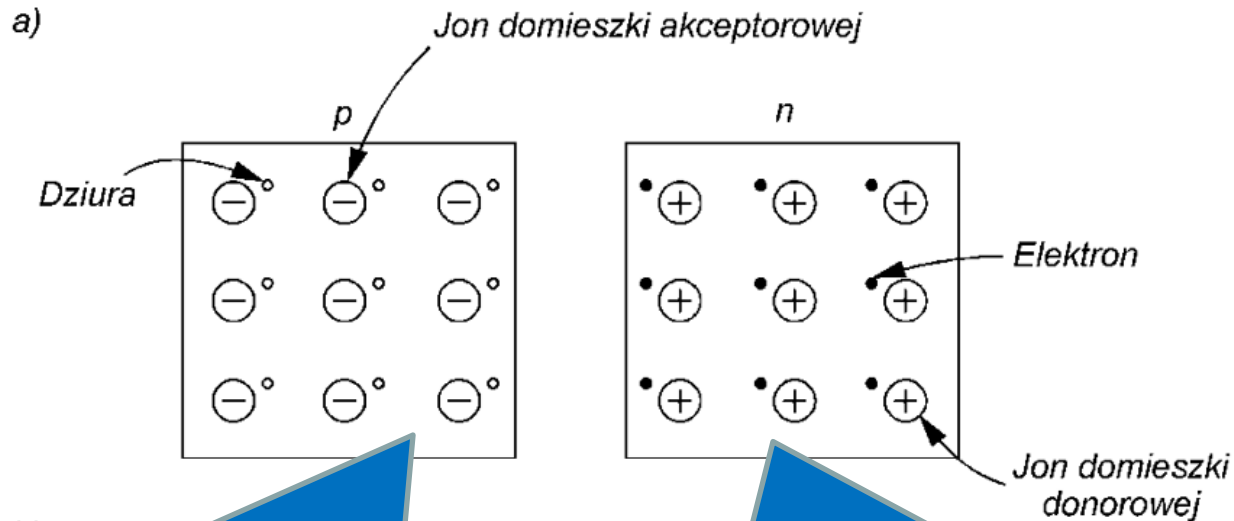


# Złącze p-n

## Gdy obszary półprzewodnika typu p i n nie graniczą za sobą



**W półprzewodniku typu p istnieją:**

- ujemne nieruchome ładunki zjonizowanych atomów domieszki akceptorowej
- dodatnie ładunki ruchomych dziur (nośników większościowych).

**Obszar zachowuje obojętność elektryczną.**

**W półprzewodniku typu n istnieją:**

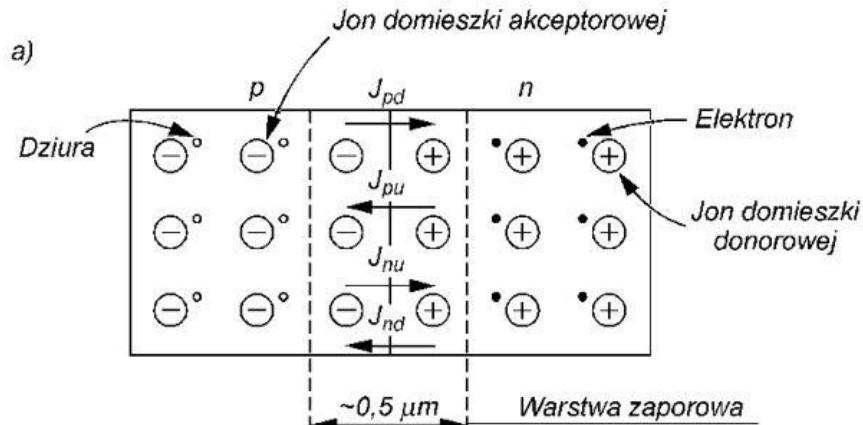
- dodatnie nieruchome ładunki zjonizowanych atomów domieszki donorowej
- ujemne ładunki ruchomych elektronów (nośników większościowych).

