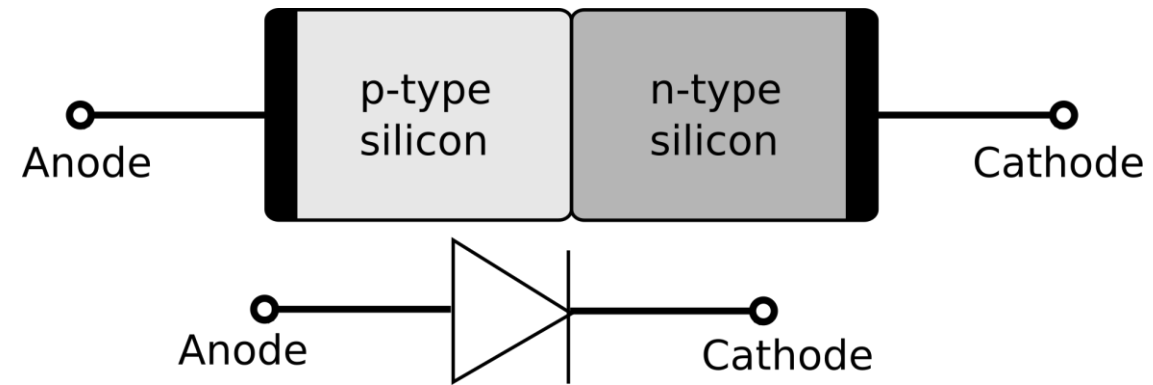
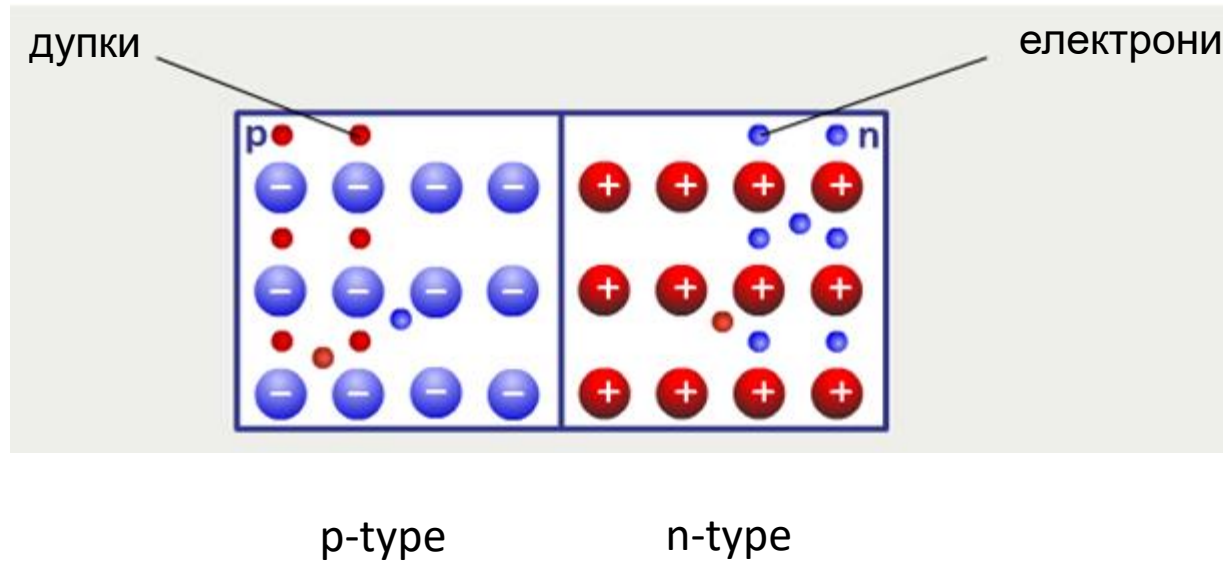




p-n Преход

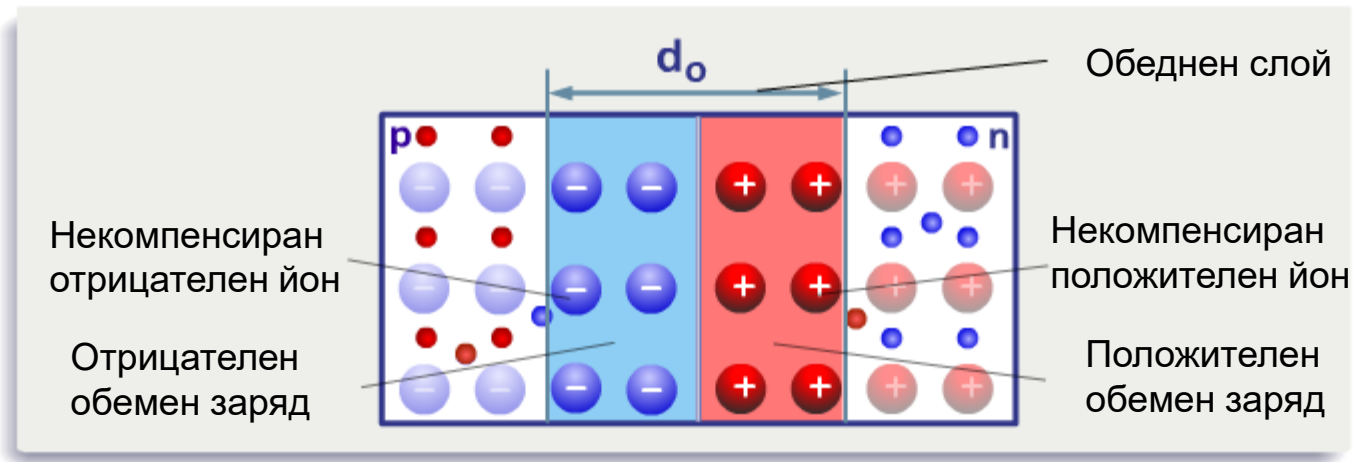
# Формиране на p-n преход



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.

