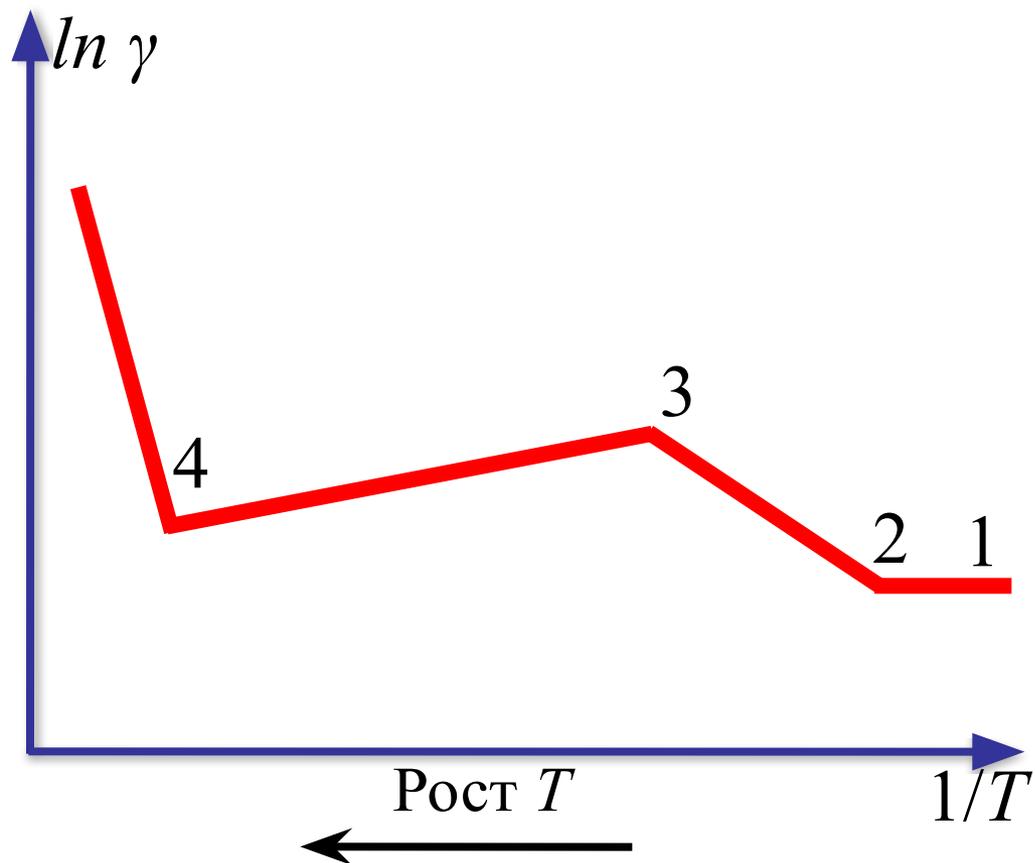
Температурная зависимость концентрации n с.н.з. в примесном полупроводнике



Температурная зависимость подвижности μ с. н.з. в полупроводниках.



ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ γ ПОЛУПРОВОДНИКОВ



$$\gamma = n e \mu_n + p e \mu_p \quad \text{и} \quad n = A e^{-\Delta E / 2kT} \quad \Rightarrow$$

$$\gamma = \gamma_0 e^{-\Delta E / 2kT} \quad \text{и} \quad R_T = R_0 e^{-B/T}, \quad \text{где}$$

$$B = \Delta E / 2k$$

B – коэфф. температурной чувствительности.

Температурный коэффициент удельного сопротивления:

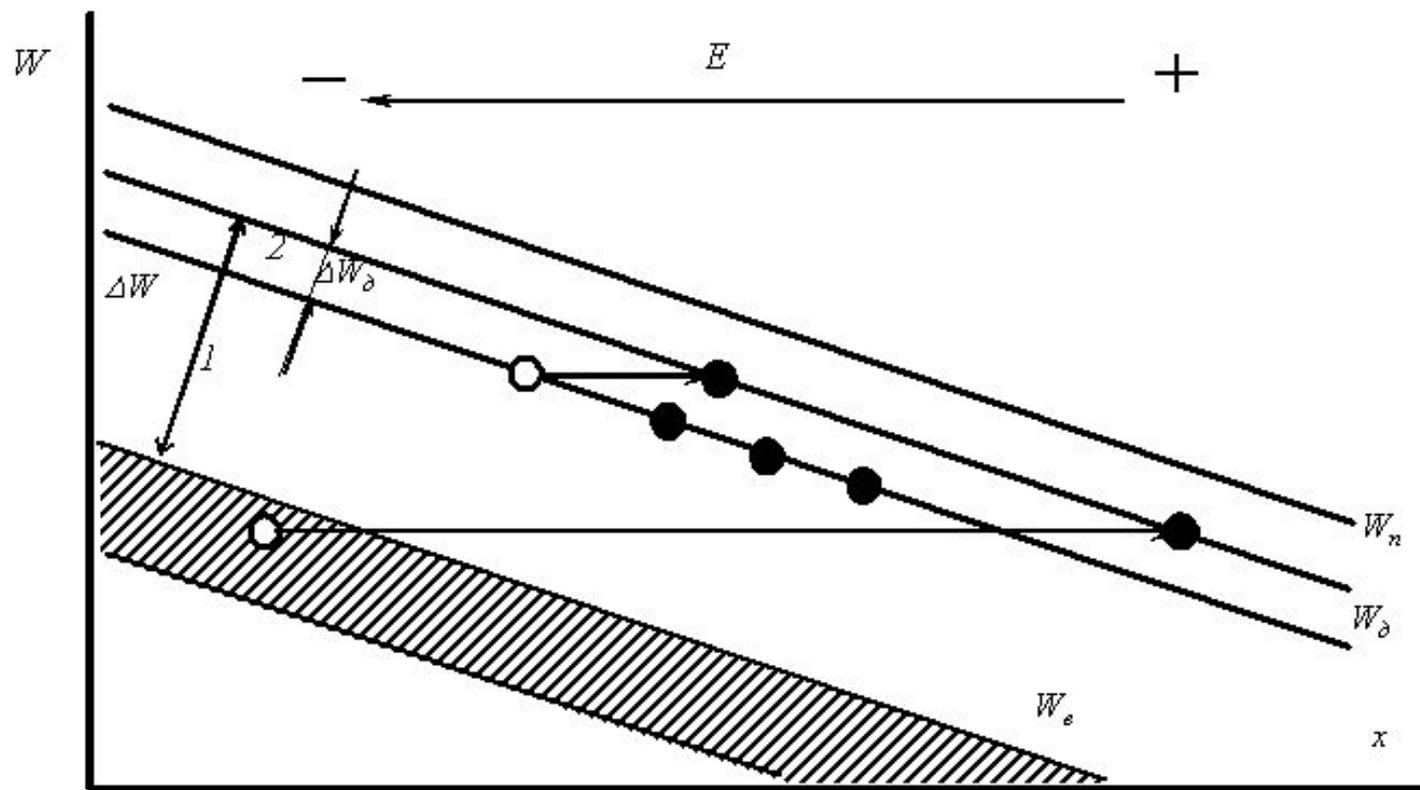
$$\text{TK}_\rho = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} = -B/T^2$$

ТЕРМОРЕЗИСТОР – полупроводниковый прибор, действие которого основано на зависимости электрического сопротивления от температуры

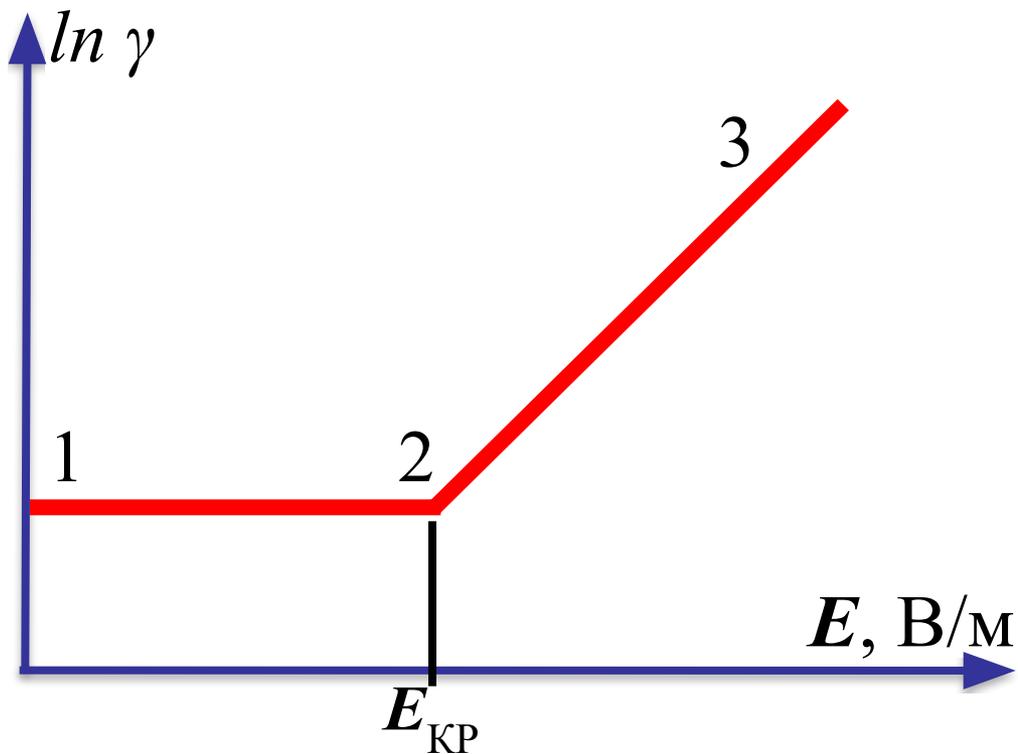
ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ:

- 1. Кобальто-марганцевые**
- 2. Медно-марганцевые**
- 3. Медно-кобальто-марганцевые**

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ



ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ИОНИЗАЦИЯ



$E_{\text{кр}}$ – критическая напряженность электрического поля: минимальная напряженность при которой начинается сильная зависимость концентрации и подвижности с.н.з. от E . Закон Френкеля:

$$\gamma = \gamma_0 \exp(\beta \sqrt{E}) \quad ; \quad R = R_0 \exp(-\beta \sqrt{E})$$

Полупроводниковый прибор, действие которого основано на использовании зависимости электропроводности (сопротивления) n/n от напряженности электрического поля называется