**Obszar zachowuje obojętność elektryczną.**

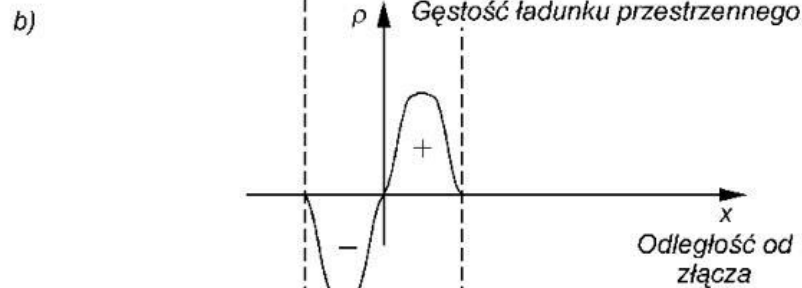
**Złącze p-n jest to obszar półprzewodnika  
monokrystalicznego utworzony przez dwie  
graniczące ze sobą warstwy:  
jedna typu p  
druga typu n**

# Obraz złącza p-n

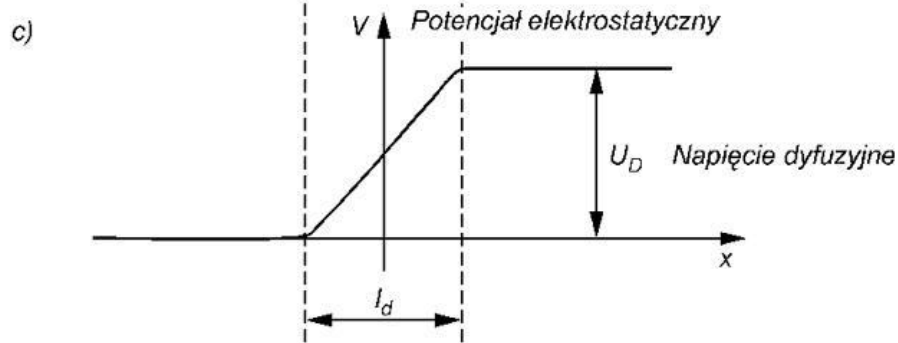
**Złącze powstałe w specjalnym procesie technologicznym**



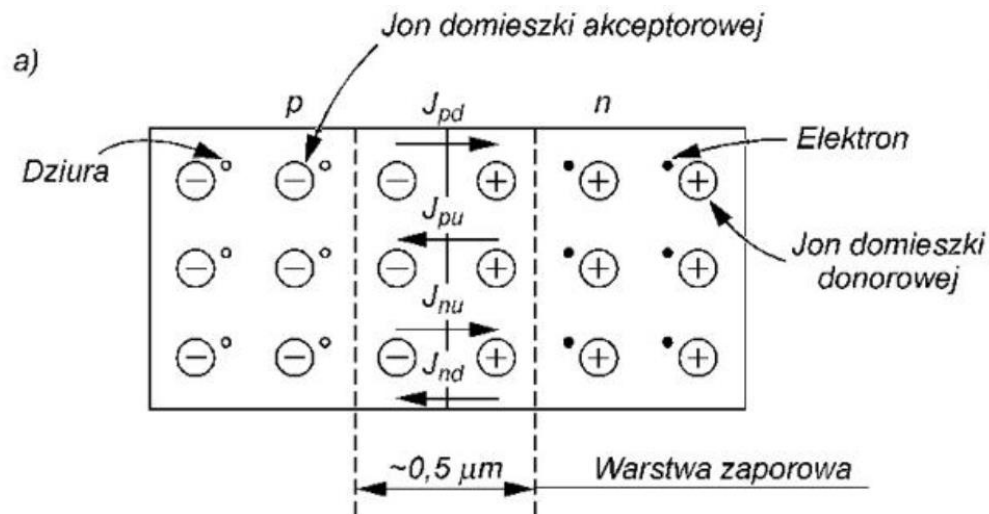
**utworzone złącze z  
zaznaczeniem prądów  
dyfuzyjnych i unoszenia**



**rozkład  
ładunku  
przestrzennego**



**rozkład  
potencjału**



W momencie utworzenia złącza następuje proces dyfuzji elektronów z materiału n do p - prąd  $J_{nd}$  oraz dziur z materiału p do n - prąd  $J_{pd}$ .