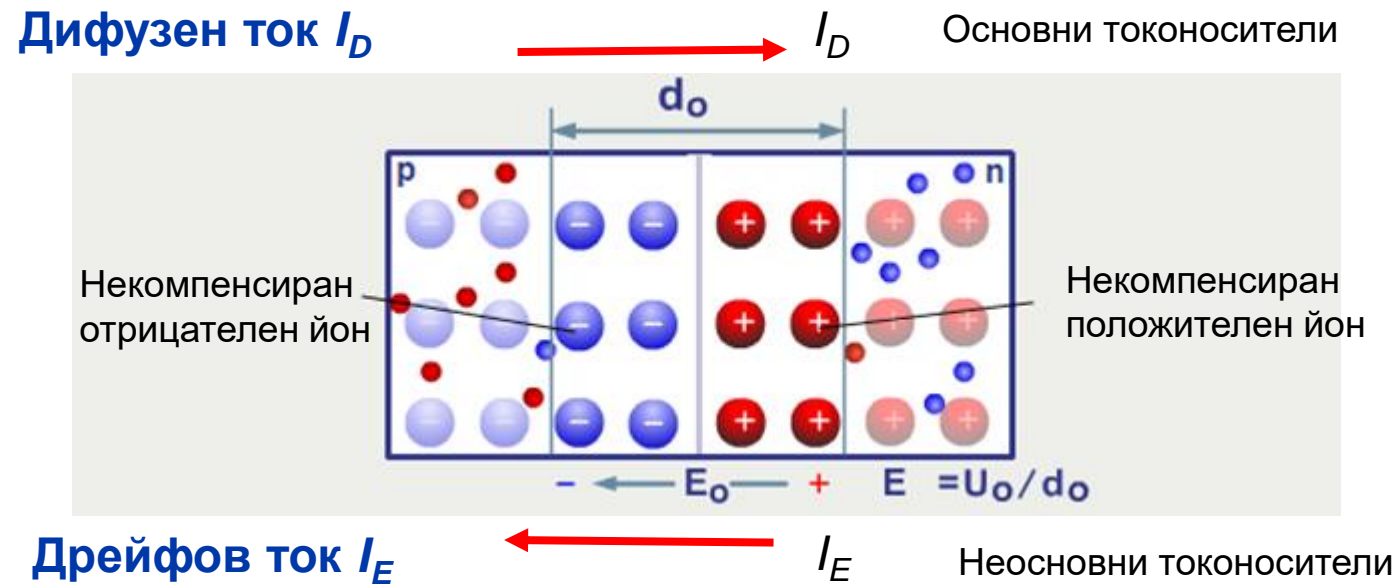
# Обеднен слой



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**.

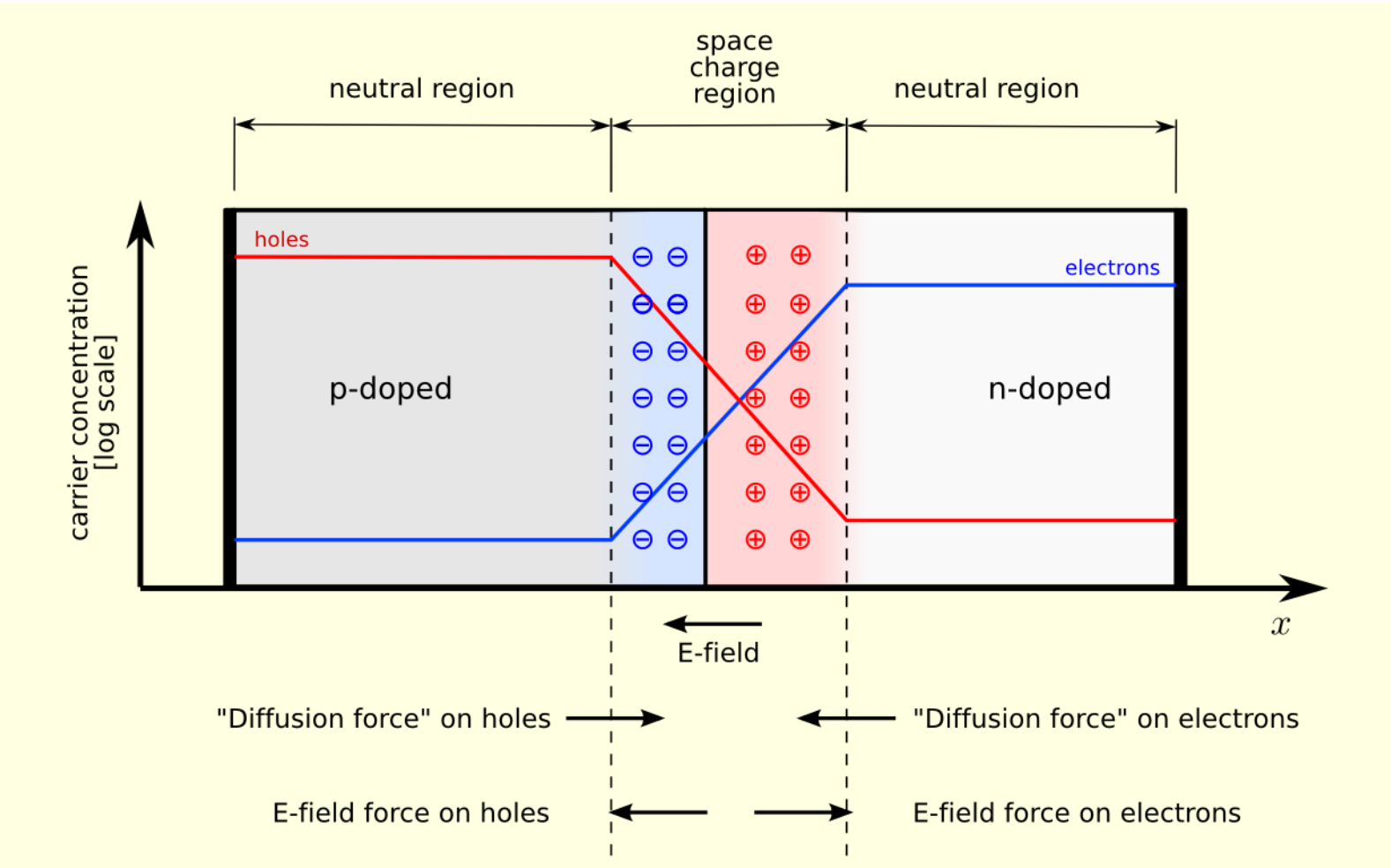
# Бариерен потенциал и електрическо поле



