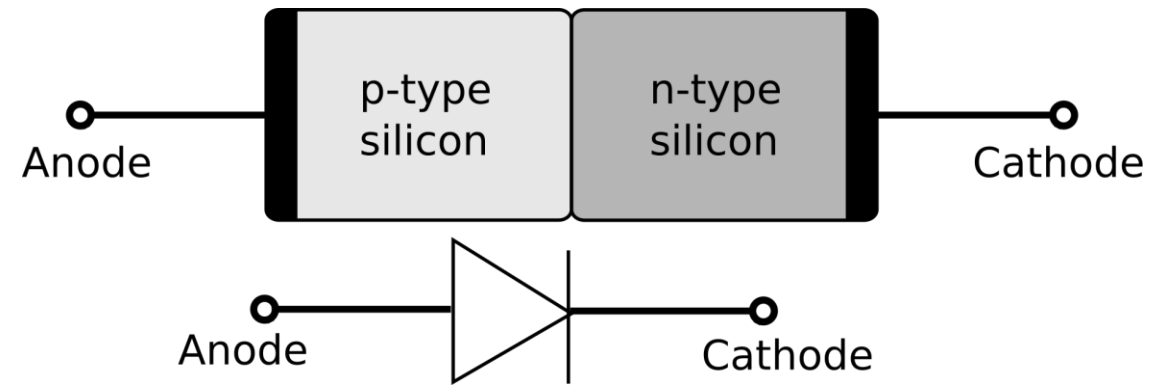
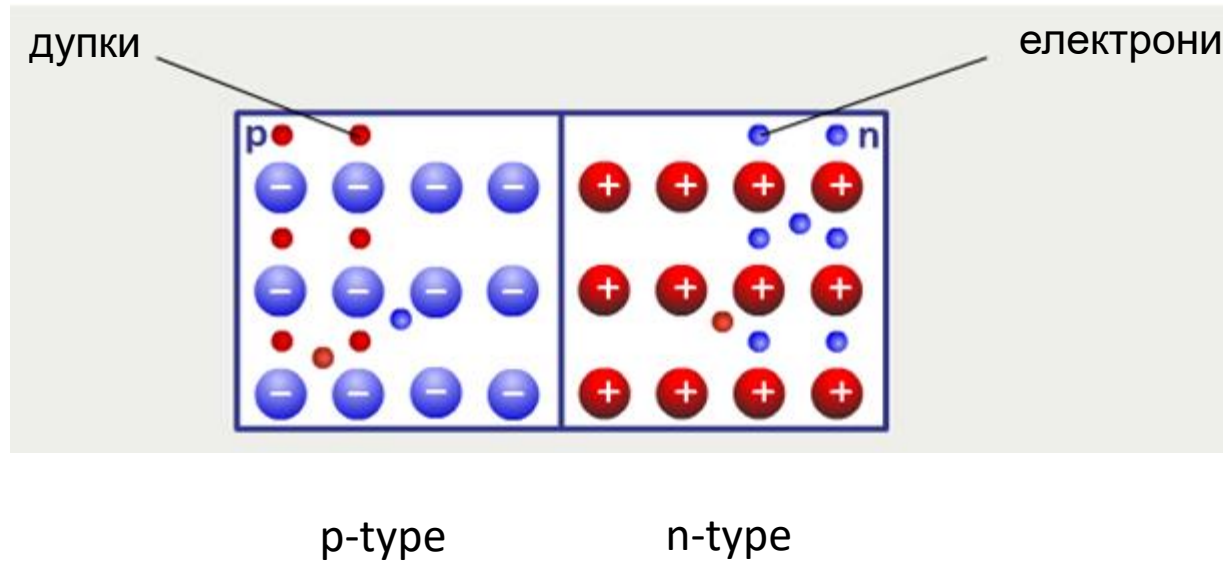




p-n Преход

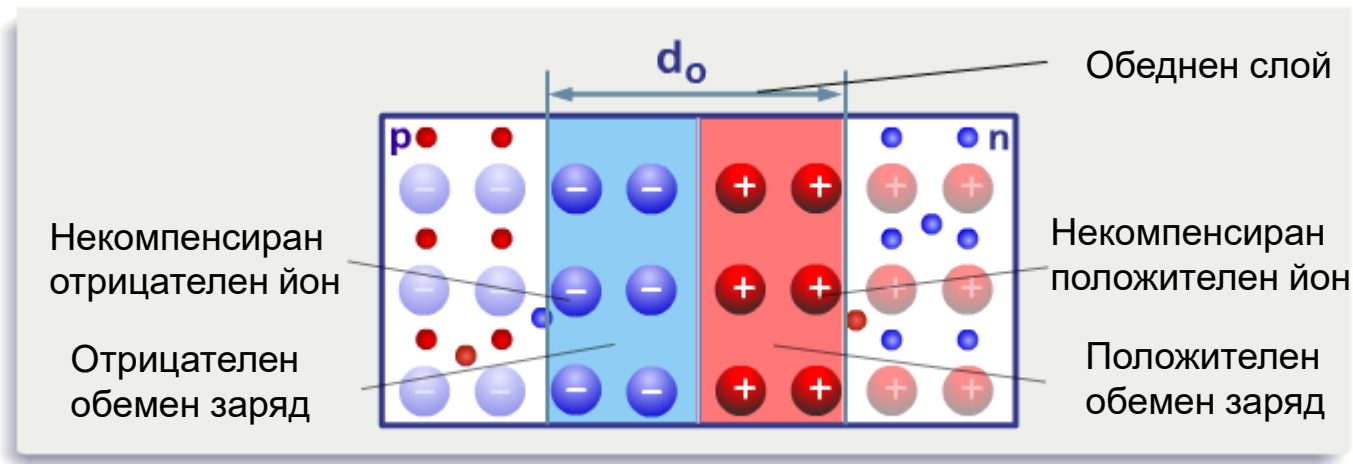
Формиране на p-n преход



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.