Powstają dwa strumienie prądu dyfuzyjnego.

Cel - wyrównanie koncentracji nośników ładunku.

Odływ nośników na skutek istnienia prądu dyfuzyjnego powoduje powstanie po obu stronach złącza nieskompensowanej dipolowej warstwy ładunku wytwarzającej pole przeciwdziałające dalszej dyfuzji.

Skutek – powstanie pola unoszenie elektronów i dziur w kierunkach przeciwnych.

Powstają dwa strumienie prądu unoszenia nośników skierowane przeciwnie: dziur z obszaru n do p - prąd  $J_{pu}$  i elektronów z obszaru p do n - prąd  $J_{nu}$

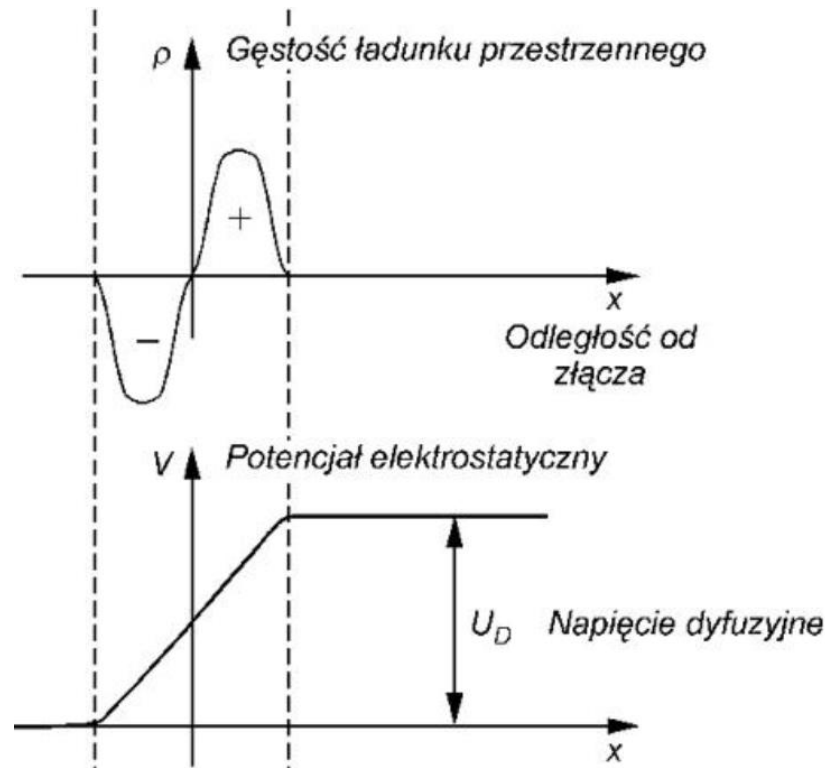
w złączu dochodzi do równowagi dynamicznej

$$J_{pd} - J_{pu} = 0$$

$$J_{nd} - J_{nu} = 0$$

gęstość prądu dyfuzyjnego i unoszenia  
dziur osiągają te same wartości

gęstość prądu dyfuzyjnego i unoszenia  
elektronów osiągają te same wartości



Skutek równowagi dynamicznej: istnienie na złączu dipolowej warstwy ładunków tzw. warstwy zaporowej lub warstwy ładunku przestrzennego.