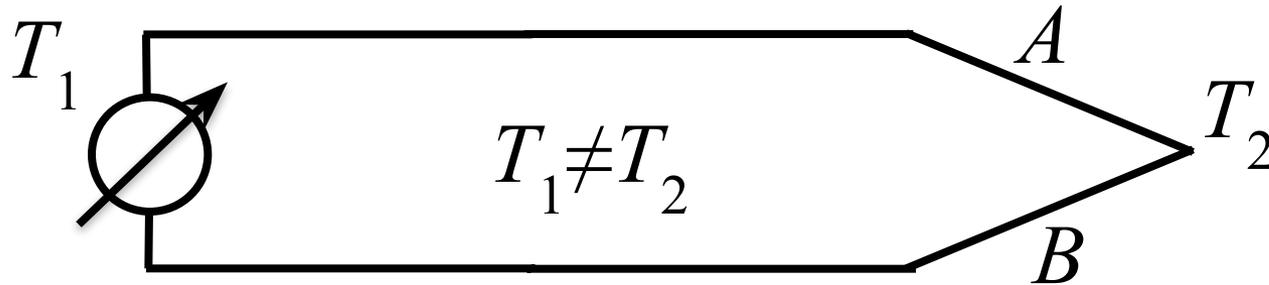
ВАРИСТОРОМ

В качестве материалов для изготовления варисторов используют:

- а) карбид кремния (СН1)
- б) селен (СН2)

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона.



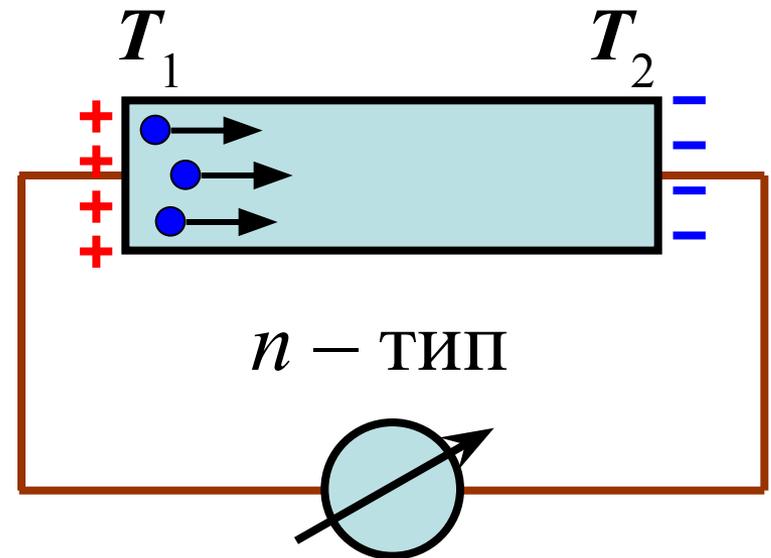
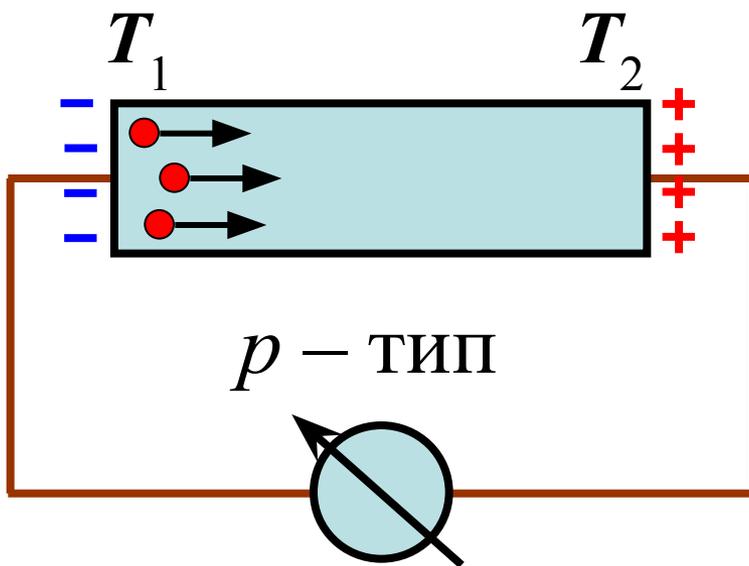
Эффект Зеебека: если в замкнутой электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных разнородных полупроводников, на спаях создана разность температур $\Delta T \neq 0$, то в цепи возникает термоЭДС:

$$U_T = \alpha \cdot \Delta T$$

α – коэффициент термоЭДС, который зависит от материалов термопары и интервала температур

Определение типа с.н.з. с помощью эффекта Зеебека

$$T_1 > T_2$$



Эффект Пельтье: при прохождении тока через контакт двух последовательно соединенных разнородных полупроводников, место соединения нагревается или охлаждается в зависимости от направления тока.

Количество теплоты: $Q_{\Pi} = \pm \Pi \cdot I \cdot t$

Π – коэффициент Пельтье

I – величина тока, протекающего через контакт

t – время прохождения тока

Томсон установил связь: $\alpha = \Pi/T$

Эффект Томсона: при прохождении тока через полупроводник, вдоль которого есть градиент температуры, в дополнении к теплоте Джоуля, в зависимости от направления тока, выделяется или поглощается некоторое количество тепла.