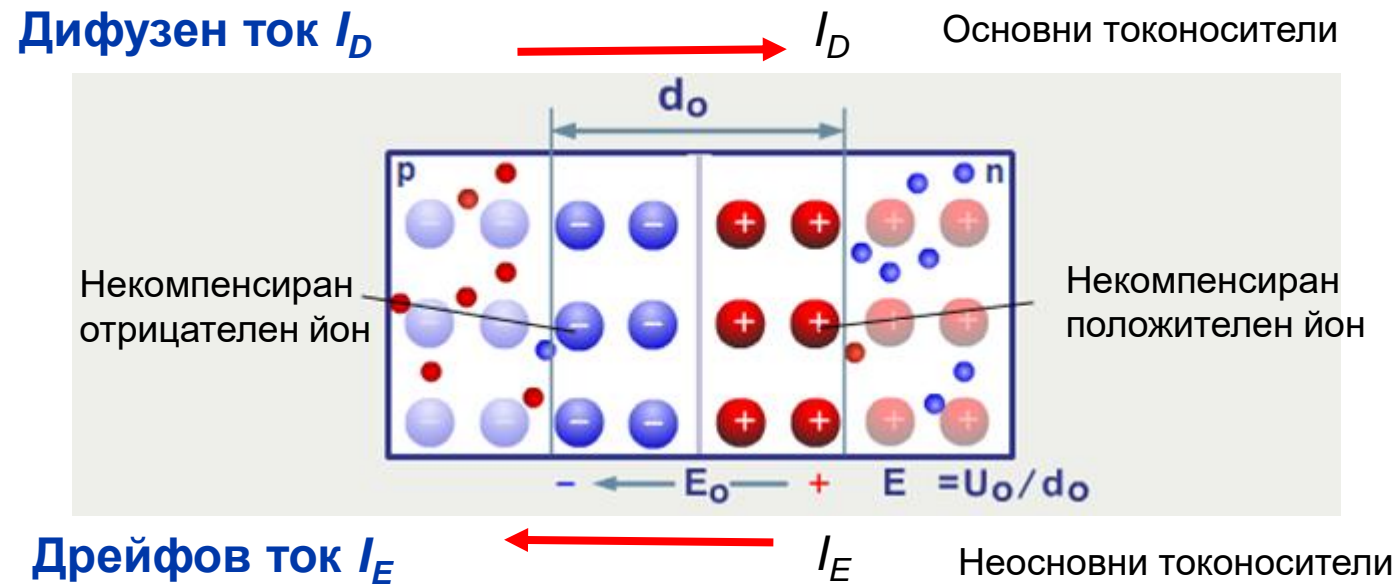
Обеднен слой



Когато електрон напусне n областта, той оставя след себе си некомпенсиран положителен йон. При това се създава **положителен обемни 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 обемни заряд**.