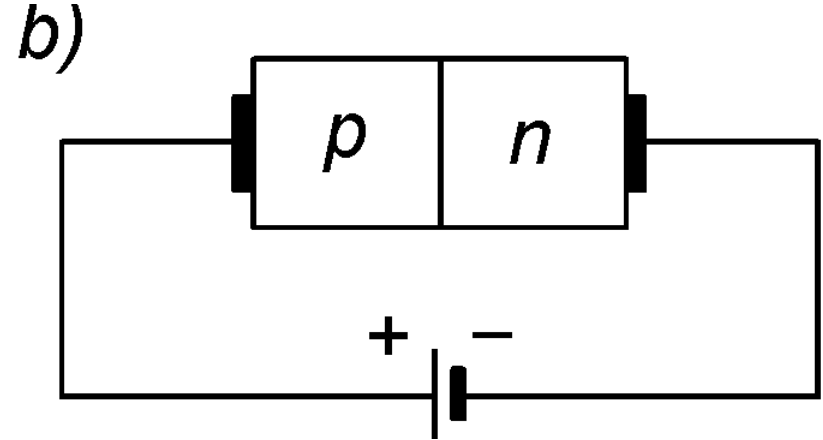
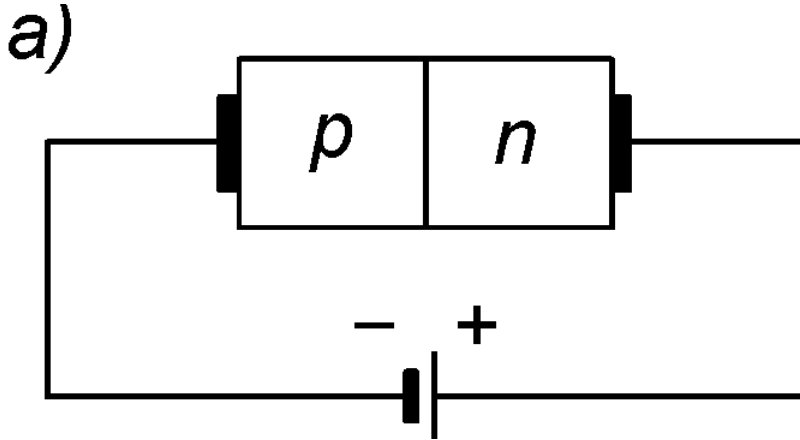
W obszarze granicznym pojawia się napięcie,

utworzona jest bariera potencjału zwana inaczej napięciem dyfuzyjnym  $U_D$

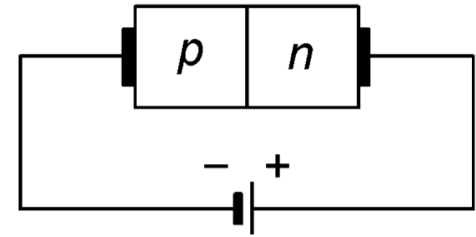
dla złącza krzemowego  $U_D = 0,7 \text{ V}$

dla złącza germanowego  $U_D = 0,3 \text{ V}$

## POLARYZACJA ZŁĄCZA



Złącze p-n spolaryzowane w kierunku: a) zaporowym, b) przewodzenia



## Polaryzacja złącza p-n w kierunku zaporowym

Zewnętrzne źródło napięcia jest połączone biegunem dodatnim z obszarem typu n,  
a biegunem ujemnym z obszarem typu p.

Polaryzacja zewnętrzna jest zgodna z biegunowością napięcia dyfuzyjnego.

Bariera potencjału złącza zwiększa się o wartość napięcia zewnętrznego.

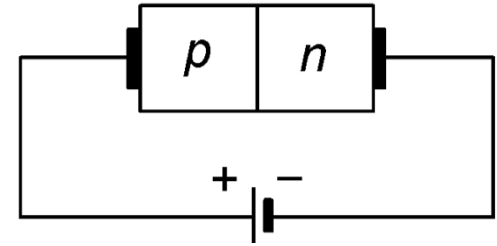
Maleją składowe dyfuzyjne prądu elektronowego i dziurowego, pozostają  
niezależne od napięcia składowe prądu unoszenia nośników mniejszościowych.