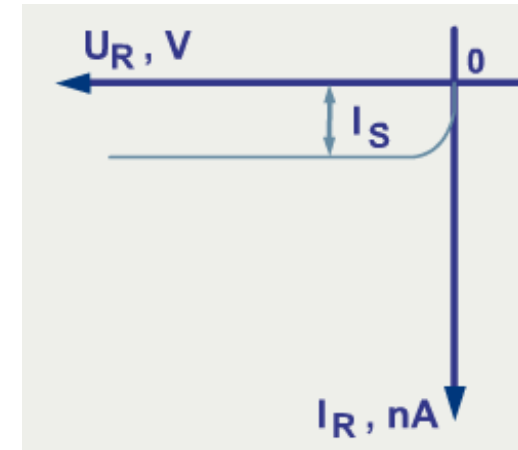
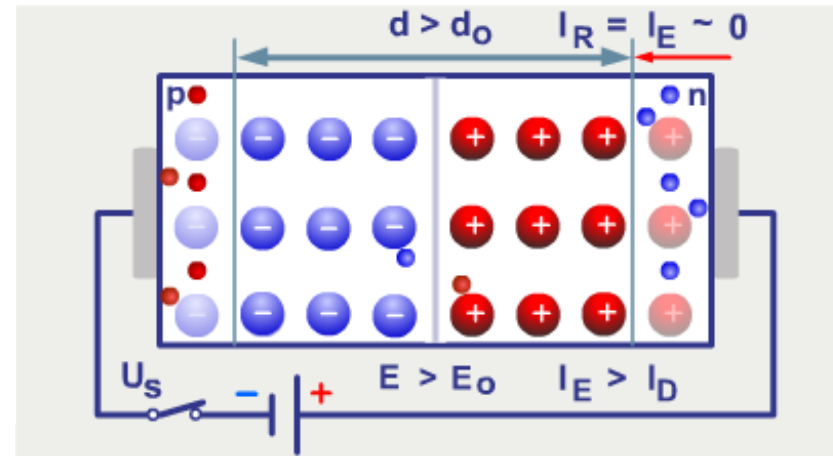
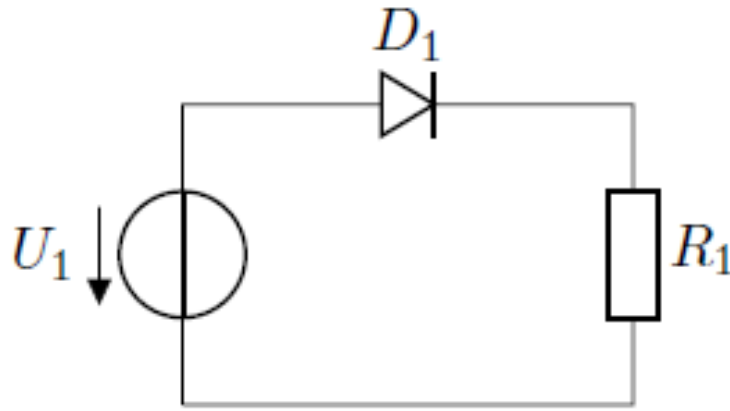
Некомпенсираните положително- и отрицателно-заредени йони в обеднения слой формират **електрическо поле  $E_o$**  и **бариерен потенциал  $U_o$** .