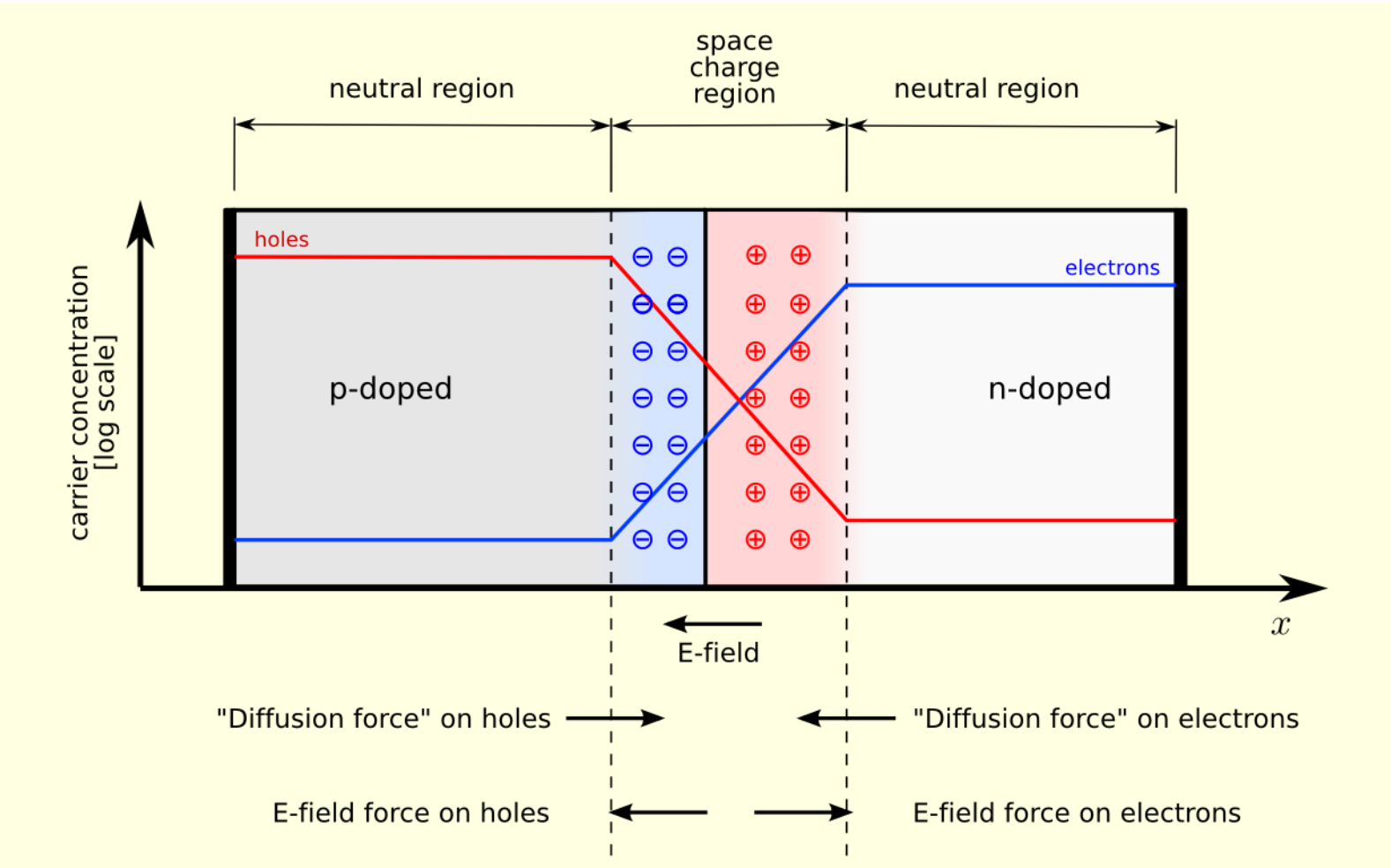
Барьерен потенциал и електрическо поле



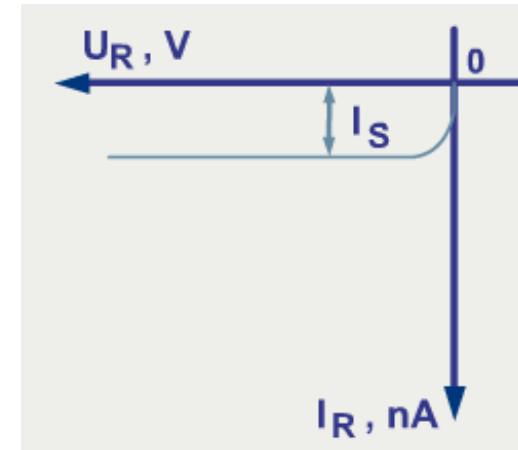
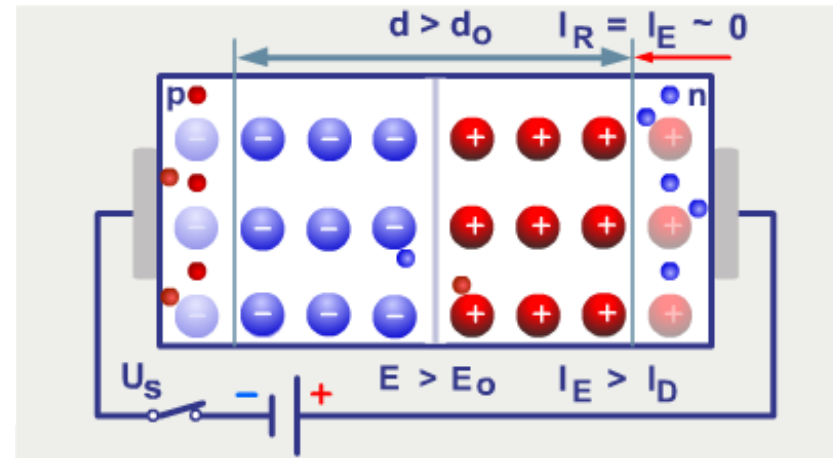
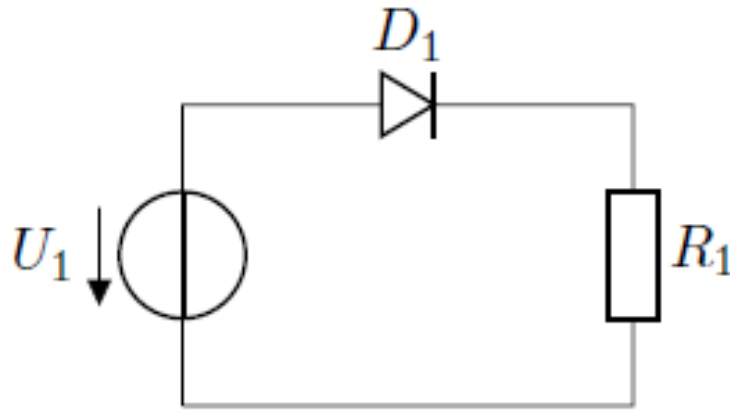
Некомпенсираните положително- и отрицателно-заредени йони в обеднения слой формират **електрическо поле E_0** и **барьерен потенциал U_0** .