Przy polaryzacji złącza p-n w kierunku zaporowym płyne prąd nośników  
mniejszościowych dużym zakresie niezależny od przyłożonego napięcia

- **prąd nasycenia  $I_s$**



## Polaryzacja złącza p-n w kierunku przewodzenia



Zewnętrzne źródło jest połączone biegunem dodatnim z obszarem typu p, a biegunem ujemnym z obszarem typu n.

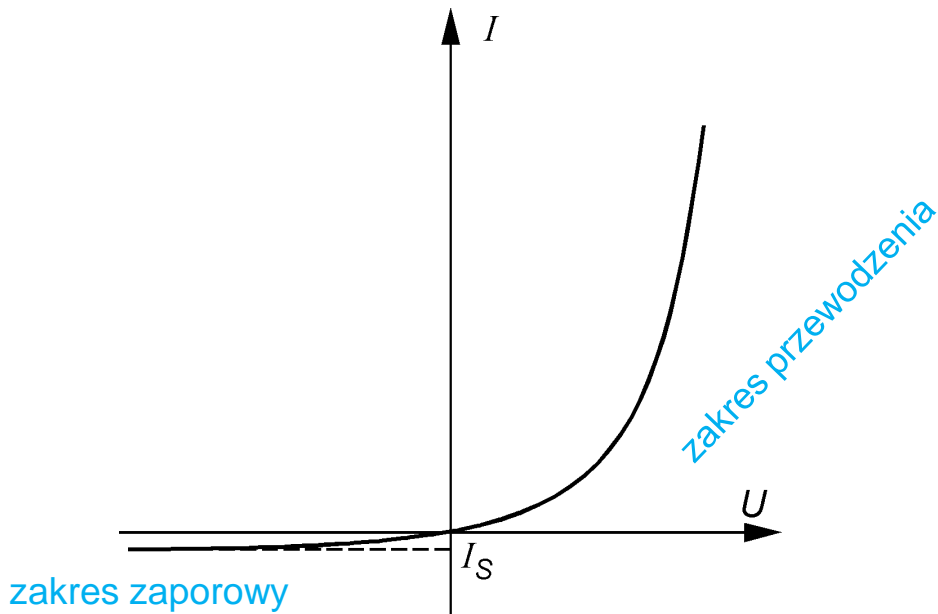
Polaryzacja zewnętrzna jest przeciwna w stosunku do biegunowości napięcia dyfuzyjnego.

Bariera potencjału złącza maleje o wartość napięcia zewnętrznego.

Dominują składowe prądów dyfuzyjnych elektronów z obszaru n do p i dziur z obszaru p do n i ich wartość zwiększa się wraz ze wzrostem napięcia polaryzacji.

Przy polaryzacji złącza p-n w kierunku przewodzenia płyne prąd nośników większościowych (prąd dyfuzyjny), którego wartość silnie zależy od przyłożonego napięcia zewnętrznego.

## Charakterystyka prądowo - napięciowa złącza p-n



Równanie Shockleya

$$I = I_S \left[ \exp \left( \frac{U}{\varphi_T} \right) - 1 \right]$$

$I_S$  - prąd nasycenia złącza

$\varphi_T = (k T / q)$  potencjał termiczny elektronu, dla  $T = 300 \text{ K}$   $\varphi_T = 26 \text{ mV}$