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

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



# Обратно включване

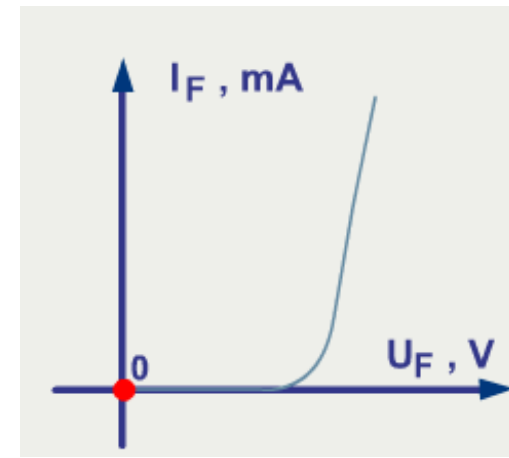
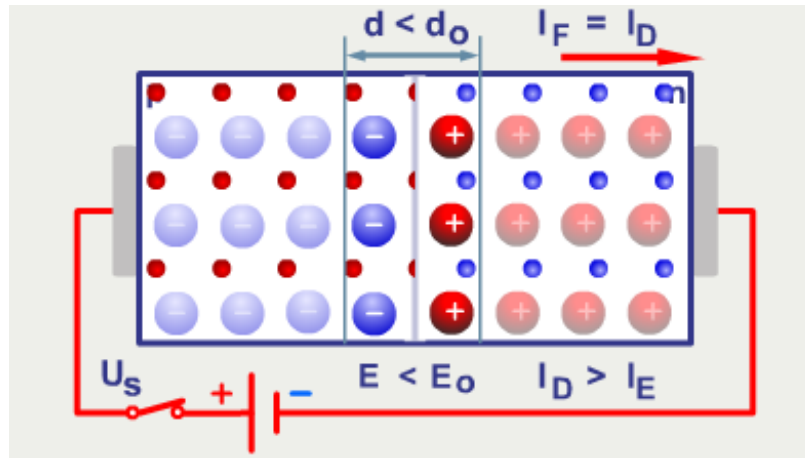
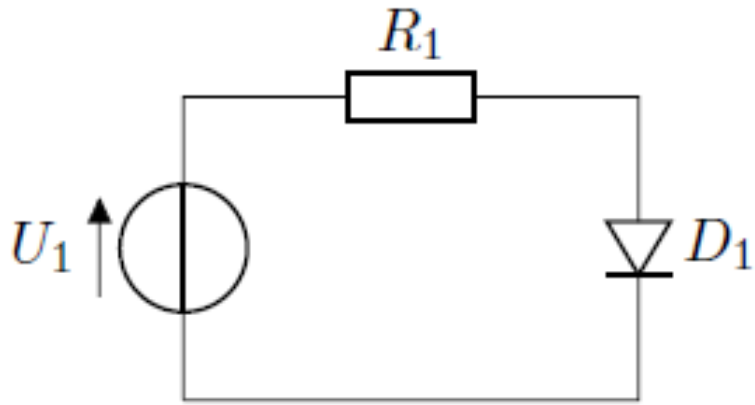


Потенциалната бариера се повишава до  $U_0 + U_s$  и електрическото поле  $E > E_0$ .

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.

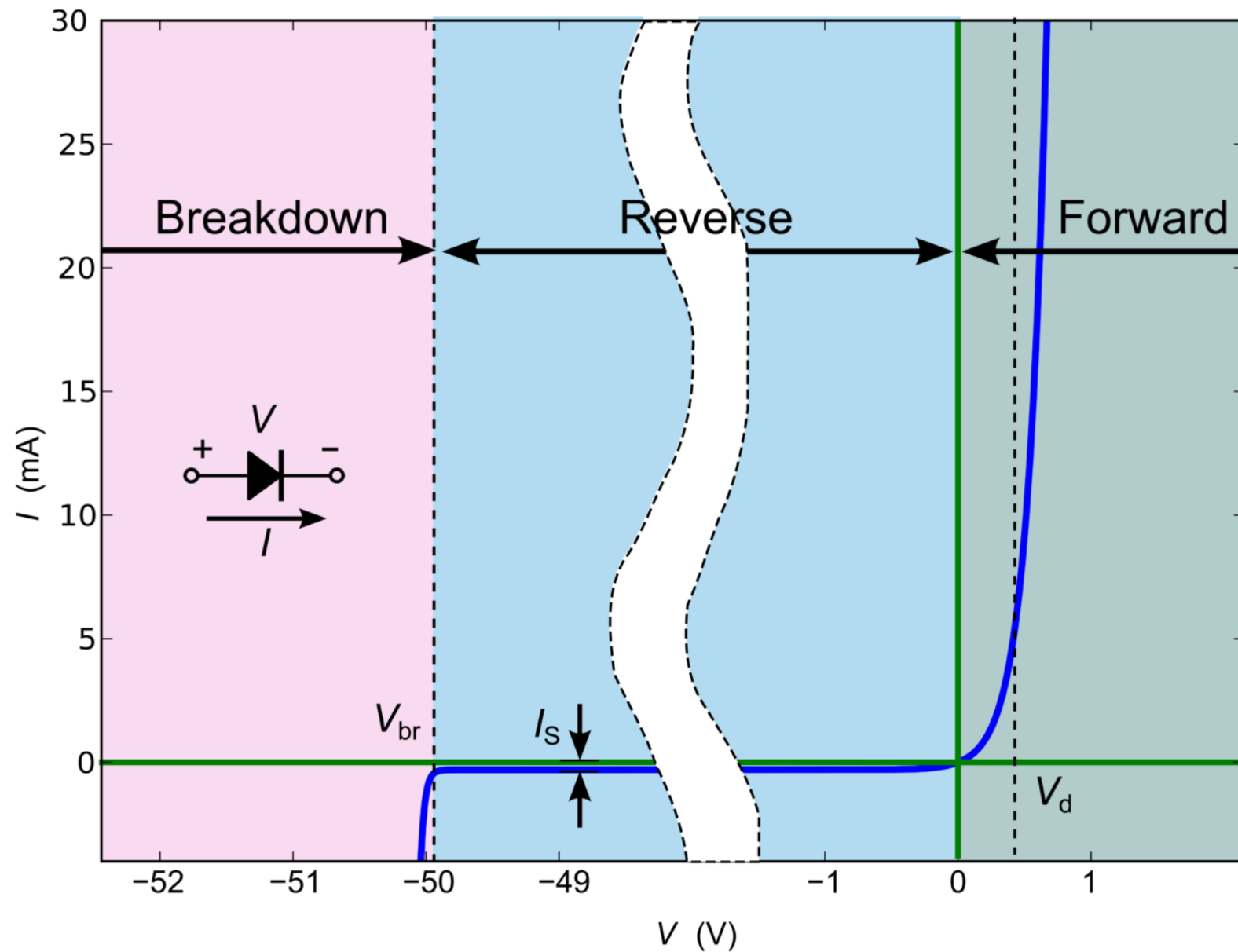
# Право включване



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)