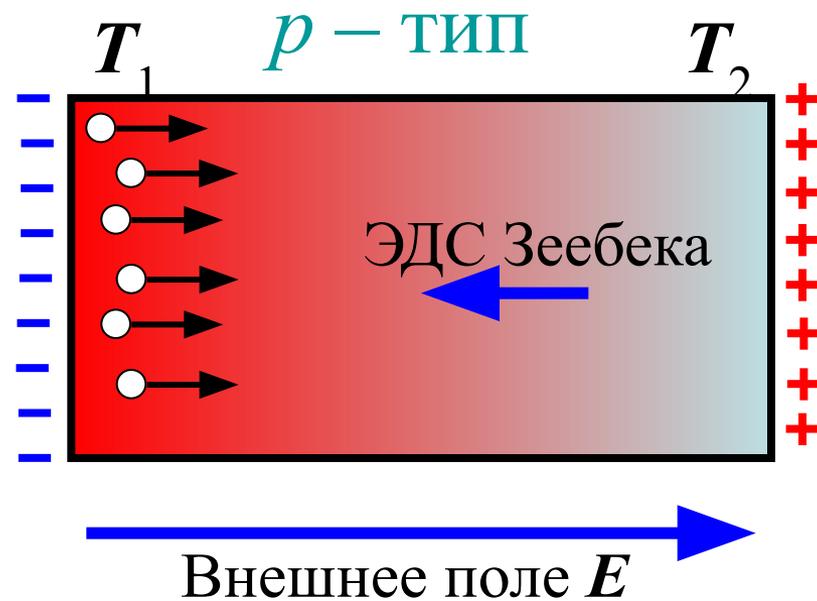
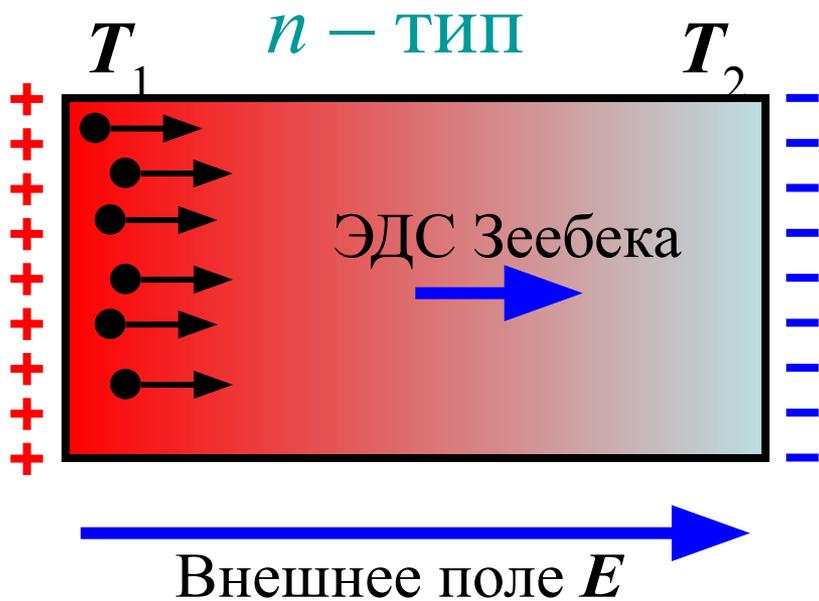
Теплота Томсона: $Q_T = \tau \cdot \Delta T \cdot I \cdot t$

τ — коэффициент Томсона

Между всеми термоэлектрическими явлениями существует связь.

$$\alpha = d\Pi/dT + (\tau_1 - \tau_2)$$

Механизм возникновения эффекта Томсона. $T_1 > T_2$



Гальваномагнитный эффект Холла

Если пластину полупроводника, вдоль которой течёт электрический ток I , поместить в магнитное поле B , направленное перпендикулярно направлению тока, то в полупроводнике возникнет поперечное электрическое поле E , направленное перпендикулярно току и магнитному полю.

