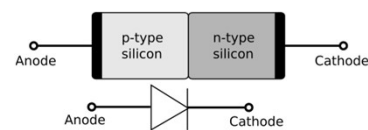
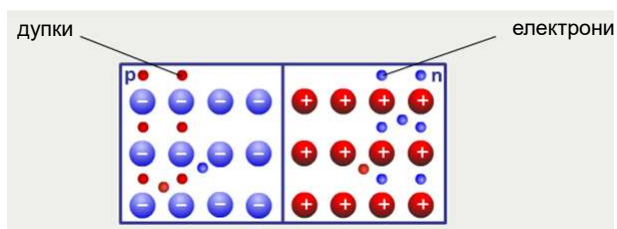




p-n Преход

1

Формиране на p-n преход

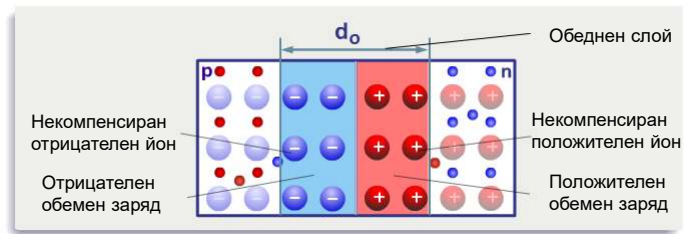


Основни токоносители – свободни електрони и дупки, дифундират през прехода поради разликата в концентрациите им от двете страни на прехода.

Обратно на свободните токоносители, **йоните никога не се движат**. Те остават фиксирани във възлите на кристалната решетка поради ковалентни връзки в полупроводниковата структура.

2

Обеднен слой

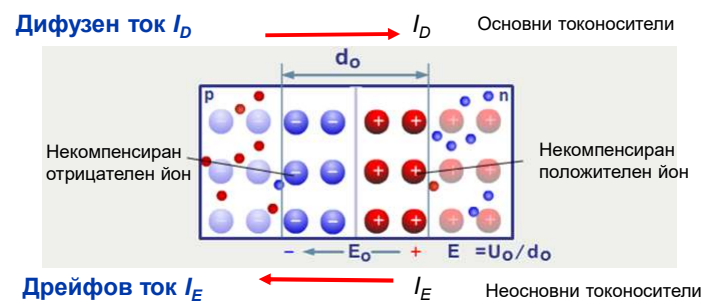


Когато електрон напусне n областта, той оставя след себе си некомпенсиран положителен йон. При това се създава **положителен обмен заряд** от дясно на прехода в n -областта.

Аналогично, при напускане на дупки, от лявата страна на прехода в p -областта ще се създаде **отрицателен обмен заряд**.

3

Барьерен потенциал и ел. поле

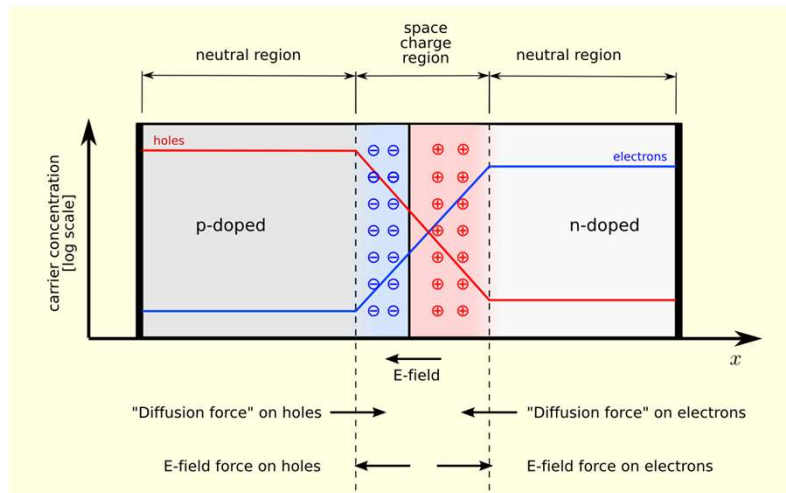


Некомпенсираните положително- и отрицателно-заредени йони в обеднения слой формират **електрическо поле E_o** и **барьерен потенциал U_o** .

