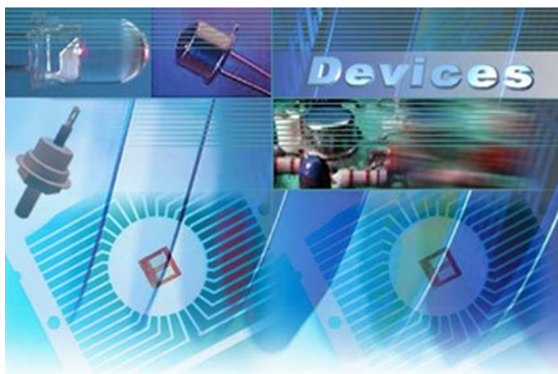




Свойства на полупроводниците



Полупроводникови елементи



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 1 от ...

Въведение

Полупроводниците (ПП) са група химически елементи със специфични електрически характеристики. Те не са нито проводници, нито изолатори.

Те са в основата на полупроводниковите елементи. Поради предимствата на твърдо тялото и способността им да усилват електрически сигнали, полупроводниковите елементи напълно промениха не само електронната промишленост, но и начина ни на живот.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 2 от ...

Защо ПП са важни?

Въпреки, че обикновено нямаме пряк контакт с тях, е трудно да си представим ежедневието без полупроводници. Те са в самото сърце на съвременните високи технологии. Без използването им няма да има нито модерни домакински уреди, нито качествени индустриални машини.

Полупроводниковите елементи могат да контролират:

- ✦ двигателя на автомобил, за да подобрят ефективността му;
- ✦ безопасността на жп трафика;
- ✦ параметри, свързани с околната среда, с жизнените показатели в болници и много др.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 3 от ...

Цели и предпоставки

За да се разберат процесите, протичащи в полупроводниковите елементи са необходими познания за свойствата на полупроводниците и факторите, които обуславят и променят електрическата им проводимост.

Познавате

Разбирате

Анализирате

След изучаване на материала вие би трябвало да:

- ✦ Електрофизическите свойства на основните полупроводникови материали – Ge, Si, GaAs
- ✦ Атомната структура на тези материали
- ✦ Как се създават токоносителите в чисти и примесни полупроводници
- ✦ Кои фактори влияят на концентрацията им
- ✦ Как полупроводниците провеждат електрически ток
- ✦ Концентрацията на основните и неосновни токоносители в примесни полупроводници.

Предпоставки: електрически заряд, ток, напрежение



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042

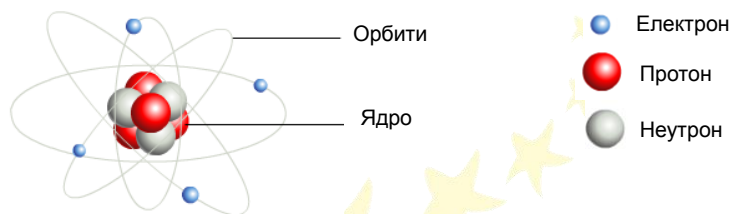
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 4 от ...

Структура на атома



Причина за специфичните свойства на полупроводниците е уникалната структура на атома им. Атомът на всеки материал се състои от ядро и електрони, които обикалят в орбити около него. Ядрото е съставено от положително заредени частици (протони) и неутрални частици (неутрони).

Електроните имат отрицателен заряд. Техният брой е равен на броя на протоните в ядрото, така че атомът като цяло е **електроненутрален**.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

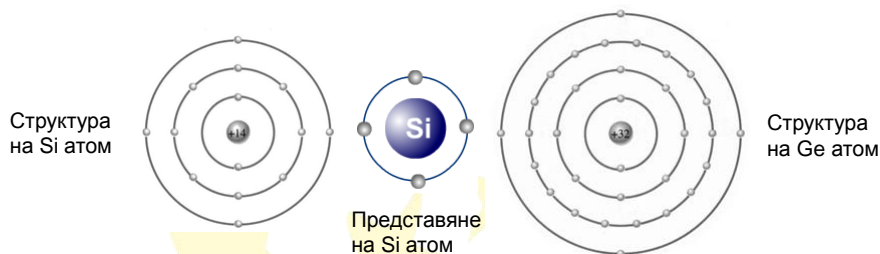
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 5 от ...

