



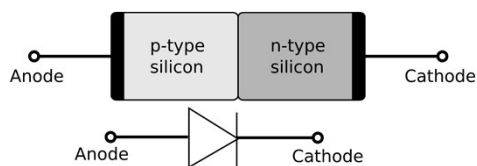
Полупроводников диод

Работа по постоянен ток

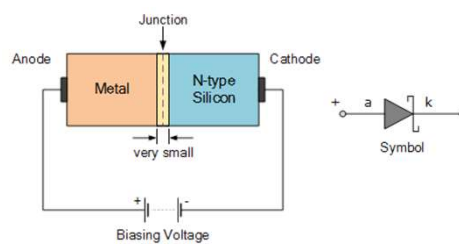
1

Структура и приложения на диода

PN-junction Diode



Schottky Diode



Преобразуване AC -> DC, т.е. изправител.

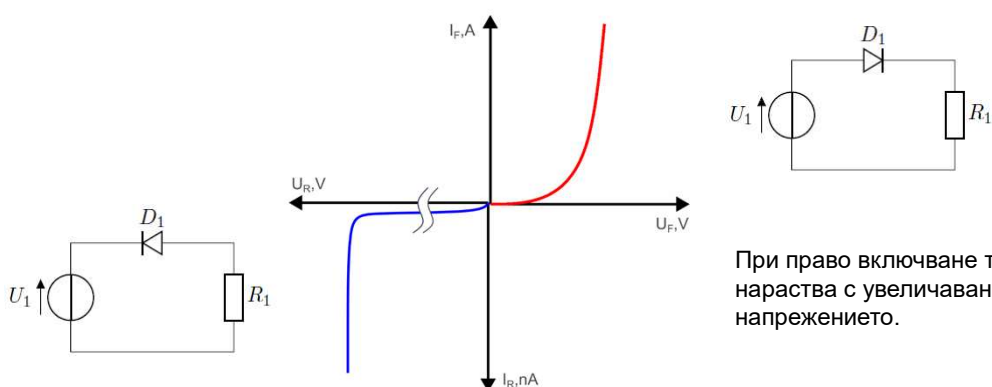
Защита от пренапрежение.

Датчици – преобразуване на не-електрическа величина в електрическа.

В радиотехниката за детектиране на сигнали.

2

VA характеристика на диода



Обратният ток е много малък.

При право включване токът рязко нараства с увеличаване на напрежението.

Диодът е нелинеен елемент с едностранна проводимост на тока.

3

Уравнение на идеализиран диод

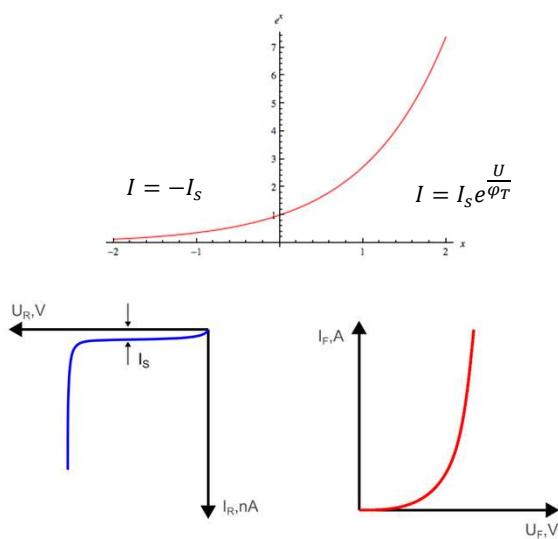
$$I = I_s \left(e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