При стайна температура (25 °C) барьерният потенциал за Si диоди е приблизително 0.7V.

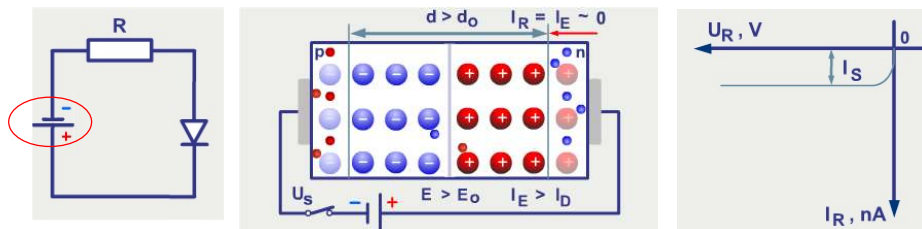
4

A p-n junction in thermal equilibrium with zero-bias voltage applied



5

Обратно включване



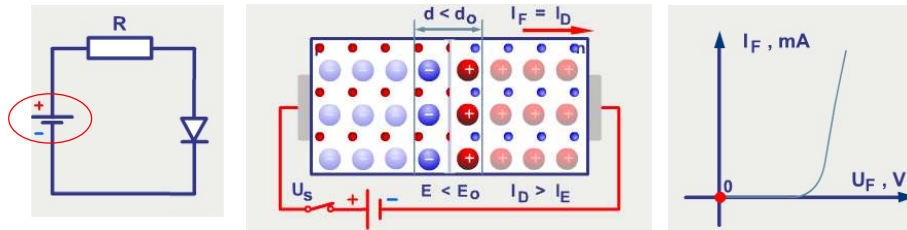
Потенциалната бариера се повишава до $U_o + U_s$ и електрическото поле $E > E_o$.

Дифузията на основни токоносителни през прехода сериозно се затруднява.

Много малък обратен ток I_R , съставен от топлинно генерирани **неосновни токоносителни** ще преминава през прехода, тъй като за тях полето на прехода е ускоряващо.

6

Право включване

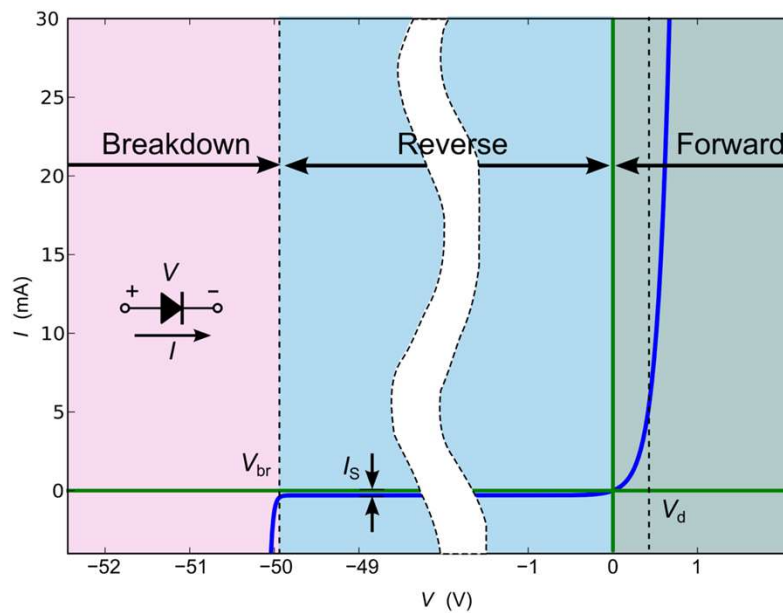


Бариерният потенциал ще се намали до $U_o - U_s$ и електрическото поле $E < E_o$.

Токът при право включване се формира от **основните токоносители**, които имат достатъчна енергия, за да преодолеят потенциалната бариера.