Структура на Si и Ge атом



Електроните от най-външната орбита са относително слабо свързани с атома. Те се наричат **валентни електрони** и определят електрическите свойства на материалите.

Силицият (Si) и германият (Ge) са широко използвани полупроводникови материала. И двата полупроводника имат по **четири валентни електрона**.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

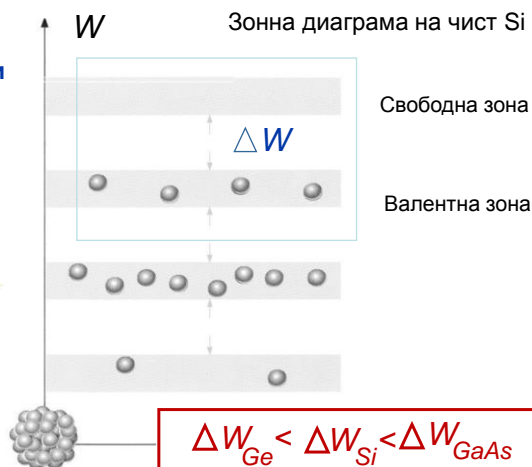
стр. 6 от ...

Енергийни нива

В кристала електроните се разполагат в зони с **разрешени** нива на енергии, които се разделят със **забранени** зони, където няма електрони.

Последните две разрешени зони се наричат **валентната зона** и **свободна зона** (зона на проводимост).

Тези зони, както и **широчината на забранената зона** между тях ΔW , са определящи за проводимостта на ПП.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

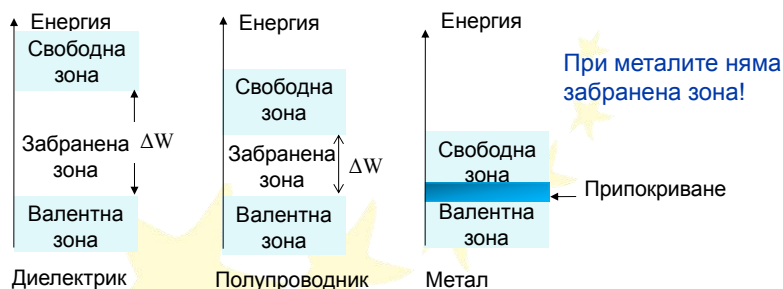
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 7 от ...

Зонни диаграми



Токът през материала директно зависи от броя на свободните токоносителни. Свободната и валентната зони при металите се припокриват и в тях винаги има множество свободни електрони и без прилагане на външна енергия.

Полупроводниците имат забранена зона и не провеждат електрически ток без да се приложи достатъчно енергия за преодоляването ѝ.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

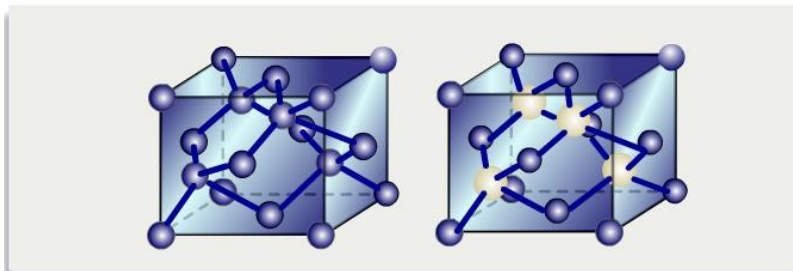
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 8 от ...

Видове полупроводници



Съществуват два вида на полупроводници:

Собствени (чисти) – в кристалната решетка не се съдържат примеси

Примесни – в кристала са въведени примесни атоми.

Концентрацията на въведените примесни атоми влияе значително върху електрическото поведение на полупроводниците.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

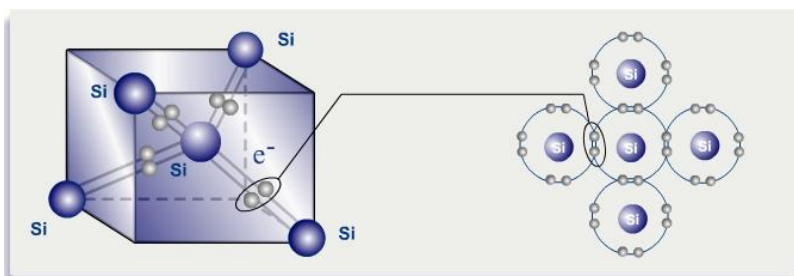
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 9 от ...