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

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



Обратно включване

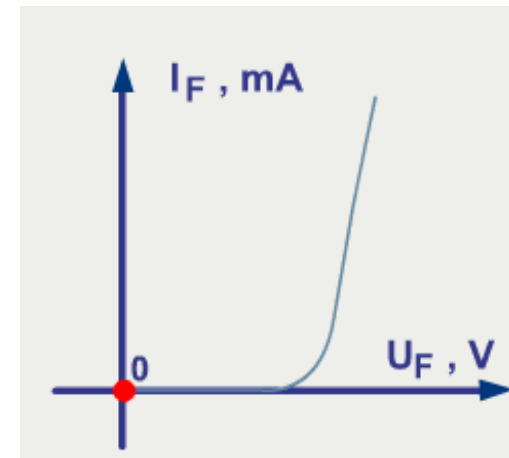
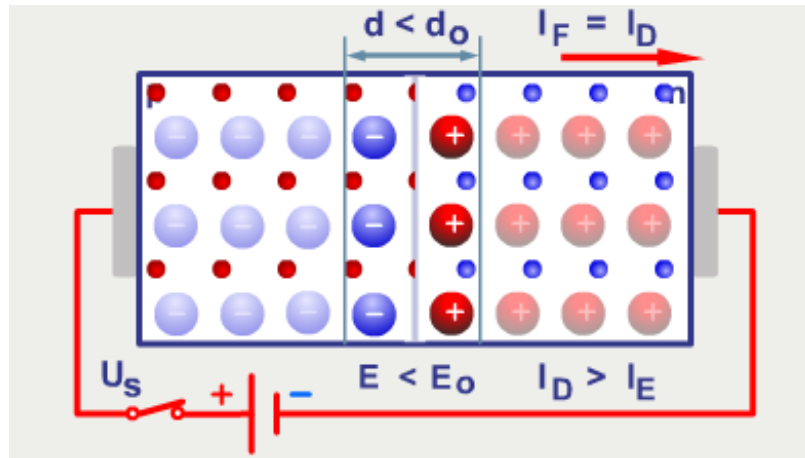
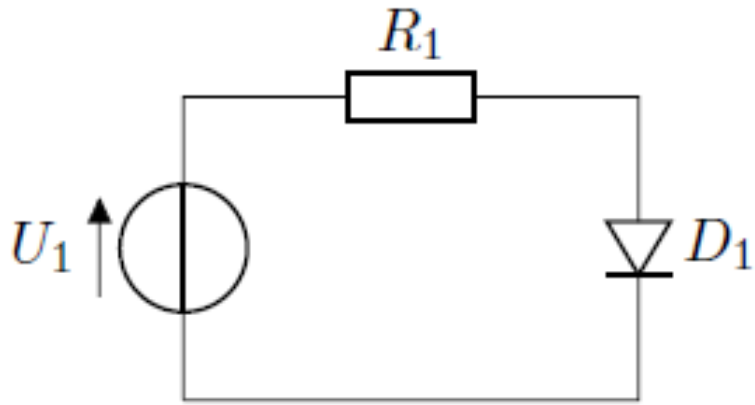


Потенциалната бариера се повишава до $U_0 + U_s$ и електрическото поле $E > E_0$.

Дифузията на основни токоносители през прехода сериозно се затруднява.