7

Волт-Амперна характеристика на диод с p-n преход



8

Уравнение на идеализиран диод (уравнение на Шокли)

$$I = I_s \left(e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

$$\varphi_T = \frac{kT}{q} \quad \varphi_T = 0.0258 \text{ V за } T = 25^\circ \text{C}$$

I – ток през диода

I_s – ток на насищане при обратно включване

U – напрежение върху диода

φ_T – топлинен потенциал

k – константа на Болцман

T – абсолютна температура

q – заряд на електрона

$$U = \varphi_T \ln \left(\frac{I}{I_s} + 1 \right)$$

9

Ток на насищане

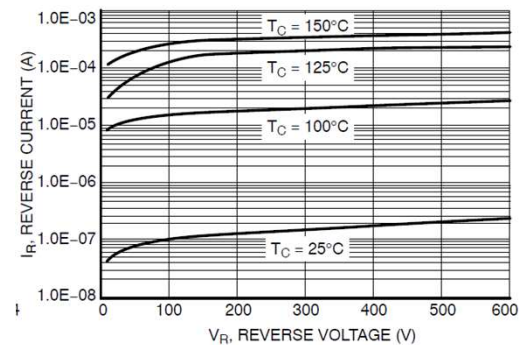
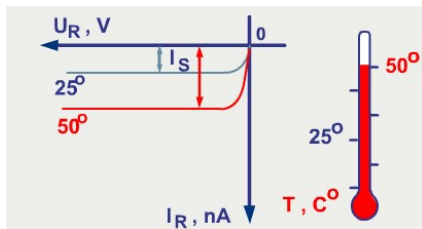


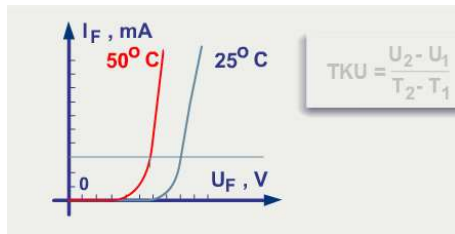
Figure 2. Typical Reverse Current

I_s се удвоява на всеки 10°C увеличение на температурата.

Тъй като обратният ток се формира от топлинно генерирани неосновни токоносители, той силно зависи от изменението на температурата.

10

Влияние на температурата – право включване



$$TKU_F = \frac{dU}{dT} \approx \frac{\Delta U}{\Delta T} \Big|_{I = \text{const}}$$

$$TKU_F \approx -2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

Ако $T \uparrow$ то $U \downarrow$ при $I = \text{const}$

Диодът има **отрицателен температурен коефициент** на напрежението U_F .
Това позволява диодите да се използват като датчици за температура, както и за температурна компенсация.

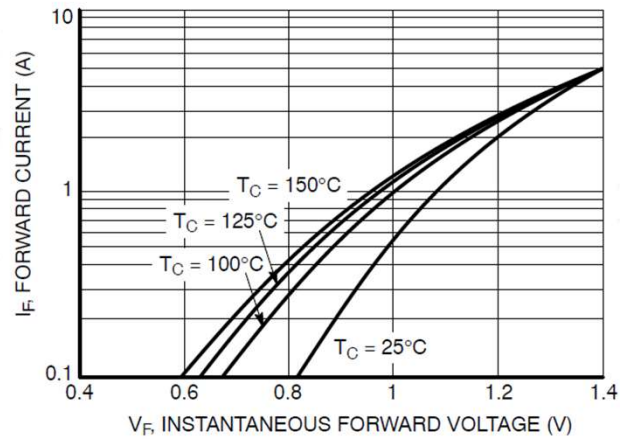
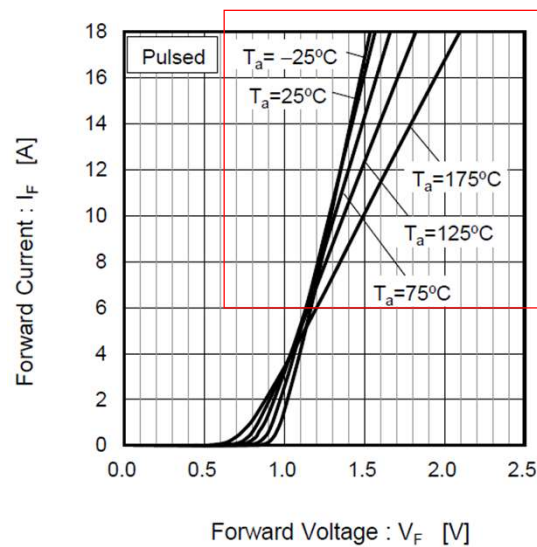