Чист силициев кристал



Чист полупроводник без внесени примеси се нарича **собствен полупроводник**.

Всеки един от четирите валентни електрона на Si атом формира **ковалентна връзка** с валентен електрон от съседни Si атоми. Така валентният електрон става общ за два съседни атома. Ковалентните връзки задържат атомите заедно в кристала.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

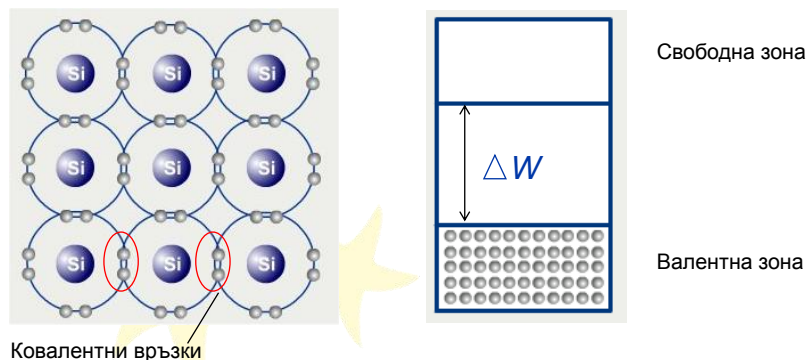
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 10 от ...

Собствен полупроводник



При 0 К (абсолютна нула) в собствен полупроводник всички ковалентни връзки са запълнени и няма свободни носители за заряд. Това съответства на напълно запълнена валентна зона и празна свободна зона. При тези условия няма подвижни носители на заряд и полупроводникът е изолатор.



Европейски съюз

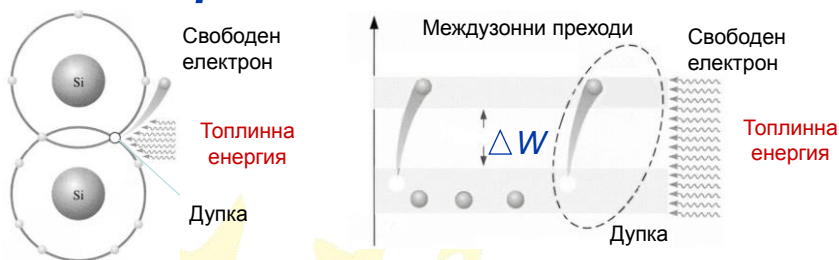
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 11 от ...

Формиране на токоносители



За да се формират свободни носители на заряд е необходима енергия, която се набавя от околната температура. При достатъчна енергия се **разкъсват ковалентни връзки**. Електронът се откъсва от атома и става **свободен**, оставяйки празно място – **дупка** с еквивалентен положителен заряд.

Процесът е еквивалентен на **междузонни преходи** на валентни електрони. Когато електрон премине от валентната в свободната зона, във валентната зона остава празно място – дупка.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

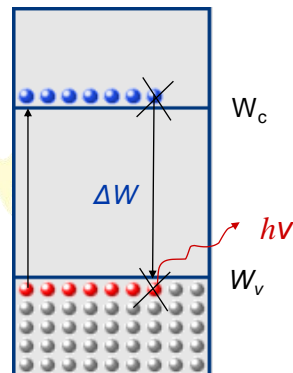
стр. 12 от ...

Генерация и рекомбинация

Процесът на формиране на **двойка** свободни носители на заряд – електрон и дупка, под действие на допълнителна енергия, се нарича **генерация**.

$$n_i = p_i$$

Концентрациите на генерираните двойки токоносителите са **равни**.



Процесът, при който електрон от свободната зона губи енергия и се връща обратно във валентната зона, се нарича **рекомбинация**. При това „изчезват“ свободните носители електрон и дупка и се отделя енергия.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 13 от ...

