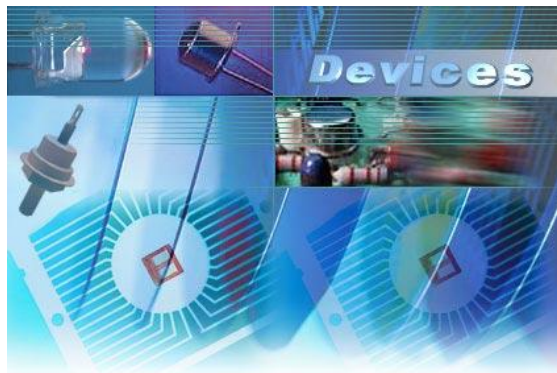


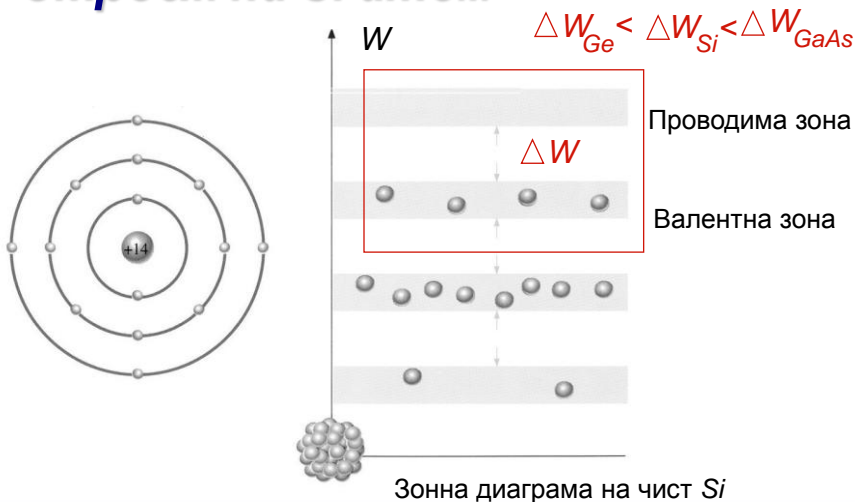


Свойства на полупроводниците

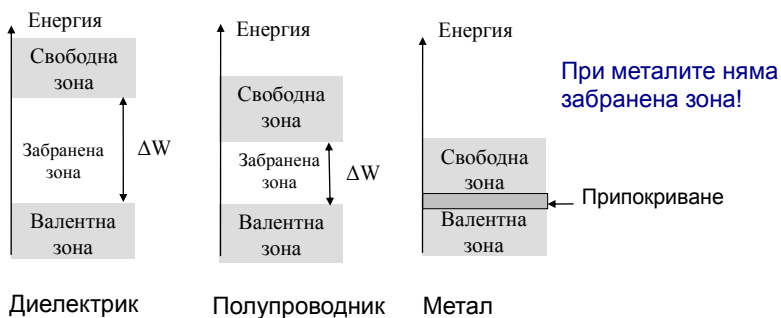


Полупроводникови елементи

Строеж на Si атом



Зонни диаграми

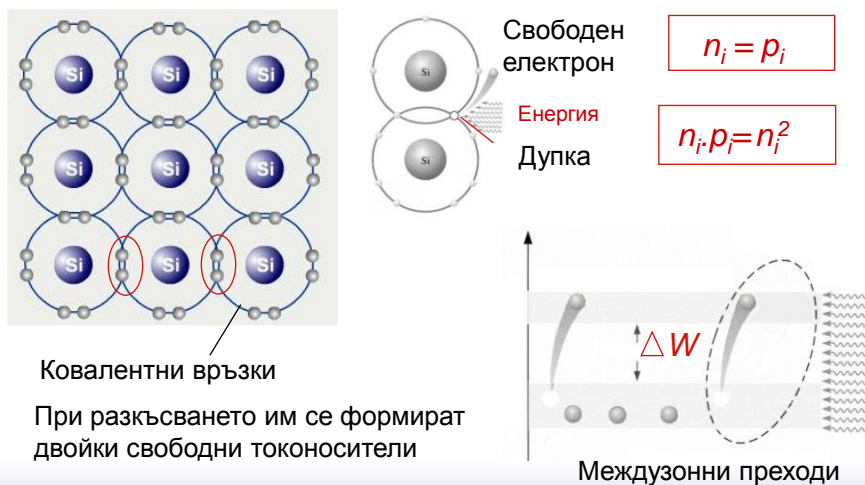


Зонни диаграми на изолатор, полупроводник и метал

© 2010, Доц. д-р. инж. Т.Василева

3

Собствен полупроводник



© 2010, Доц. д-р. инж. Т.Василева

4

Термодинамично равновесие

$T = const \quad n_i = const$

$n_i_{Ge} > n_i_{Si} > n_i_{GaAs}$

Термогенерация
 $n_i = p_i$

Рекомбинация
 $n_i = p_i$

$h\nu$

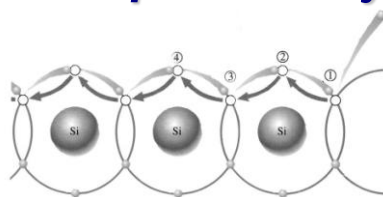
При неизменна температура настъпва **термодинамично равновесие** между процесите на генерация и рекомбинация.

В чистия полупроводник, за съответната температура, се установява постоянна концентрация, наречена **собствена концентрация**.

© 2010, Доц. д-р. инж. Т.Василева

5

Електронен и дупчест ток