Figure 1. Typical Forward Voltage

11

Влияние на температурата – SiC диоди



Област на положителен температурен коефициент

SCS212AJHR

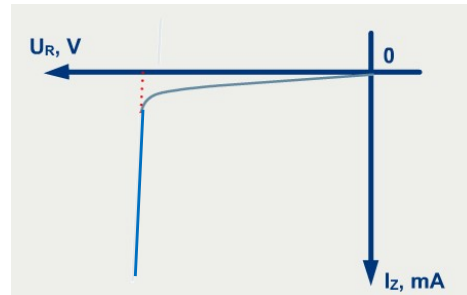
12

Пробив

Пробивът е явление, при което рязко нараства обратният ток при оставащо почти постоянно обратно напрежение U_{BR} .

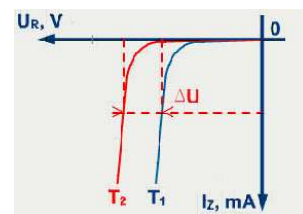
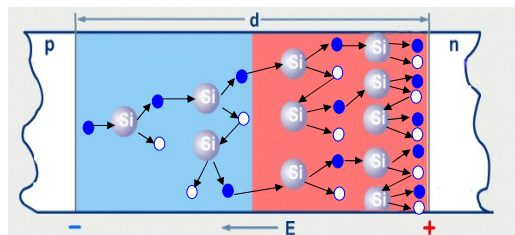
Според механизма на пробив се различават:

- Топлинен пробив
- Електрически пробив
 - Лавинен пробив
 - Ценеров пробив



13

Лавинен пробив



Влияние на температурата –
положителен температурен
коэффициент

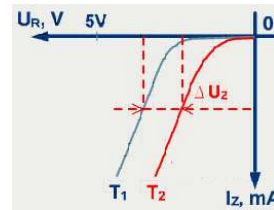
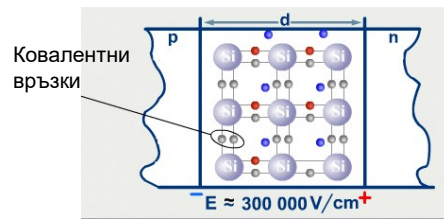
Ако $T \uparrow$ то $U \uparrow$ при $I = \text{const}$

Неосновните токоносители, ускорени от полето, при сблъсък с атомите ги йонизират и се създават електрон и дупка. Процесът продължава лавинообразно, причинявайки рязко нарастване на тока.

Лавинният пробив настъпва в широки *PN* преходи при обратни напрежения над **6.2V**.

14

Ценеров пробив



Влияние на температурата – отрицателен температурен коефициент

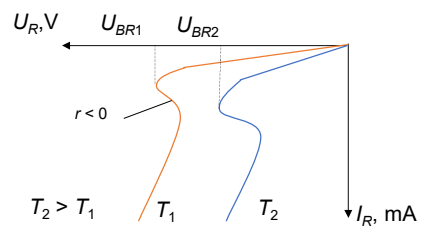
Ако $T \uparrow$ то $U \downarrow$ при $I = \text{const}$

При достатъчно голямо електрическо поле се разкъсват ковалентни връзки и се създават допълнителни електрони и дупки – Ценеров ефект. Изискват се стойности на полето от порядъка на $300\,000\text{ V/cm}$.

Ценеров пробив настъпва при много тесни PN преходи при обратни напрежения под 5V.

15

Топлинен пробив



Топлинният е **необратим** и довежда до разрушаване на диода.

С увеличаване на околната температура пробивът настъпва при по-ниско напрежение, защото нараства обратният ток и се влошават условията за охлаждане

16