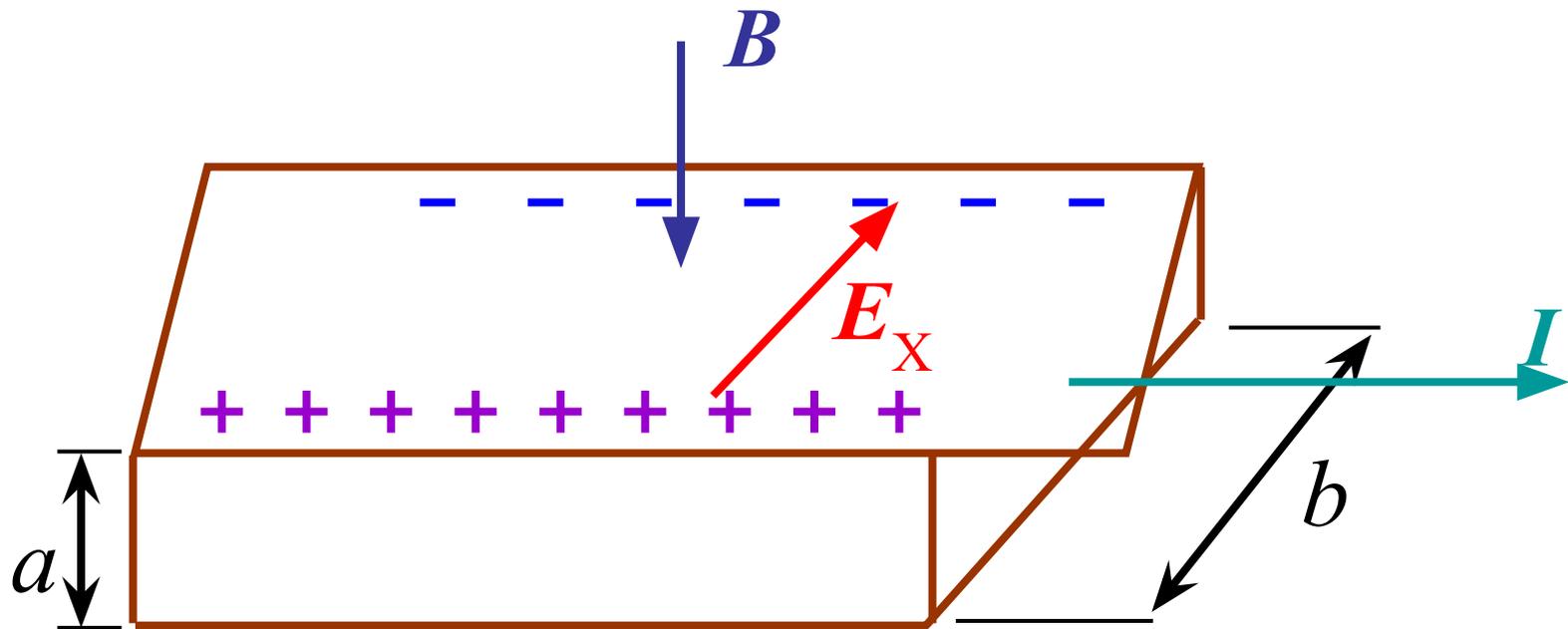


Схема возникновения ЭДС Холла U_x

$$U_x = R_x \frac{I \cdot H}{a} [B]$$

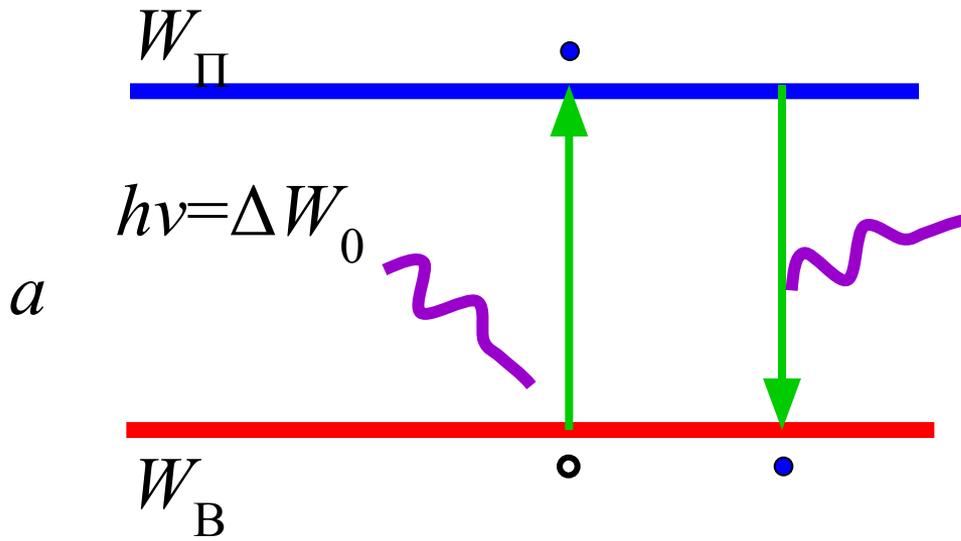
Для полупроводника n -типа: $R_X = \frac{-1}{en}$

Для полупроводника p -типа: $R_X = \frac{1}{ep}$

Для собственного
полупроводника:

$$R_X = \frac{1}{en} \cdot \frac{\mu_p - \mu_n}{\mu_p + \mu_n}$$

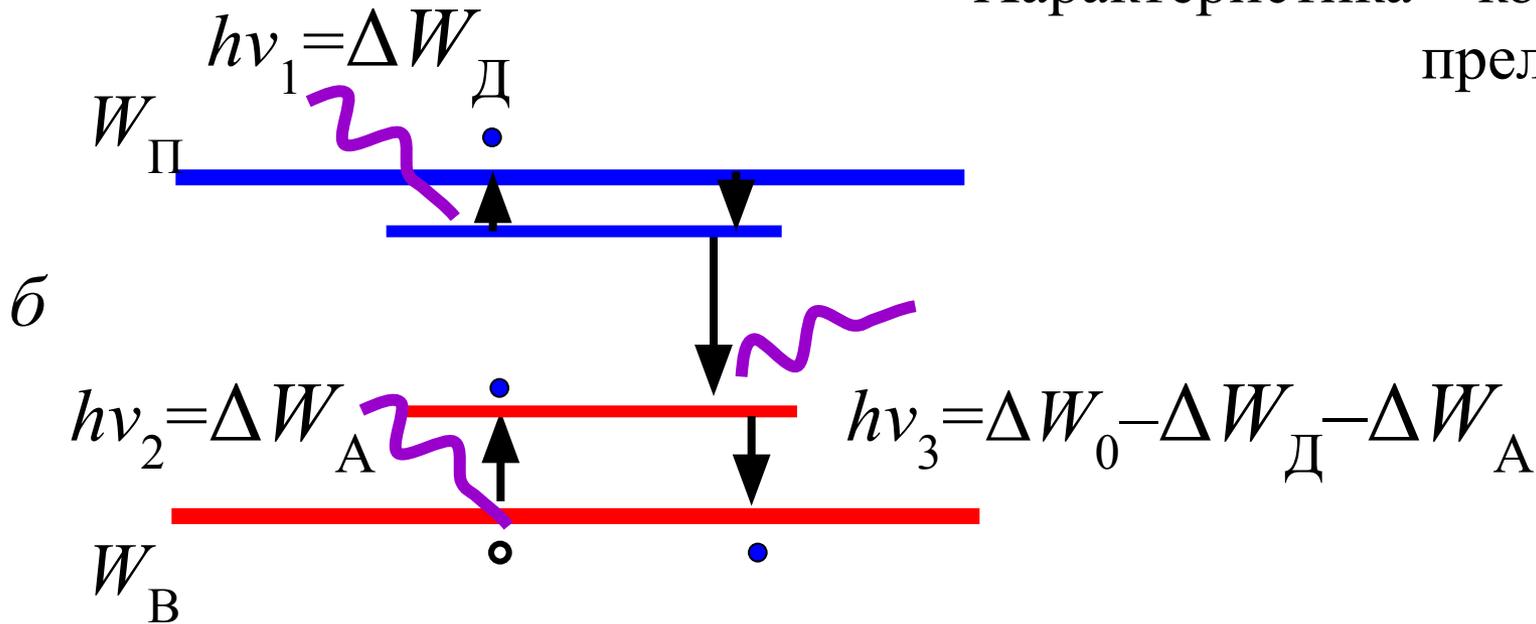
Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках



Оптика:

преломление, отражение, рассеяние.

Характеристика – коэффициент преломления n .



Фотоэлектрические явления:

- эмиссия электронов с поверхности,
- генерация свободных электронов и дырок,
- фотолюминесценция,
- нагревание,
- образование экситонов, то есть связанных электрически нейтральных пар электрон-дырка

Фотоэлектрические явления происходят в результате поглощения энергии фотонов полупроводником.

Поглощение света полупроводниками.

Закон *Бугера-Ламберта*:

$$I = I_0(1 - R)\exp(-\alpha x) ,$$

I_0 – интенсивность падающего монохроматического излучения;

I – интенсивность прошедшего (или отраженного) излучения;

R – коэффициент отражения;

x – текущая координата от поверхности вдоль луча;

α – толщина образца, на которой интенсивность уменьшается в e раз (коэффициент поглощения).

Зависимости $\alpha(\lambda)$ (или $\alpha(h\nu)$) называют *спектром поглощения*, а $R(\lambda)$ (или $R(h\nu)$) – *спектром отражения*.

Механизмы поглощения света:

- *собственное поглощение*: переходы из валентной зоны в зону проводимости;
- *экситонное поглощение*: переходы с участием экситонных состояний;
- *поглощение свободными носителями заряда*: переходы электронов и дырок внутри разрешённых зон;
- *примесное поглощение*: переходы с участием примесных состояний;
- *решёточное и фононное поглощение*: поглощение энергии фотонов колебаниями кристаллической решётки.

В разных интервалах спектра преобладают различные

Фотопроводимость

удельная фотопроводимость γ_{Φ} :

$$\gamma_{\Phi} = \gamma - \gamma_0 = e(\Delta n \mu_n + \Delta p \mu_p)$$

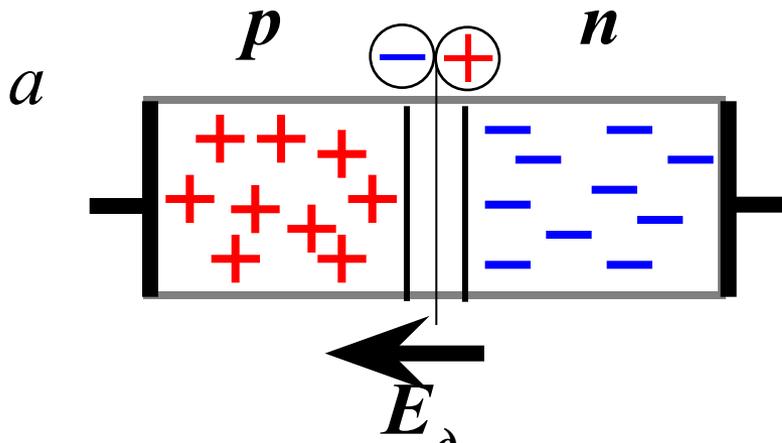
γ_0 – удельная проводимость полупроводника в отсутствие освещения;

γ – удельная проводимость освещенного полупроводника;