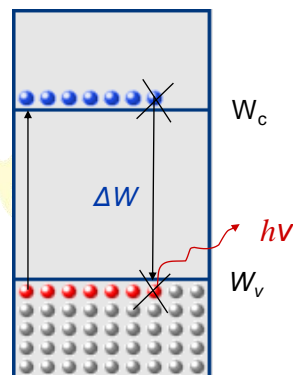
Термодинамично равновесие

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

$$n_i \cdot p_i = n_i^2$$

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

$$n_{i_{Ge}} > n_{i_{Si}} > n_{i_{GaAs}}$$



Собствената концентрация на токоносителите зависи само от температурата и от широчината на забранената зона.



Европейски съюз

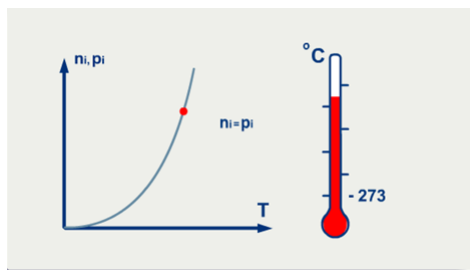
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 14 от ...

Влияние на температурата



При 0К (-273 ° С) всички ковалентни връзки са заети, няма свободни носители на заряд и полупроводникът е изолатор.

С повишаване на температурата, броят на разкъсаните ковалентни връзки расте **експоненциално**, което довежда до рязко нарастване на проводимостта.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

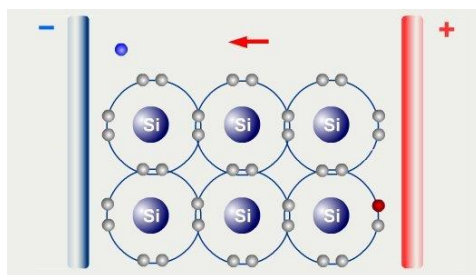
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 15 от ...

Ток в собствен полупроводник



Дрейфово движение

$$v_E = \mu E$$

$$\mu_n > \mu_p$$

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

$$\sim 10\,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$$

$$\sim 1\,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$$

Електроните и дупките са **подвижни частици**. Те могат да се преместват между възлите на кристалната решетка под въздействие на електрическо поле, т.е. да участват в протичането на ток. Затова се наричат **токоносители**.

Движението на токоносителите под действие на полето се нарича **дрейфово**, а средната скорост, с която се преместват – дрейфова скорост v_E . Параметърът μ , свързващ дрейфовата скорост с интензитета на електрическото поле, се нарича **подвижността на токоносителите**.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

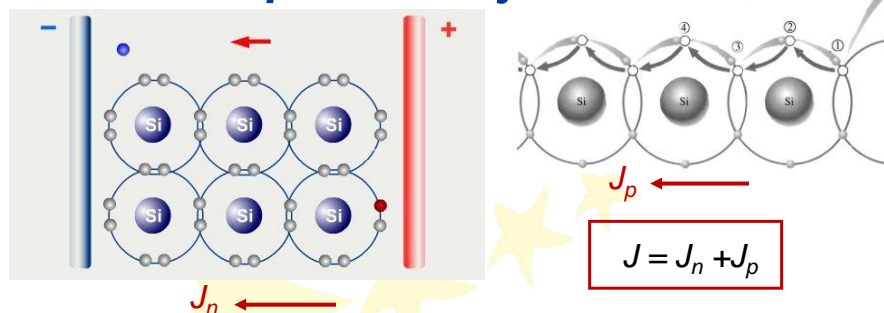
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 16 от ...

Електронен и дупчест ток



Насоченото движение на електроните под действие на електрическото поле създава **електронната съставка на тока** J_n в полупроводника.

Електроните от валентната зона са свързани с ядрото на атома и не могат да се движат свободно в кристала. Обаче, те могат да заемат мястото на съседна дупка, оставяйки дупка там, откъдето са тръгнали. По този начин дупките се придвижват в кристала, създавайки **дупчестата компонента на тока** J_p .