$$\varphi_T = \frac{kT}{q}$$

I_s – ток на насищане

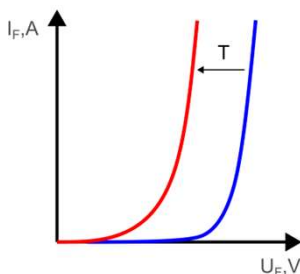
φ_T – топлинен потенциал

При 25°C, $\varphi_T = 26mV$



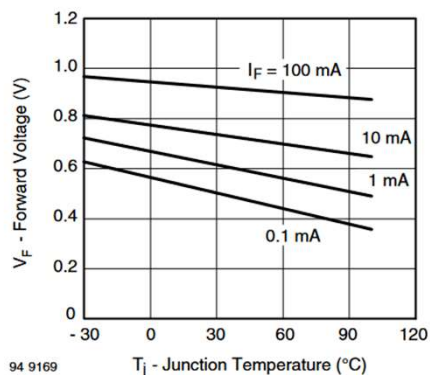
4

Влияние на температурата



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

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



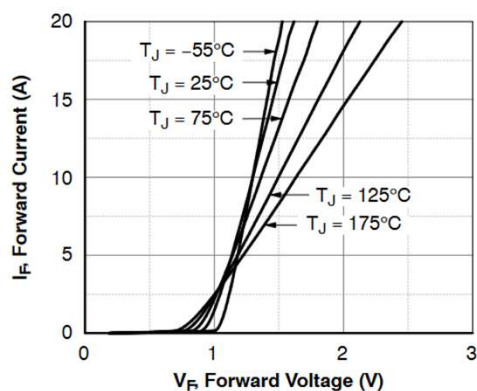
Пример 1N4148
Si PN диод

Fig. 1 - Forward Voltage vs. Junction Temperature

Большинството диоди имат **отрицателен температурен коефициент** на напрежението – т.е. U_F намалява с увеличение на температурата (при постоянен ток).

5

Влияние на температурата



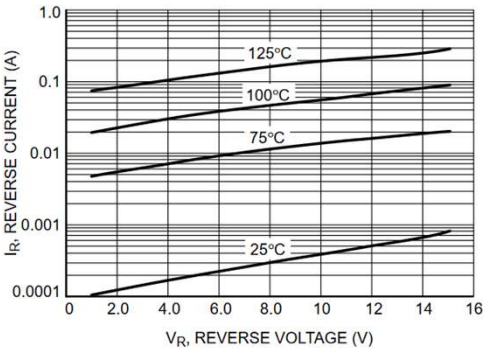
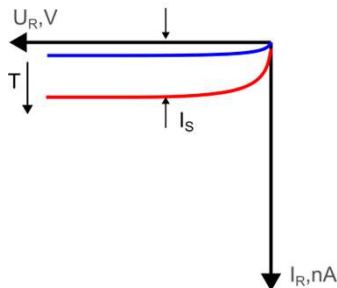
Пример FFSH15120A
SiC Schottky диод

Figure 1. Forward Characteristics

Изключение правят SiC диодите с преход на Шотки, които имат положителен темп. коефициент.

6

Влияние на температурата



Пример MBR4015CTLG
Si Schottky диод

Figure 3. Typical Reverse Current

I_s се удвоява на всеки $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ увеличение на температурата.

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

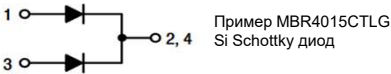
7

Максимално допусими параметри

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	15	V
Average Rectified Forward Current ($T_C = 140^{\circ}\text{C}$ per Diode) ($T_C = 140^{\circ}\text{C}$ per Device)	$I_{F(AV)}$	20 40	A
Peak Repetitive Forward Current, per Diode (Square Wave, 20 kHz, $T_C = 135^{\circ}\text{C}$)	I_{FRM}	40	A
Non-Repetitive Peak Surge Current (Surge Applied at Rated Load Conditions, Halfwave, Single Phase, 60 Hz)	I_{FSM}	150	A
Peak Repetitive Reverse Surge Current (2.0 μs , 1.0 kHz)	I_{RRM}	1.0	A
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +175	$^{\circ}\text{C}$
Operating Junction Temperature (Note 1)	T_J	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$
Voltage Rate of Change (Rated V_R)	dv/dt	1,000	V/ μs

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.



Пример MBR4015CTLG
Si Schottky диод

8

Намаляване на макс. допустимият ток при повишаване на температурата

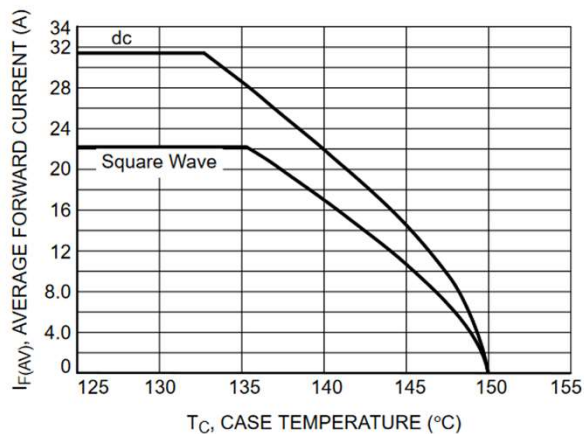
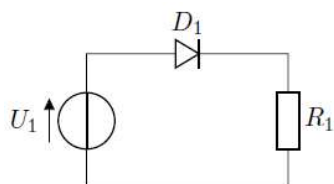