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

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

$I$  – ток през диода

$I_s$  – ток на насищане при обратно включване

$U$  – напрежение върху диода

$\varphi_T$  – топлинен потенциал

$k$  – 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

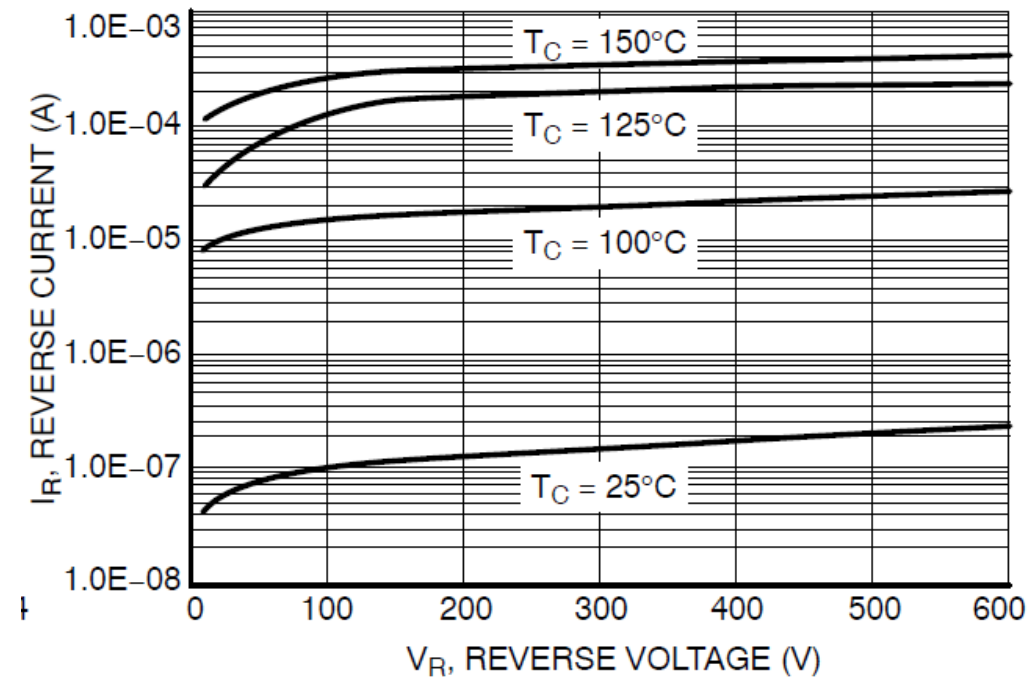
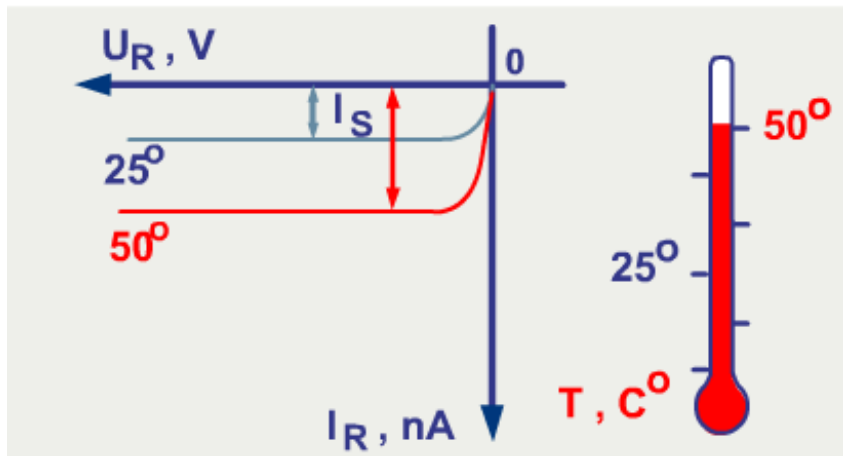
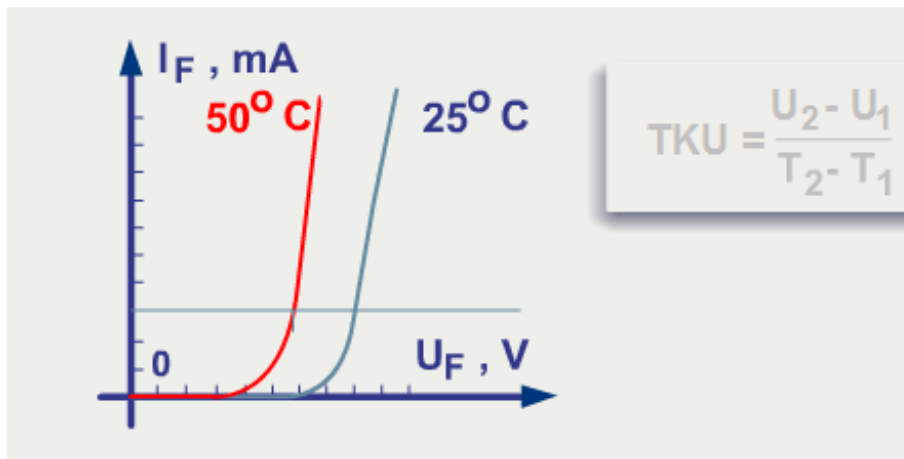


Figure 2. Typical Reverse Current

$I_S$  се удвоява на всеки  $10^\circ\text{C}$  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.