Дрейфово движение

$$v_E = \mu E$$

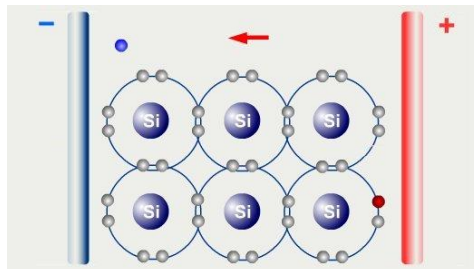
$$\mu_n > \mu_p$$

$$\mu_{nGaAs} \gg \mu_{nSi}$$

$$J_p \leftarrow$$

$$J_n \leftarrow$$

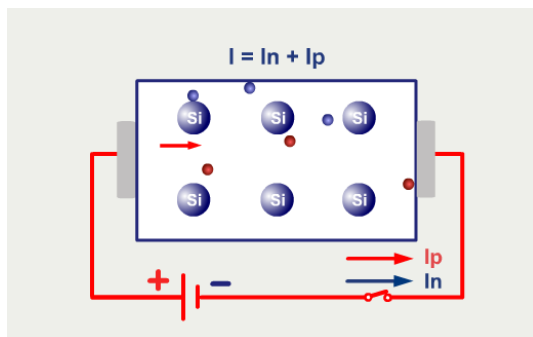
$$J = J_n + J_p$$



© 2010, Доц. д-р. инж. Т.Василева

6

Посока на тока



Посоката на движение на дупките е противоположна на тази на електроните.

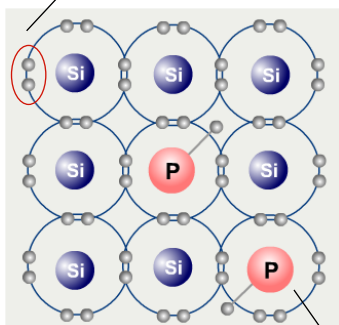
Посоката на тока е приета да съвпада с посоката на движение на положителните заряди.

© 2010, Доц. д-р. инж. Т.Василева

7

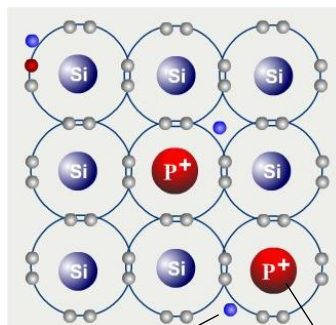
Примесен полупроводник – n-тип

Ковалентна връзка



Донорни атоми – V валентност
Неутрален фосфорен атом

Основни носители $n \gg p$ Несновни носители



Положителен йон
Свободен електрон

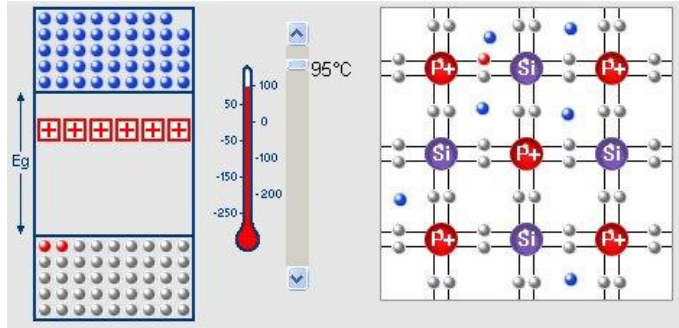
© 2010, Доц. д-р. инж. Т.Василева

8

Токоносители в n-полупроводник

Основни токоносители се формират при йонизация на примесите.