Figure 4. Current Derating, Case, Per Leg

9

Токоограничаващ резистор

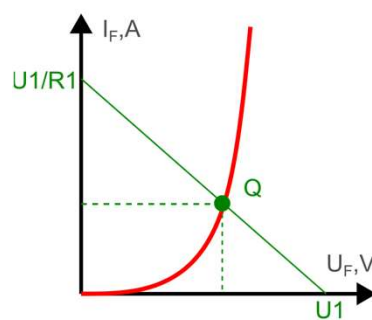
$$I = I_s e^{\frac{U}{\phi T}}$$



$$U_1 = U_d + U_r$$

$$U_r = U_1 - U_d$$

$$I = U_r / R < I_{fmax}$$



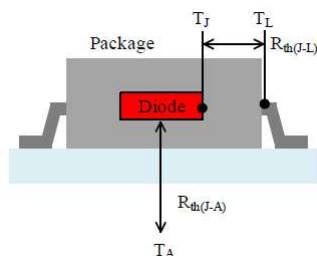
Предназначението на токоограничаващия резистор е да поддържа тока през диода по-малък от максимално допустимия.

Без наличие на този резистор в схемите, няма какво да ограничи нарастването на тока при право включване и **диодът излиза от строя**.

10

Топлинно съпротивление

Максималната мощност може да се увеличи чрез намаляване на топлинното съпротивление R_{th} . **Топлинното съпротивление** R_{th} показва ефективността на отвеждане топлината от прехода в дименсии K/W или $^{\circ}\text{C}/\text{W}$.



T_J is junction temperature,
 T_L is lead temperature,
 T_A is ambient temperature,
 $R_{th(J-L)}$ is thermal resistance between junction and lead, and
 $R_{th(J-A)}$ is thermal resistance between junction and ambient.

11

Топлинно съпротивление

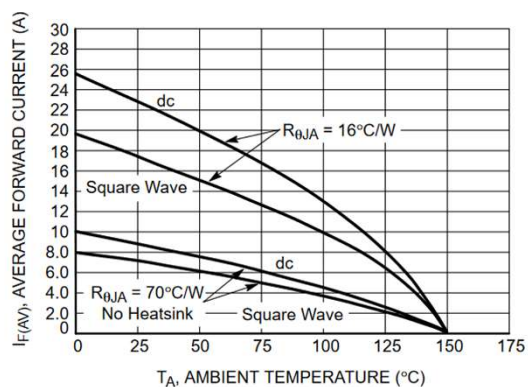


Figure 5. Current Derating, Ambient, Per Leg



Топлинното съпротивление може да се намали с помощта на радиатор. Той представява метална конструкция с голяма площ, която спомага по-лесното отвеждане на топлината.

При наличие на радиатор общото топлинно съпротивление намалява, защото се увеличават пътищата за разсейване на топлината.

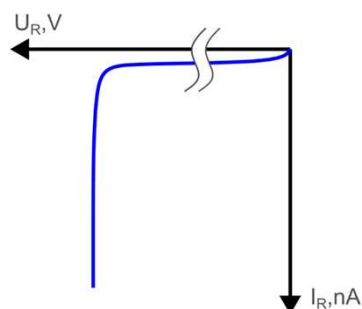
12

Пробив

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

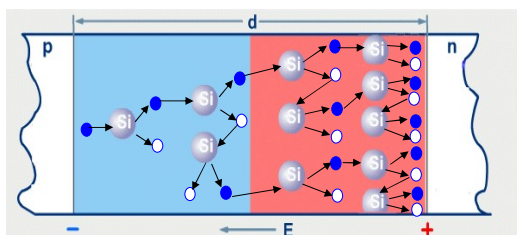
Според механизма на пробив се различават:

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



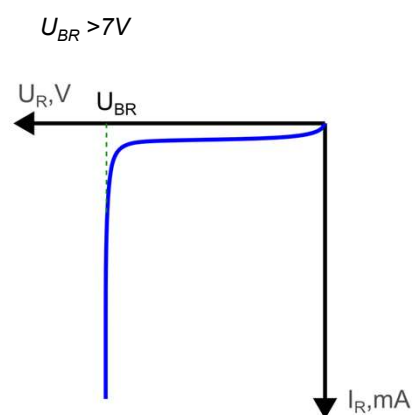
13

Лавинен пробив



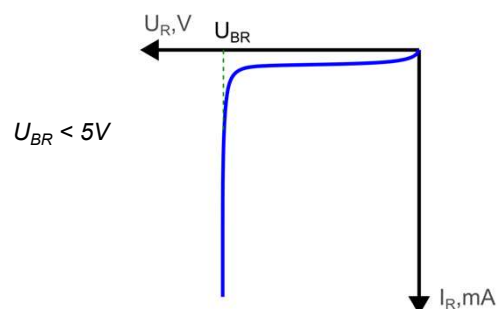
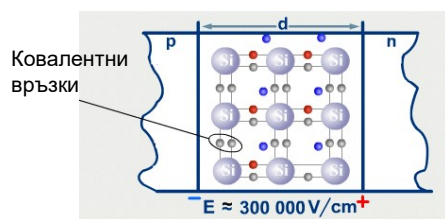
Неосновните токоносители, ускорени от полето, при сблъсък с атомите ги йонизират и се създават електрон и дупка. Процесът продължава лавинообразно, причинявайки рязко нарастване на тока.

Лавинният пробив настъпва в широки PN преходи при обратни напрежения над **7V**.



14

Ценеров пробив



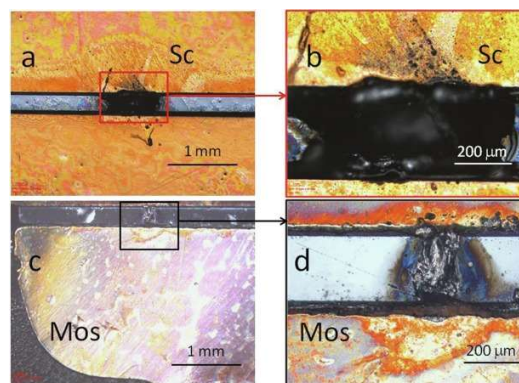
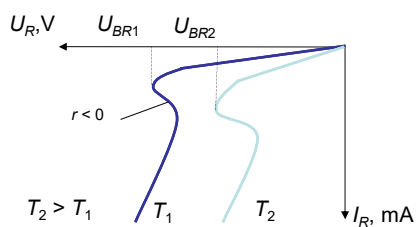
При достатъчно голямо електрическо поле се разкъсват ковалентни връзки и се създават допълнителни електрони и дупки – Ценеров ефект. Изискват се стойности на полето от порядъка на 300 000 V/cm.

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

15

Топлинен пробив

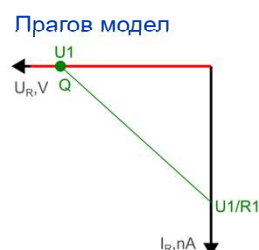
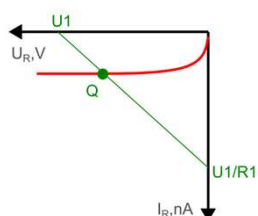
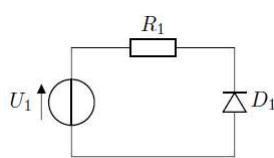
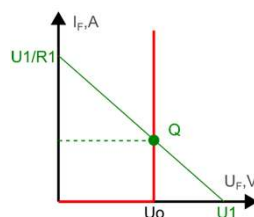
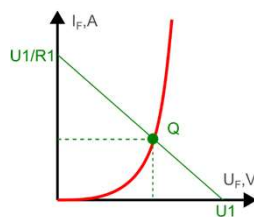
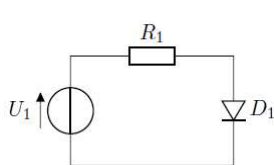
Този пробив настъпва, ако се надхвърли максималната допустима температура на прехода



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

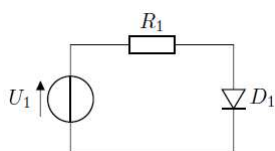
Товарна права и работна точка



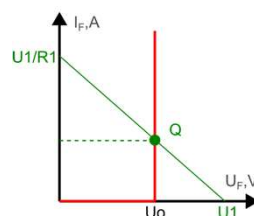
17

Примери

Като използвате прагов модел на диод с $U_o = 0.7V$, определете токовете, падовете на напрежение и разсейваните мощности върху резистора и диода в схемата.