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

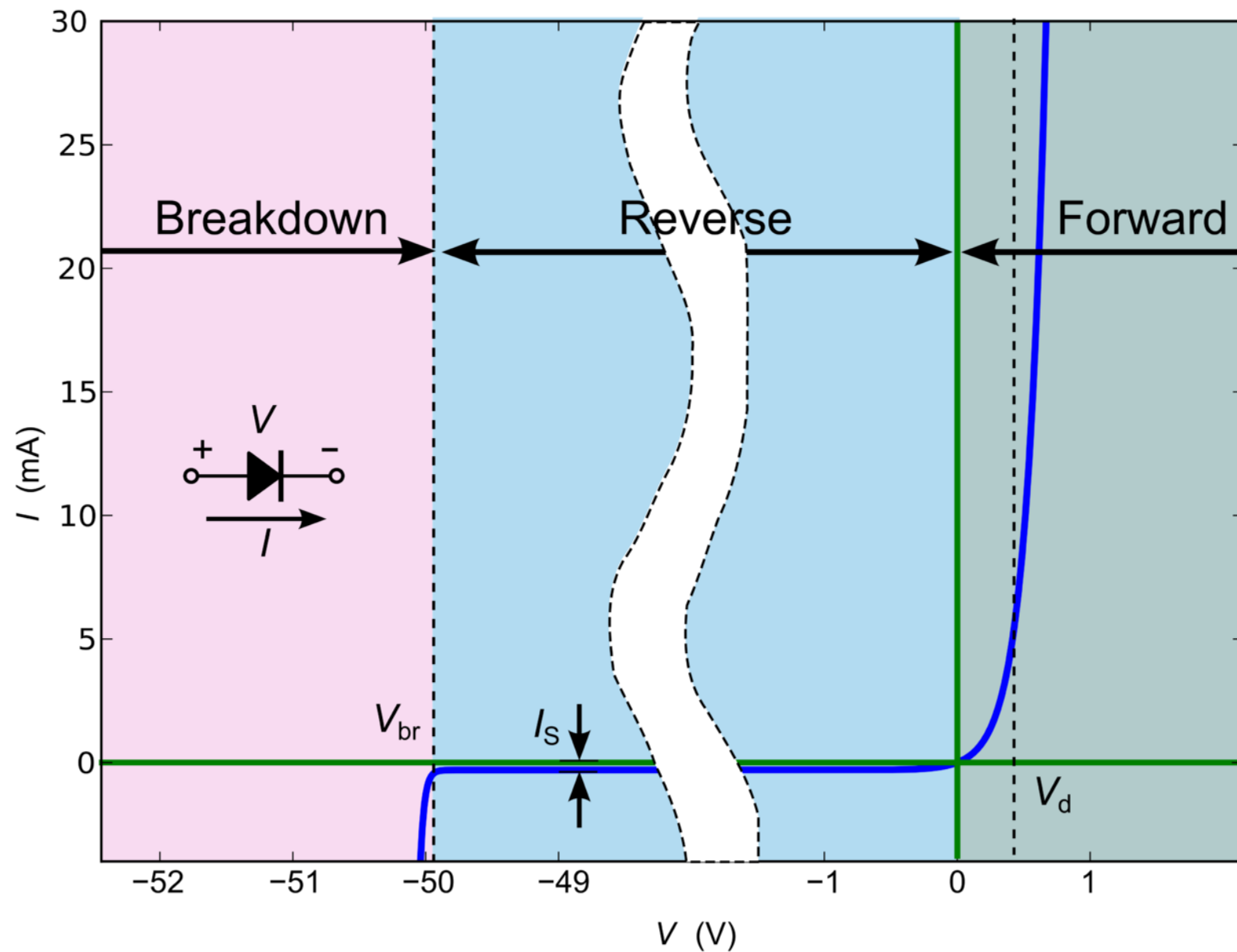
Право включване



Бариерният потенциал ще се намали до $U_0 - U_s$ и електрическото поле $E < E_0$.

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

Волт-Амперна характеристика на диод с р-п преход



Уравнение на идеализиран диод (уравнение на Шокли)