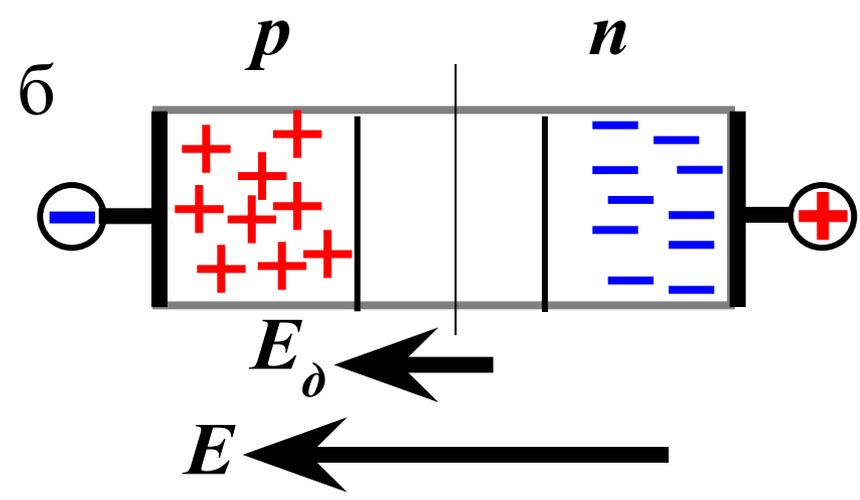
Δn и Δp – концентрация неравновесных с.н.з., возбужденных светом

р-n переход

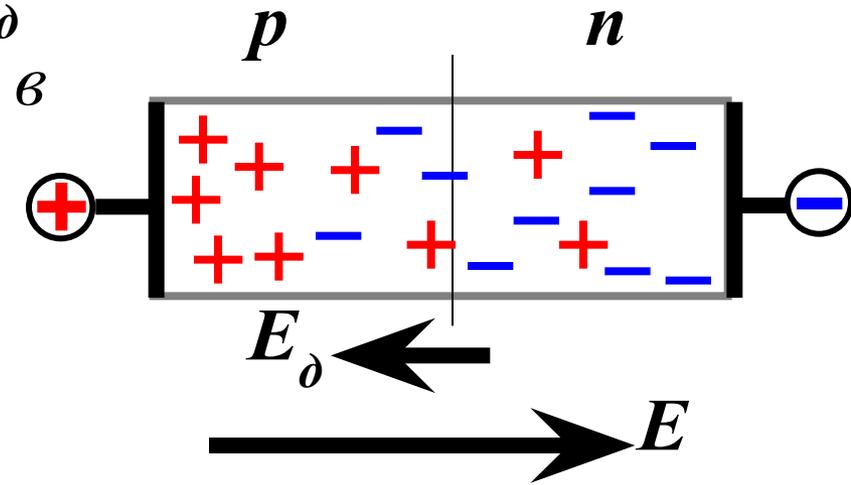
Электронно-дырочные переходы получают вводя в полупроводник донорные и акцепторные примеси так, чтобы одна часть полупроводника обладала электронной, а другая дырочной электропроводностью.



(а) Диффузионное поле E_δ возникает из-за диффузии с.н.з. Образуется запирающий слой толщиной $d \sim 10^{-5}$ см.



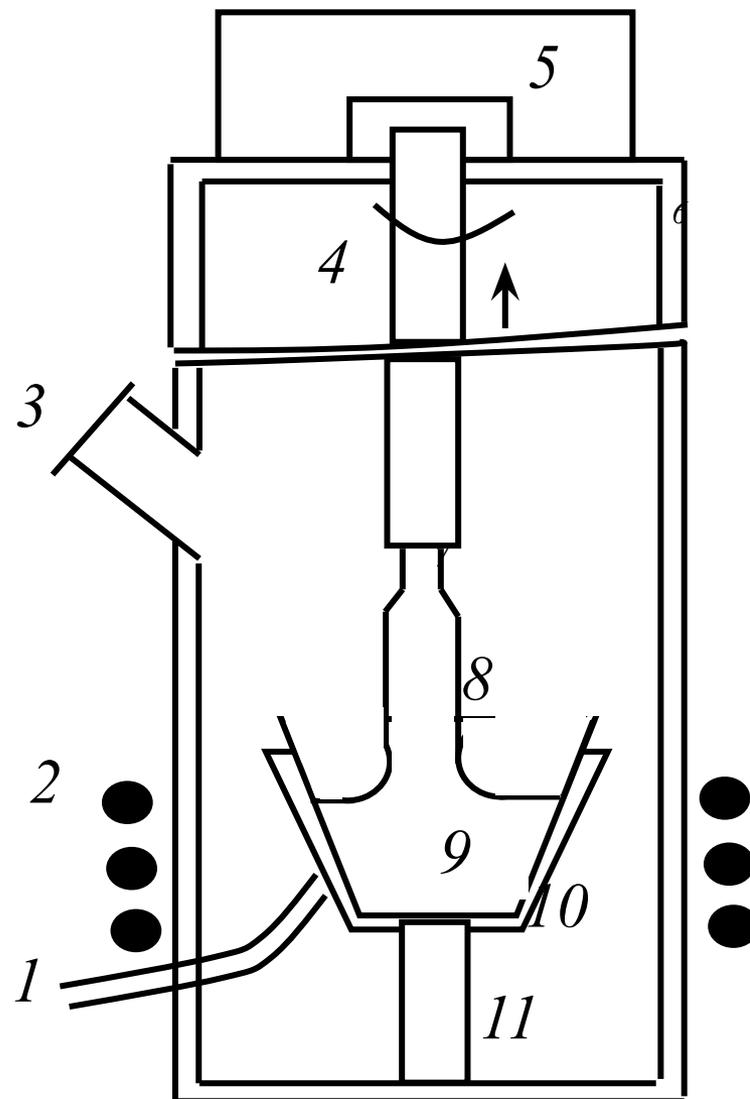
(б) Направление E совпадает с E_δ и переход «заперт».