$U_1 = 10V$
 $R_1 = 1k\Omega$
 $U_o = 0.7V$



- 1) Източникът на напрежение U_1 , диодът D_1 и резисторът R_1 са свързани последователно \Rightarrow през тях тече еднакъв ток I .
- 2) Диодът е включен в права посока и $U_1 > U_o \Rightarrow$ диодът е "отпушен" и пропуска ток.
- 3) От законът на Кирхоф за напреженията $\Rightarrow U_1 = U_r + U_d$; $U_r = U_1 - U_d = 10V - 0.7V = 9.3V$
- 4) От законът на Ом $\Rightarrow I = U_r / R_1 = 9.3V / 1k\Omega = 9.3mA$
- 5) Мощността, разсейвана върху резистора е $P_r = U_r \cdot I = 9.3V \cdot 9.3mA = 86.5mW$
- 6) Мощността, разсейвана върху диода е $P_d = U_d \cdot I = 0.7V \cdot 9.3mA = 6.5mW$

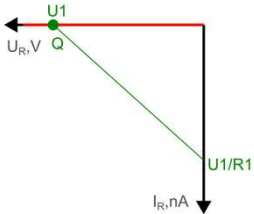
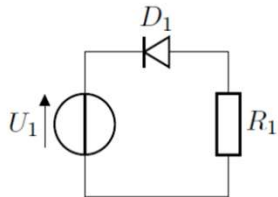
проверки

Елемент	U	I	P
D1	0.7V	9.3mA	6.5mW
R1	9.3V	9.3mA	86.5mW

18

Примери

Определете напреженията върху резистора и диода и големината на тока, ако $U_1=10V$ и $R_1=100$ Ома. Използвайте прагов модел на диод с $U_0=0.7V$.

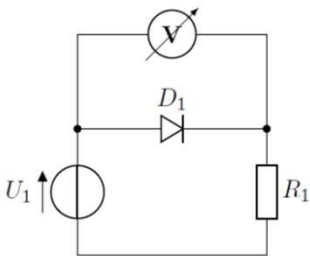


- 1) Източникът на напрежение U_1 , диодът D_1 и резисторът R_1 са свързани последователно => през тях тече еднакъв ток I .
- 2) Диодът е включен в обратна посока и U_1 => диодът не пропуска ток => $I = 0$.
- 3) От законът на Ом => $U_r = I \cdot R_1 = 0 \cdot 100 \text{ Ohm} = 0$
- 4) От законът на Кирхоф за напреженията => $U_1 = U_r + U_d$; $U_d = U_1 - U_r = 10V - 0 = 10V$

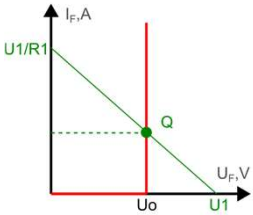
Елемент	U	I	P
D1	10V	0	0
R1	0	0	0

19

Какво ще покава волтметъра, ако $U_1=10V$, $R_1=100 \text{ Ohm}$, а D_1 е силициев диод с PN преход.



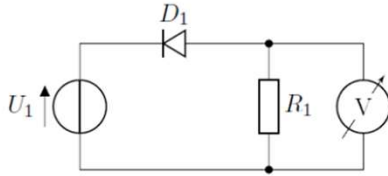
- ☐ 10V
- ☐ 9.3V
- ☒ 0.7V
- ☐ 0V



За силициев диод с p-n преход,
 $U_0=0.7V$

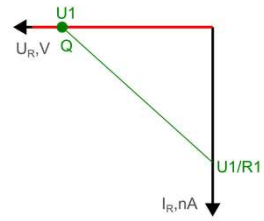
20

Какво ще покава волтметъра, ако $U_1=10V$, $R_1=100\Omega$, а D_1 е силициев диод с PN преход.



- ☐ 10V
☐ 9.3V
☐ 0.7V

☒ 0V



$$U_d = U_1 \Rightarrow U_r = 0$$