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

I – ток през диода

I_s – ток на насищане при обратно включване

U – напрежение върху диода

φ_T – топлинен потенциал

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

k – константа на Болцман

T – абсолютна температура

q – заряд на електрона

John Bardeen(l), William Shockley and
Walter Brattain(r) at Bell Labs, 1948

1956 Nobel Prize in Physics



Ток на насищане

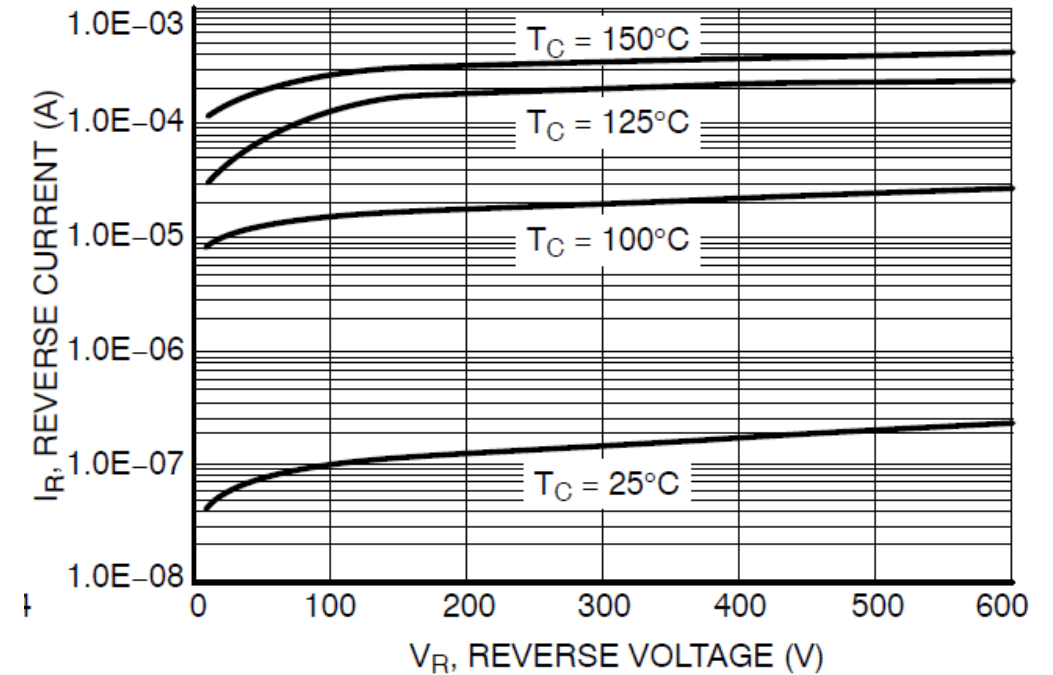
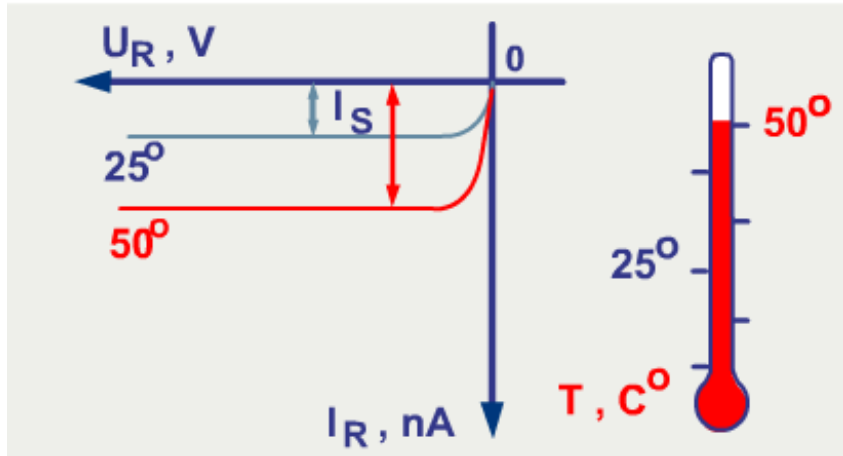
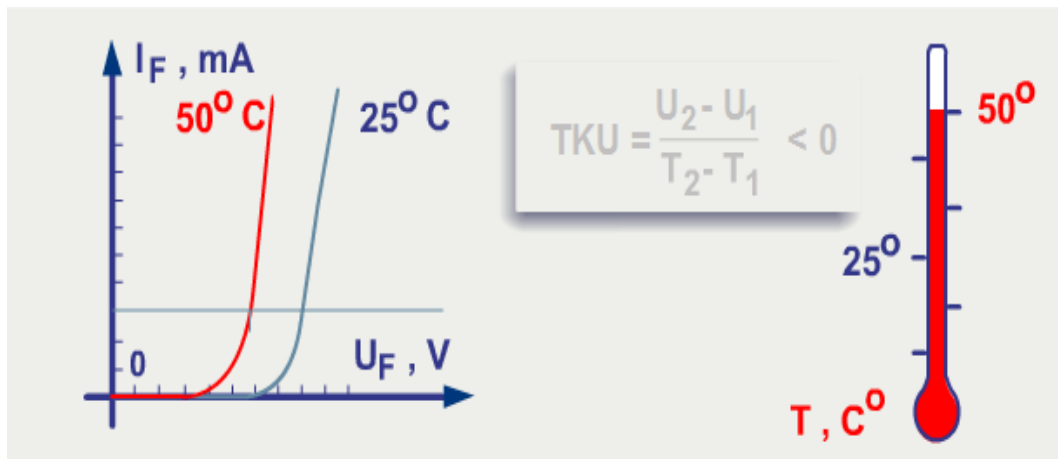


Figure 2. Typical Reverse Current

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.

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.