(в) E направлено против E_δ , запирающий слой насыщается с.н.з., и переход «открыт».

Схема установки для
выращивания монокристаллов
по методу Чохральского:

- 1 – термопара;
- 2 – индукционная печь;
- 3 – окно для визуального
контроля;
- 4 – ось вращения;
- 5 – устройство для вращения;
- 6 – водяная рубашка;
- 7 – монокристаллическая
затравка;
- 8 – выращиваемый кристалл;
- 9 – расплав;
- 10 – графитовый нагреватель;
- 11 – теплоизоляционная
подложка.



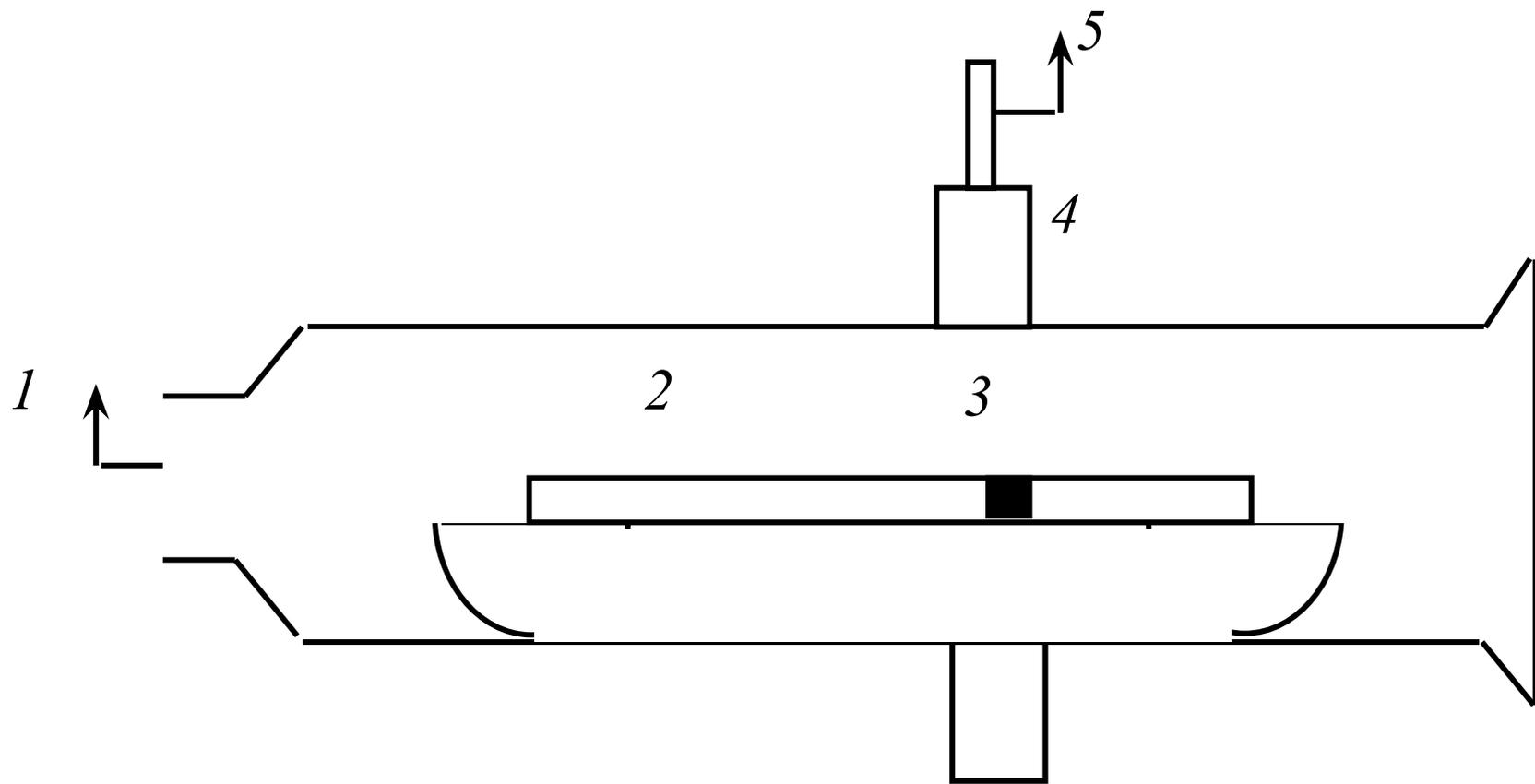


Схема установки для проведения зонной перекристаллизации:
 1 – откачка на вакуум; 2 – образец в тигле; 3 – расплавленная зона;
 4 – перемещаемый нагреватель; 5 – к устройству, перемещающему зону.

$$K_{з.п.} = C_{ж.ф.} / C_{т.ф.} > 1$$