Европейски съюз

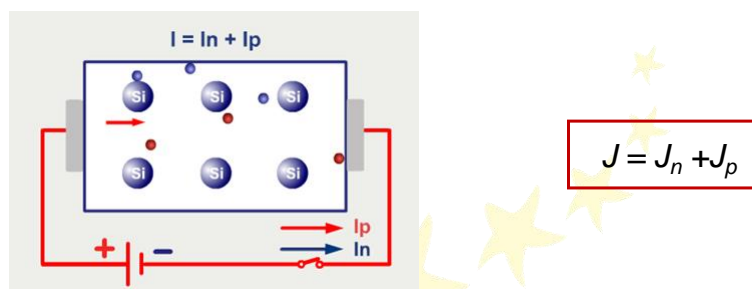
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 17 от ...

Посока на тока



Техническата посока на тока е приета да съвпада с посоката на движение на положителните заряди. Посоката на дупчестия ток J_p съвпада с движението на положителните токоносители и с приетата техническа посока на тока.

Посоката на електронният ток е противоположна на физическото движение на електроните в кристала.



Европейски съюз

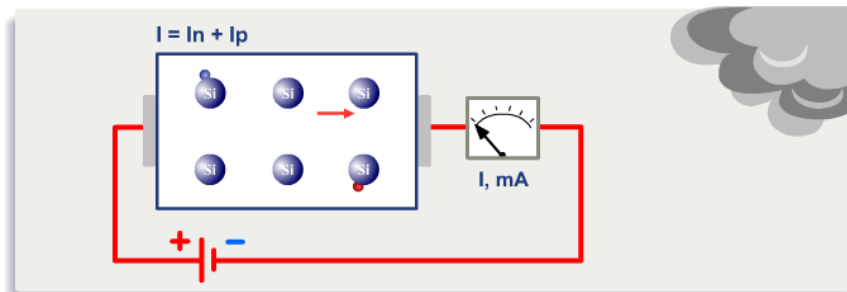
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 18 от ...

Недостатъци



В собствен полупроводник при стайна температура има незначителен брой свободни токоносители. Техният брой, и респективно големината на тока, силно зависят от изменение на температурата. Поради тези причини чистите полупроводници не се използват за направа на полупроводникови елементи.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

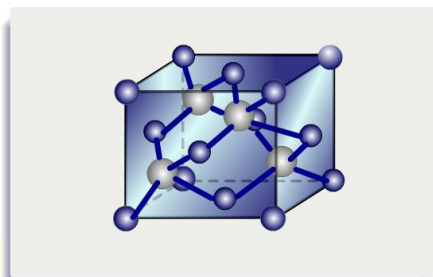


Европейски социален фонд

стр. 19 от ...

Примесни полупроводници

Полупроводник, електрическите характеристики на който се определят от наличието на примеси, се нарича **примесен**.



Примеси от **5-та валентност** - арсен (As), фосфор (P), антимон (Sb) се наричат **донори**, защото отдават един от валентните си електрони си към полупроводниковия кристал.

Примеси от **трета валентност** - бор (B), алуминий (Al), галий (Ga) се наричат **акцептори**, защото приемат един електрон от съседен атом и така оставят дупка (празно място) в полупроводниковия кристал.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 20 от ...

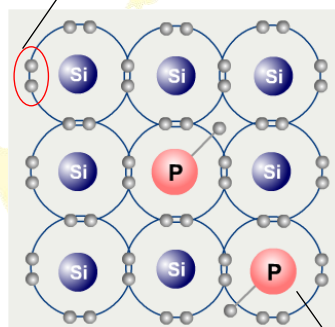
Примесен полупроводник – n-тип

Четири от валентните електрони на донорния атом (P) образуват ковалентни връзки със съседни силициеви атоми.

Петият електрон остава слабо свързан с ядрото и при незначително количество енергия може лесно се отдели от атома и става **свободен електрон**.

Електроните са доминиращ тип токоносители и се наричат **основни токоносители**, а полупроводникът – **N** тип полупроводник.

Ковалентна връзка



Донорни атоми – V валентност
Неутрален фосфорен атом



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

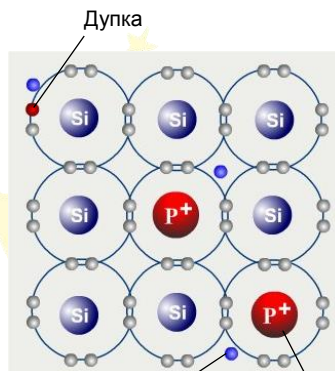
стр. 21 от ...