$$n_{no} = N_D$$



Несовни токоносители се формират при разкъсване на ковалентни връзки.

© 2010, Доц. д-р. инж. Т.Василева

9

Концентрация на токоносители

$T = \text{const}$ Термодинамично равновесие

$$n_{no} \cdot p_{no} = n_i^2$$

Закон за действие на масите

Тип токо-носител

Тип полу-проводник

Собствена концентрация

$$n_{no} = N_D$$

$$n_{no} = \text{const} (T)$$

$$p_{no} = \frac{n_i^2}{n_{no}}$$

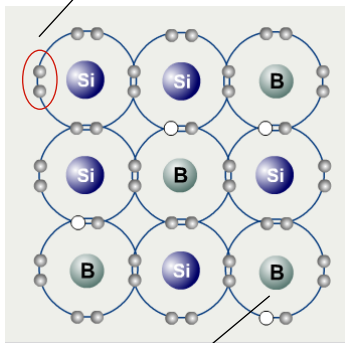
$$p_{no} = f(T)$$

© 2010, Доц. д-р. инж. Т.Василева

10

p-тип полупроводник

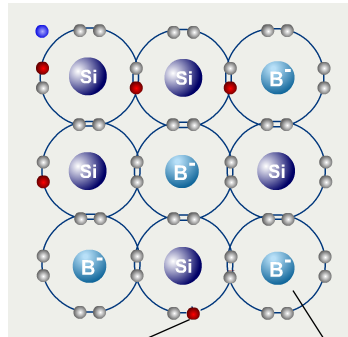
Ковалентна връзка



Неутрален атом на бор (B)

Акцепторен атом – III валентни електрона

Основни токоносители $p \gg n$ Неосновни токоносители



Дупка Отрицателно зареден йон

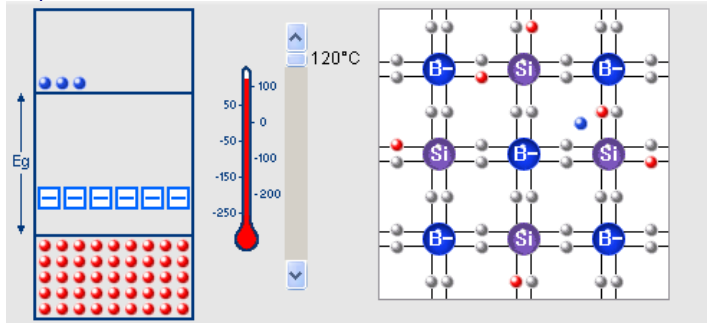
© 2010, Доц. д-р. инж. Т.Василева

11

Токоносители в p-полупроводник

Основните токоносители се формират при йонизация на акцепторните атоми. При това се създава дупка, без да се образува електрон.

$$p_{po} = N_A$$



Неосновните токоносители се формират при разкъсване на ковалентни връзки.

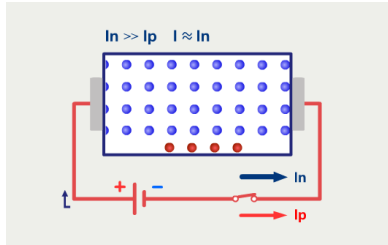
Когато неутрален атом на бор придобие допълнителен електрон, той става отрицателно зареден йон.

© 2010, Доц. д-р. инж. Т.Василева

12

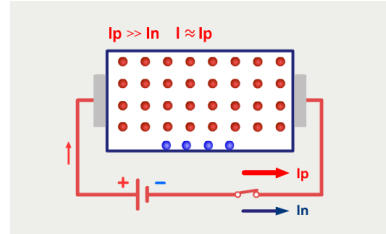
Токове в примесни полупроводници

В полупроводника има два типа токоносители – електрони и дупки. Тогава общият ток в полупроводника има електронна и дупчеста съставки.