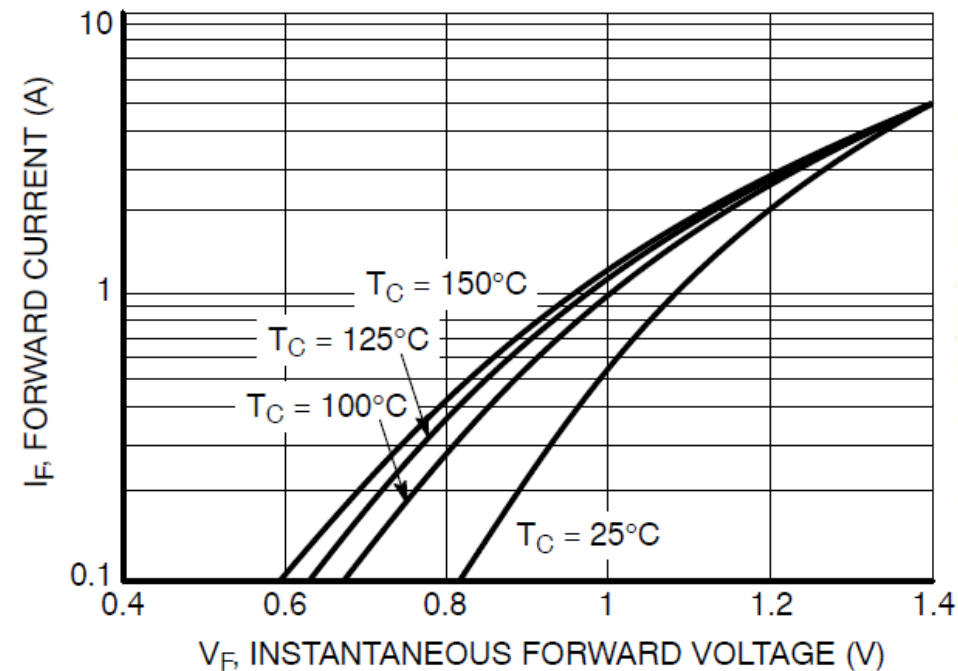


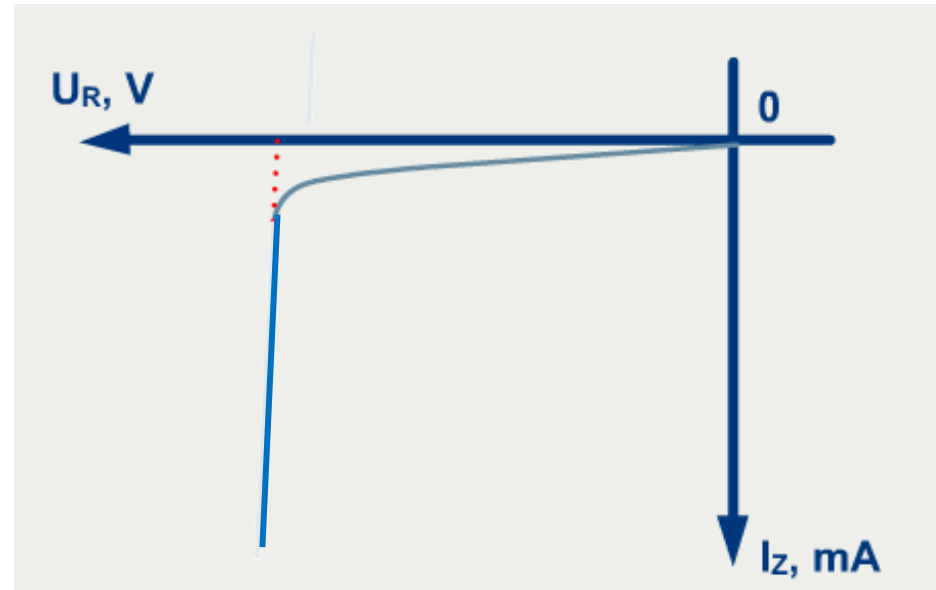
Figure 1. Typical Forward Voltage

Пробив

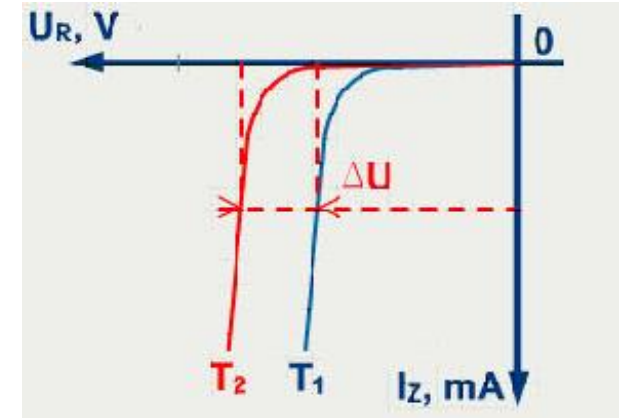
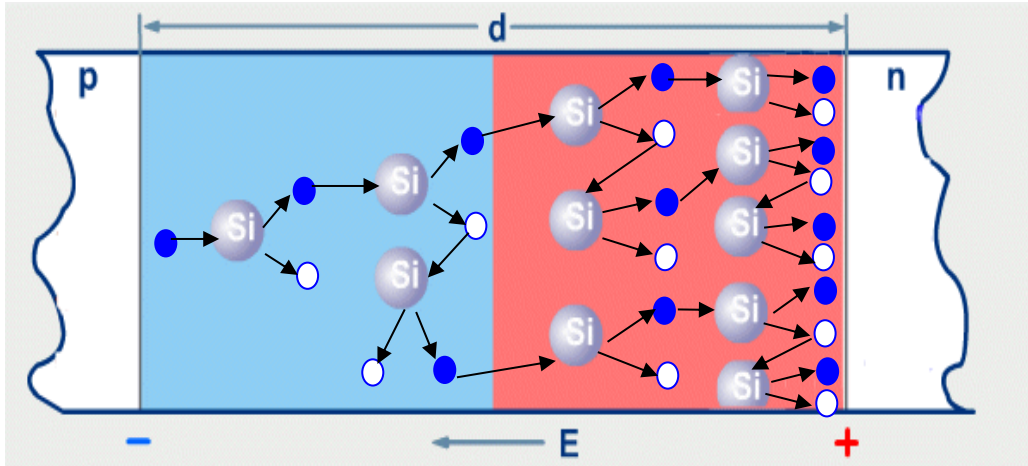
Пробивът е явление, при което рязко нараства обратният ток при оставащо почти постоянно обратно напрежение U_{BR} .

Според механизма на пробив се различават:

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



Лавинен пробив



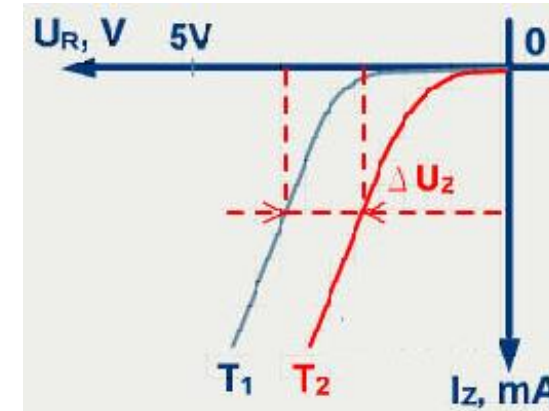
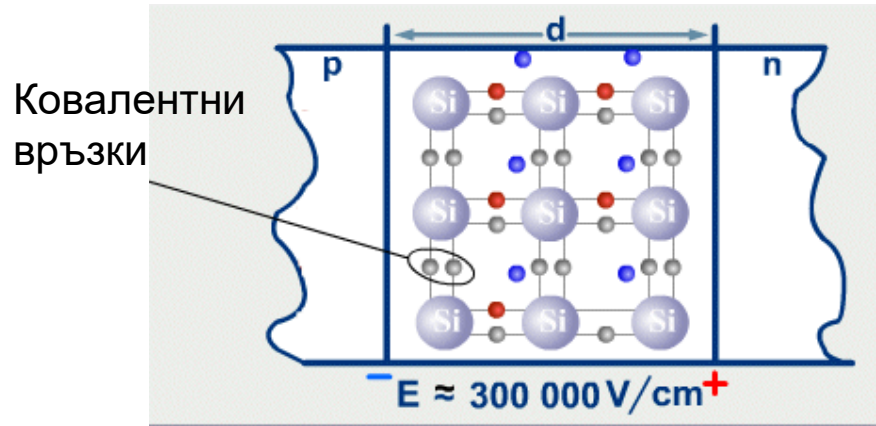
Влияние на температурата –
положителен температурен
коэффициент

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**.

Ценеров пробив



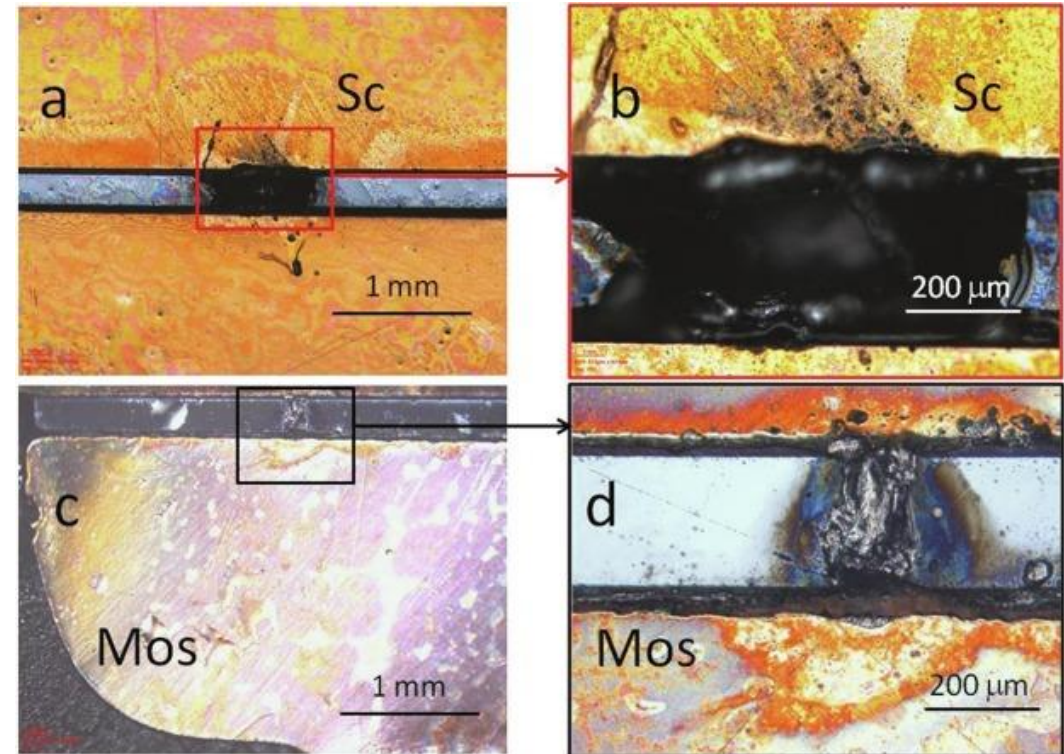
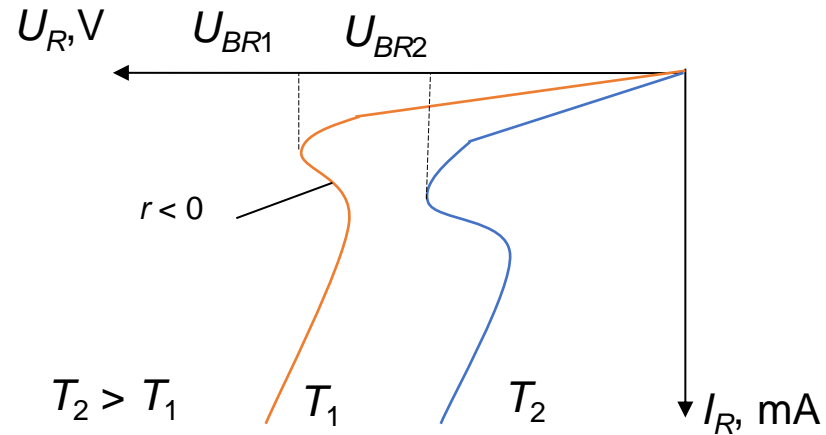
Влияние на температурата –
отрицателен температурен
коэффициент

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.

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