Формиране на токоносители

Когато неутрален фосфорен атом отдаде електрон, той става положително зареден йон. Той е свързани в кристалната решетка и не участва при формиране на тока.

Йонизацията на донорите довежда до образуване само на **един тип подвижни токоносители** – **свободни електрони**.

Основни носители $n \gg p$ Несновни носители



Положителен йон
Свободен електрон



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

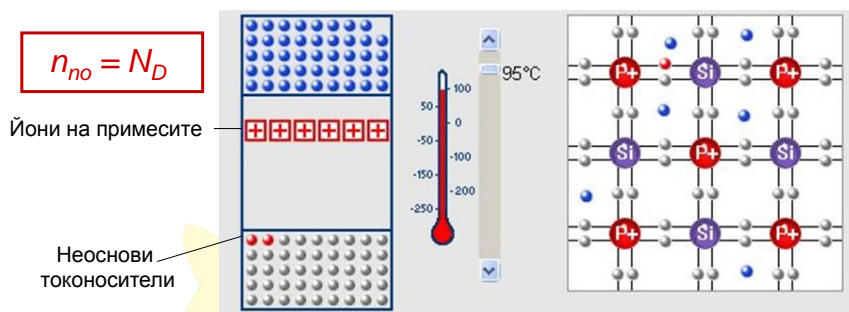
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 22 от ...

Токоносители в n-полупроводник



Основни токоносители се формират при йонизация на примесите. Тяхната концентрация е строго определена, защото количеството на въведените в кристала примеси може точно да се контролира при производството.

Неосновни токоносители се формират при разкъсване на ковалентни връзки.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 23 от ...

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

$n_{no} = N_D$ $n_{no} = \text{const}(T)$ Концентрацията на **основните токоносители не зависи от температурата** в нормалния температурен диапазон на експлоатация на ПП елементи.

$p_{no} = \frac{n_i^2}{n_{no}}$ $p_{no} = f(T)$ Концентрацията на **неосновните токоносители много силно зависи от температурата.**



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“

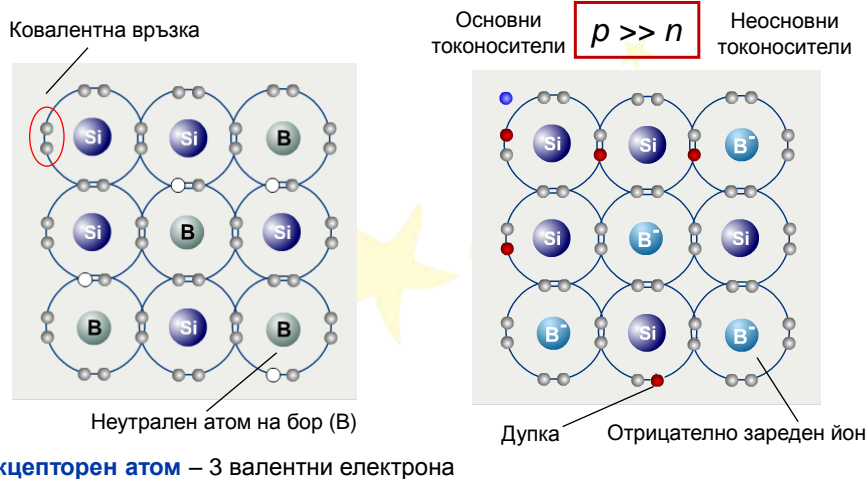
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 24 от ...

p-тип полупроводник



Европейски съюз

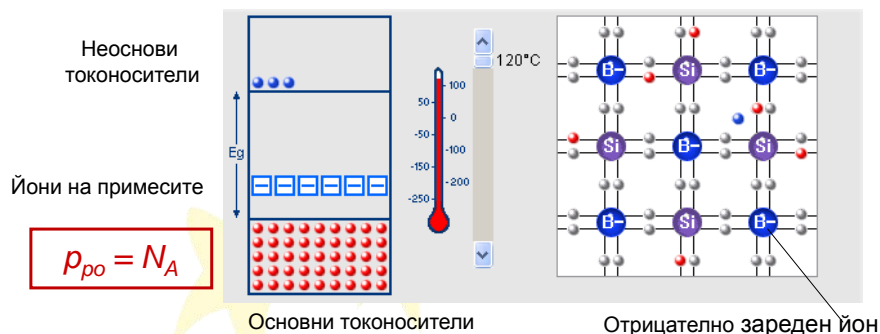
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 25 от ...