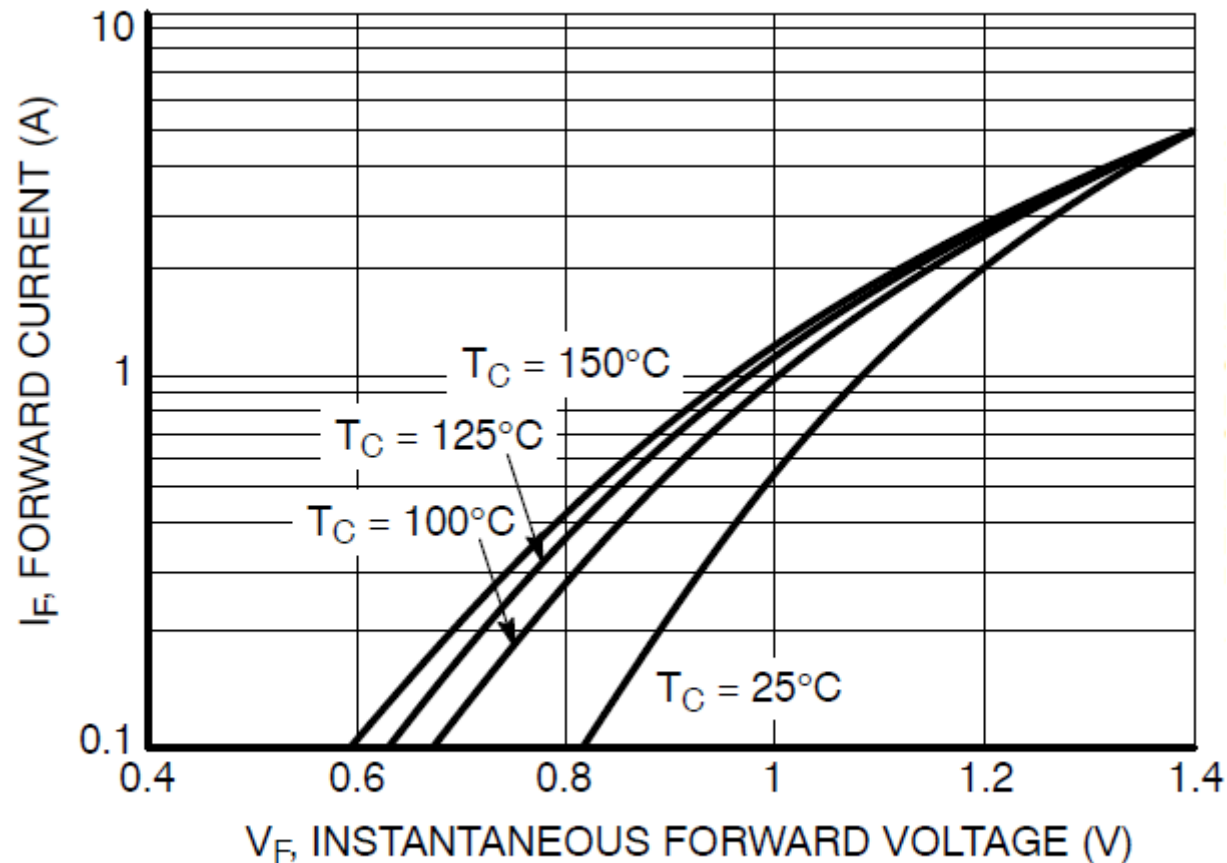
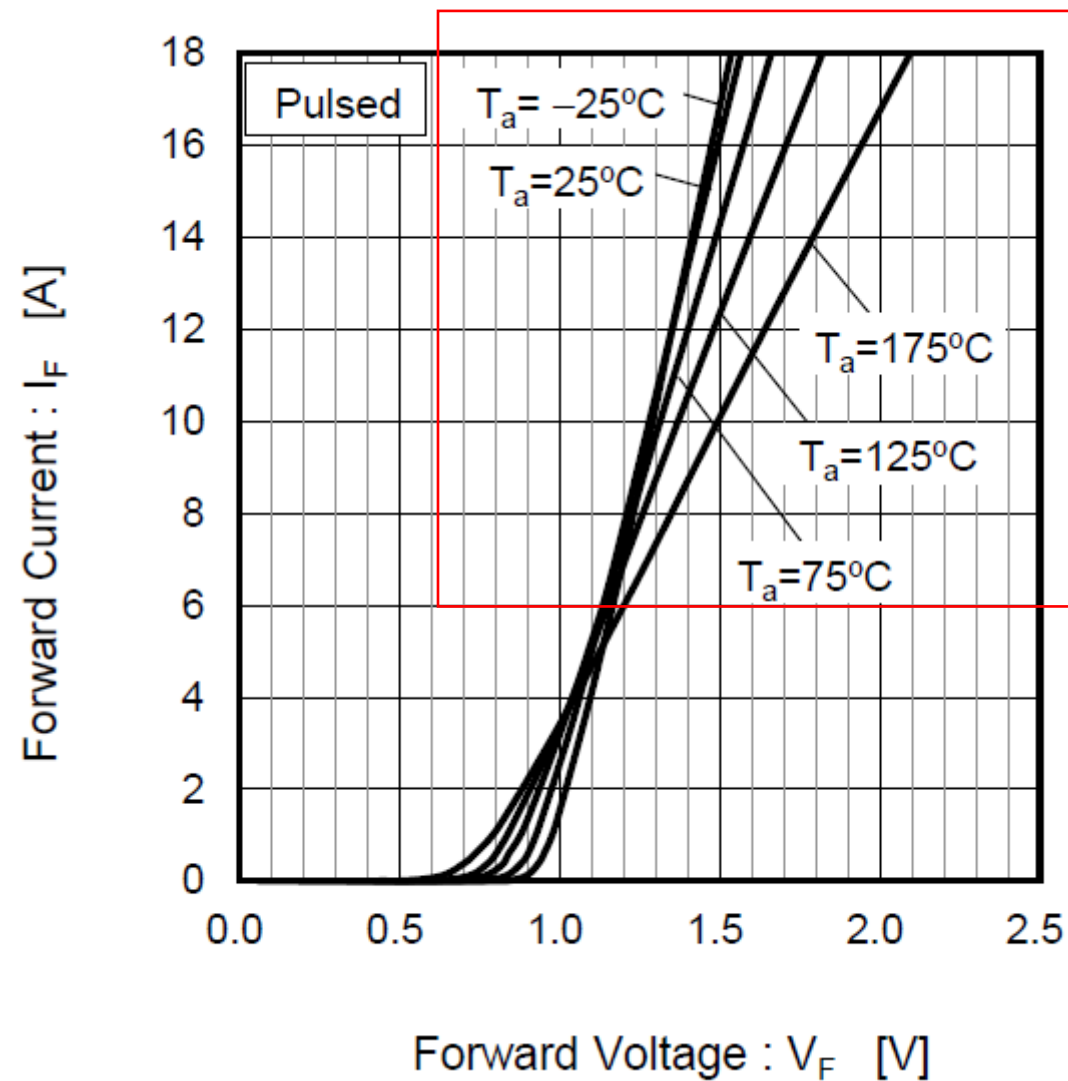