В n -тип полупроводници, електроните са основни токоносители.

В n -тип полупроводници електронният ток I_n значително превишава дупчестия.

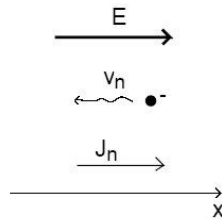


В p -тип полупроводници, дупките са основни токоносители.

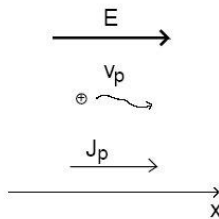
В p -тип полупроводници дупчестият ток I_p значително превишава електронния I_n .

Дрейфово движение. Дрейфов ток

$$J_{nE} = -qnv_{En} = qn\mu_n E$$



$$J_{pE} = -qpv_{Ep} = qn\mu_p E$$



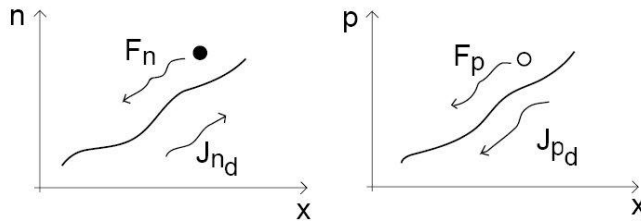
$$J = (q\mu_n n + q\mu_p p)E = \sigma E = \frac{E}{\rho}$$

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = q\mu_n n + q\mu_p p$$

Специфична електропроводимост

Дифузно движение. Дифузен ток

$$F_n = -D_n \frac{dn}{dx} \quad J_{nD} = qD_n \frac{dn}{dx} \quad F_p = -D_p \frac{dp}{dx} \quad J_{pD} = -qD_p \frac{dp}{dx}$$



D_n, D_p – коефициенти на дифузия

Уравнение на Айнщайн

- Връзката между двете основни константи при движение на токоносителите се дава с уравнението на Айнщайн

$$D = \varphi_T \mu$$

$$D_n = \varphi_T \mu_n \quad \text{за } n\text{-полупроводник}$$

$$D_p = \varphi_T \mu_p \quad \text{за } p\text{-полупроводник}$$

$$\varphi_T = \frac{kT}{q} \approx \frac{T}{11600}$$

Температурен потенциал

k - константа на Болцман, T – температура (K), q - заряд на електрона

За стайна температура (300 K) $\varphi_T = 0.0258 \text{ V} \approx 25 \text{ mV}$

Общ ток в полупроводника

Токоносителите могат да се движат чрез дрейф и дифузия и да формират съответно дрейфова и дифузионни съставки на тока.

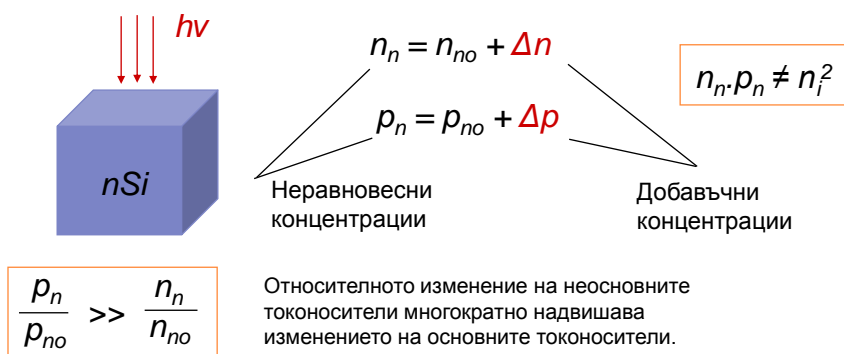
$$J_n = J_{nE} + J_{nD} = q\mu_n nE + qD_n \frac{dn}{dx}$$

$$J_p = J_{pE} + J_{pD} = q\mu_p pE - pD_p \frac{dp}{dx}$$

Общият ток е сума от тези съставки

$$J = J_n + J_p = J_{nE} + J_{nD} + J_{pE} + J_{pD}$$

Време на живот



След прекратяване на облъчването **времето на живот на неосновните токоносителите** характеризира скоростта на намаляване на токоносителите поради рекомбинацията.