*Т*оконосители в *p*-полупроводник



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

Неосновни токоносители се формират при разкъсване на ковалентни връзки.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

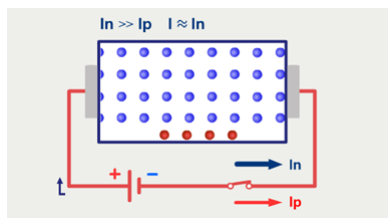


Европейски социален фонд

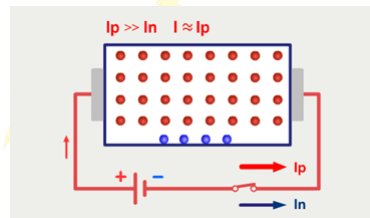
стр. 26 от ...

Токове в примесни полупроводници

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



В *n*-тип полупроводници, електроните са основни токоносители и електронната съставка на тока значително превишава дупчестата.



В *p*-тип полупроводници, дупките са основни токоносители и дупчестата съставка на тока значително превишава електронната.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



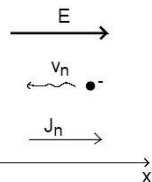
Европейски социален фонд

стр. 27 от ...

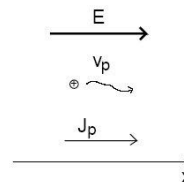
Дрейфово движение. Дрейфов ток

Електропроводимостта се обуславя от движението на свободни токоносители под действие на електрическо поле. Плътността на тока J се определя от заряда, пренесен от токоносителите за единица време през единица сечение.

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



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



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

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

Специфична електропроводимост



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

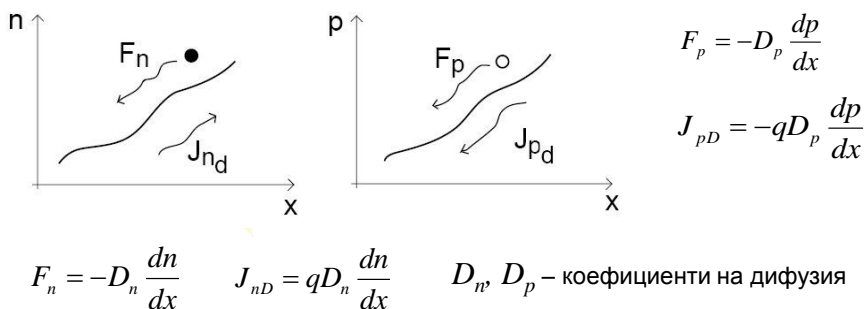


Европейски социален фонд

стр. 28 от ...

Дифузно движение. Дифузен ток

Токоносителите се придвижват в кристала под действие на възникнал в обема градиент (dn/dx) на концентрацията. Потокът на токоносителите F при дифузионното им движение се определя от броя на токоносителите, които преминават за единица време през единица сечение [$\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$].



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 29 от ...

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) $\varphi_T = 0.0258 \text{ V} \approx 25 \text{ mV}$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 30 от ...

Общ ток в полупроводника

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

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

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

Общият ток е сума от тези съставки

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



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

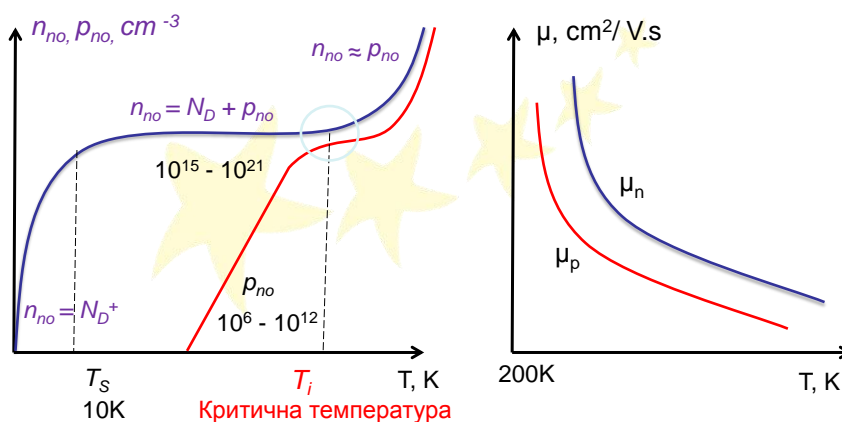


Европейски социален фонд

стр. 31 от ...