Figure 1. Typical Forward Voltage

# Влияние на температурата – SiC диоди



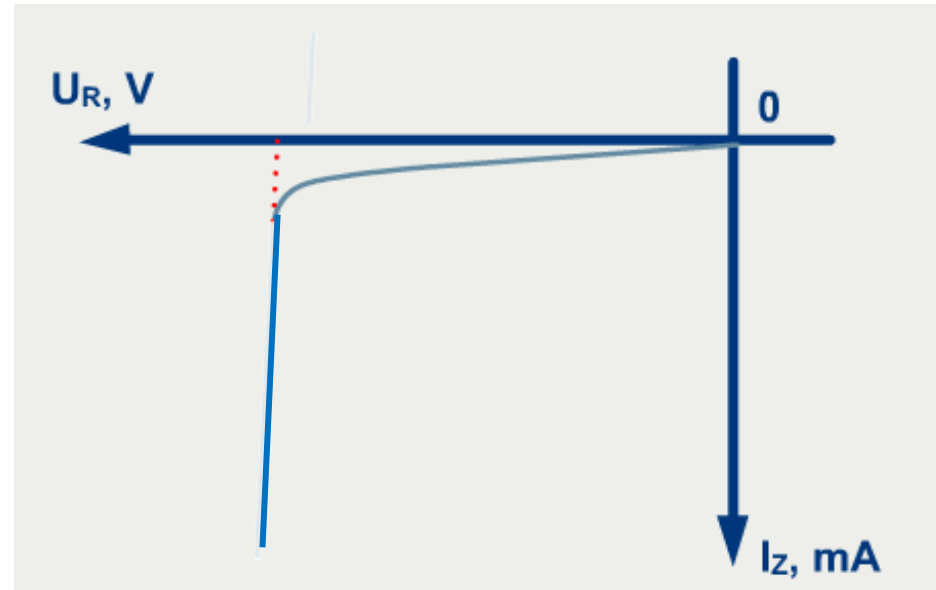
Област на положителен температурен коефициент

# Пробив

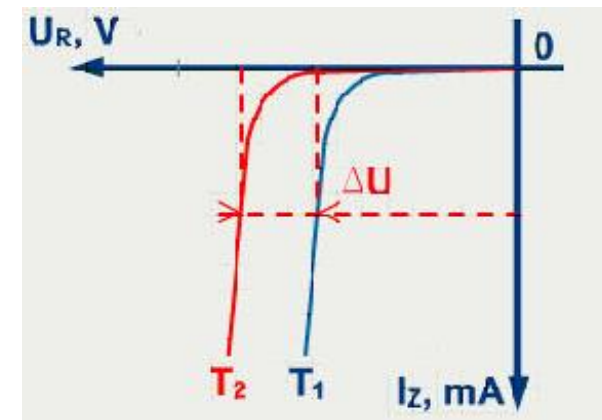
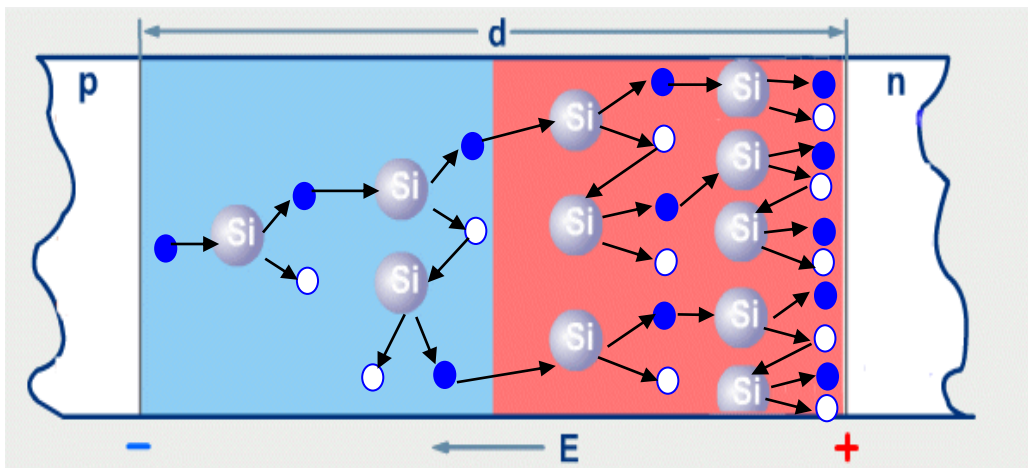
**Пробивът** е явление, при което рязко нараства обратният ток при оставащо почти постоянно обратно напрежение  $U_{BR}$ .