Влияние на температурата

Температурата влияе върху концентрациите на токоносителите и върху тяхната подвижност.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

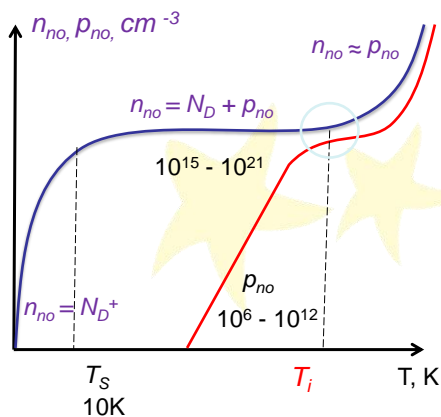


Европейски социален фонд

стр. 32 от ...

$T_i = f(?)$

T_i — критична температура (температура на собствена проводимост в примесен полупроводник)



⊕ Зависи ли T_i от вида на полупроводника? Как? Обяснете.

$$T_{iGe} > T_{iSi} > T_{iGaAs}$$

⊕ Зависи ли T_i от концентрацията на примесите? Как? Обяснете.



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



стр. 33 от ...

$\sigma(T) = ?$

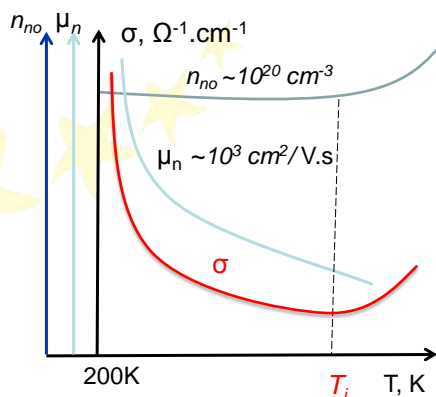
Главната съставка на проводимостта е свързана с основните токоносители, докато съставката, определена от неосновните е несъществена.

За n полупроводник

$$\sigma = \sigma_n = q \cdot \mu_n \cdot n_{no}$$

За p полупроводник

$$\sigma = \sigma_p = q \cdot \mu_p \cdot p_{po}$$



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



стр. 34 от ...

Неравновесни концентрации

При локално действие на друг вид енергия – облъчване, рентгенови и гама-лъчи, силно електрическо поле и др. поради генерацията на нови **добавъчни** токоносители, се създават **неравновесни концентрации** на електрони n_n и на дупки p_n , които превишават равновесните за дадена температура.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организациона и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

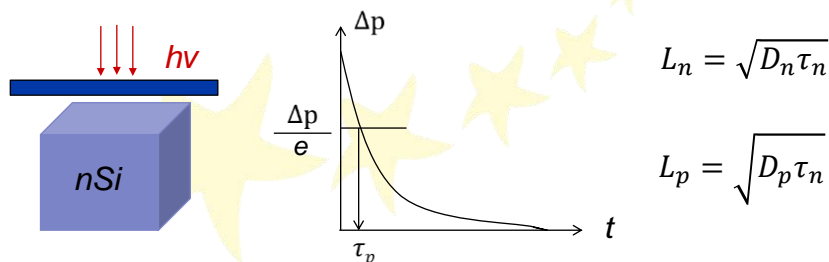


Европейски социален фонд

стр. 35 от ...

Време на живот

След прекратяване на облъчването се засилва рекомбинацията и добавъчната концентрация намалява. **Времето на живот** на неосновните токоносители (τ_p за N полупроводник или τ_n – за P полупроводник) характеризира скоростта на намаляване на добавъчните токоносители поради рекомбинацията.



Дифузионната дължина L е средното разстояние, на което се преместват токоносителите за времето на живот, дифундирайки под действие на градиента на концентрацията.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организациона и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 36 от ...