Според механизма на пробив се различават:

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



# Лавинен пробив



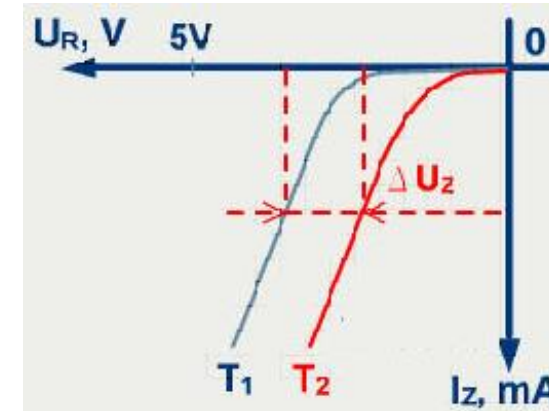
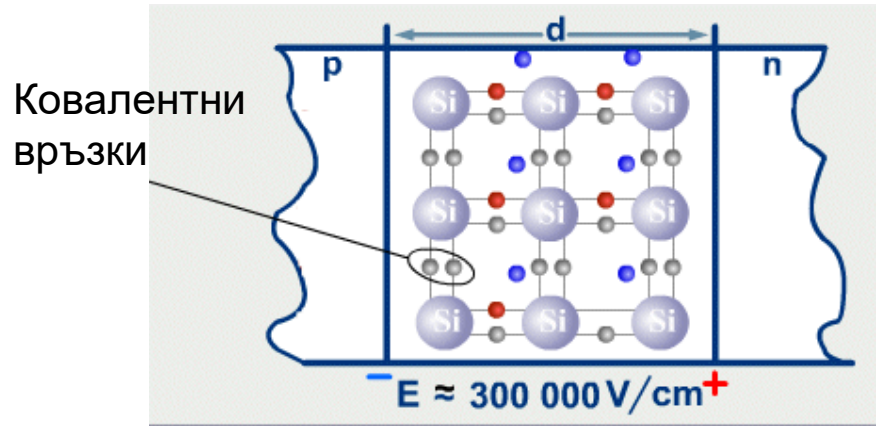
Влияние на температурата –  
положителен температурен  
коэффициент

*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

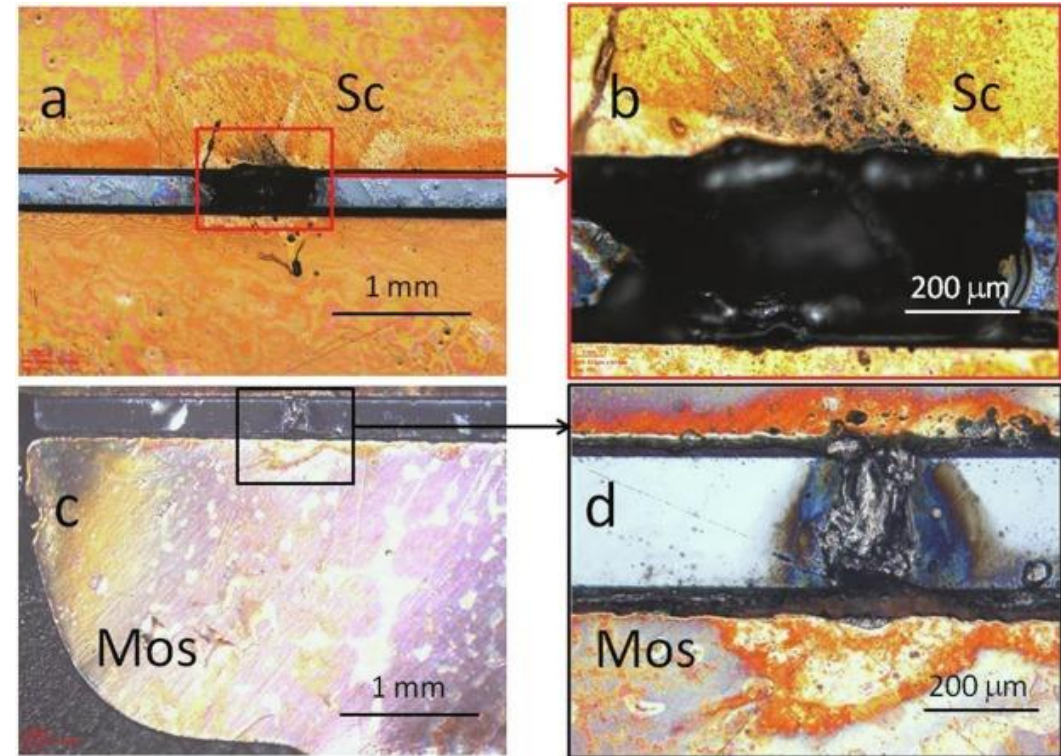
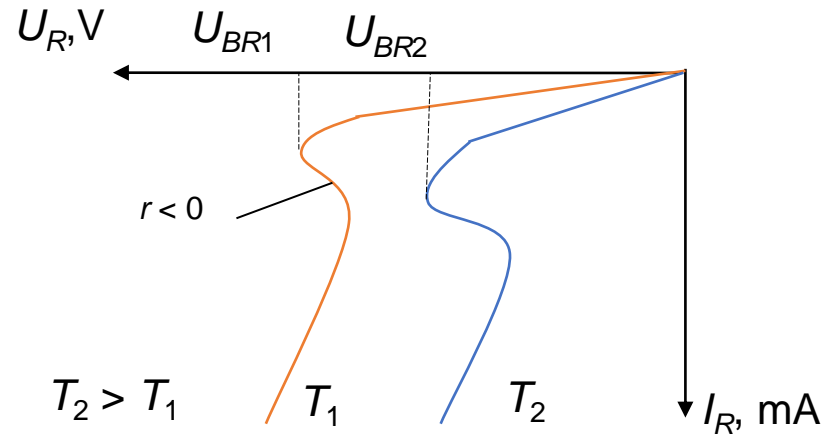
*Ако  $T \uparrow$  то  $U \downarrow$  при  $I = \text{const}$*

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