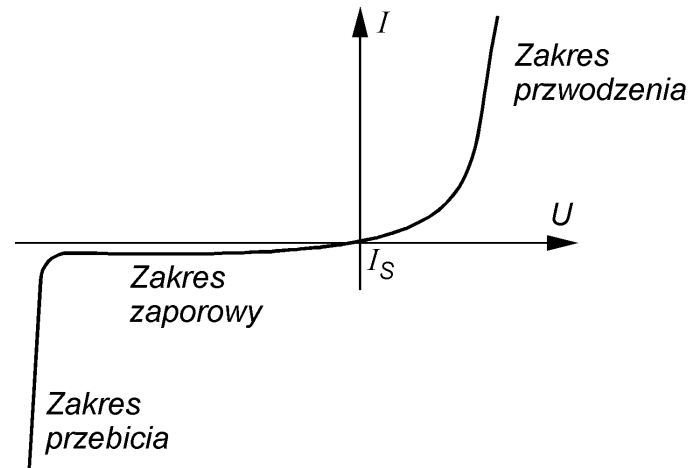
$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J / K} = 8,62 \cdot 10^{-5} \text{ eV / K}$  stała Boltzmana

$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ładunek jednostkowy

# WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI ZŁĄCZA

## PRZEBICIE ZŁĄCZA

jest to zjawisko gwałtownego przyrostu prądu przy polaryzacji w kierunku zaporowym

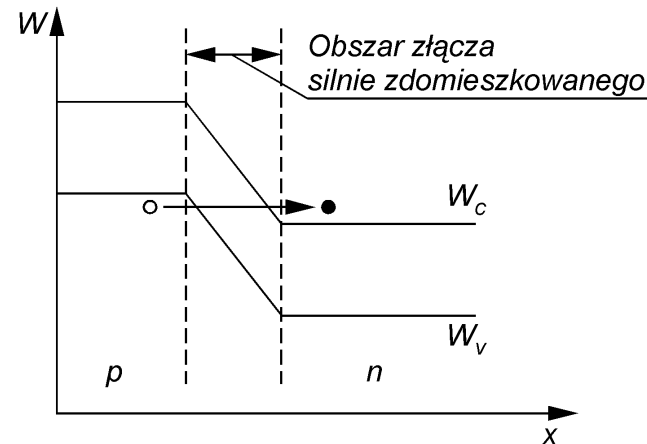


*Charakterystyka złącza p-n uwzględnieniem zakresu przebicia*

Wyróżnia się dwie podstawowe przyczyny gwałtownego wzrostu prądu:  
przebiecie Zenera i przebiecie lawinowe

Przebiecie Zenera (zjawisko Zenera, zjawisko tunelowe) występuje w złączach o cienkiej warstwie zaporowej.

Przy polaryzacji złącza w kierunku zaporowym natężenie pola w cienkiej warstwie zaporowej osiąga duże wartości.



*Ilustracja przebiecia Zenera modelu pasmowym złącza*

Tunelowe przejście elektronów z pasma walencyjnego przez barierę potencjału (pasma zabronione) do pasma przewodnictwa bez konieczności pobierania energii.

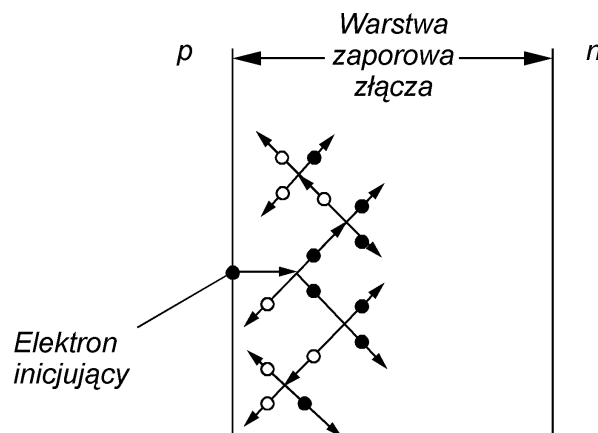
Występuje w diodach o napięciu wejścia w zakres przebiecia (napięcia zaporowego) mniejszego od 5 V

## Zjawisko lawinowej jonizacji zderzeniowej

Swobodny nośnik poruszając się ruchem przyspieszonym w polu elektrycznym może uzyskać energię kinetyczną wystarczającą do jonizacji zderzeniowej.

Rozrywa on wiązanie atomów w sieci powstaje para nośników elektron-dziura.

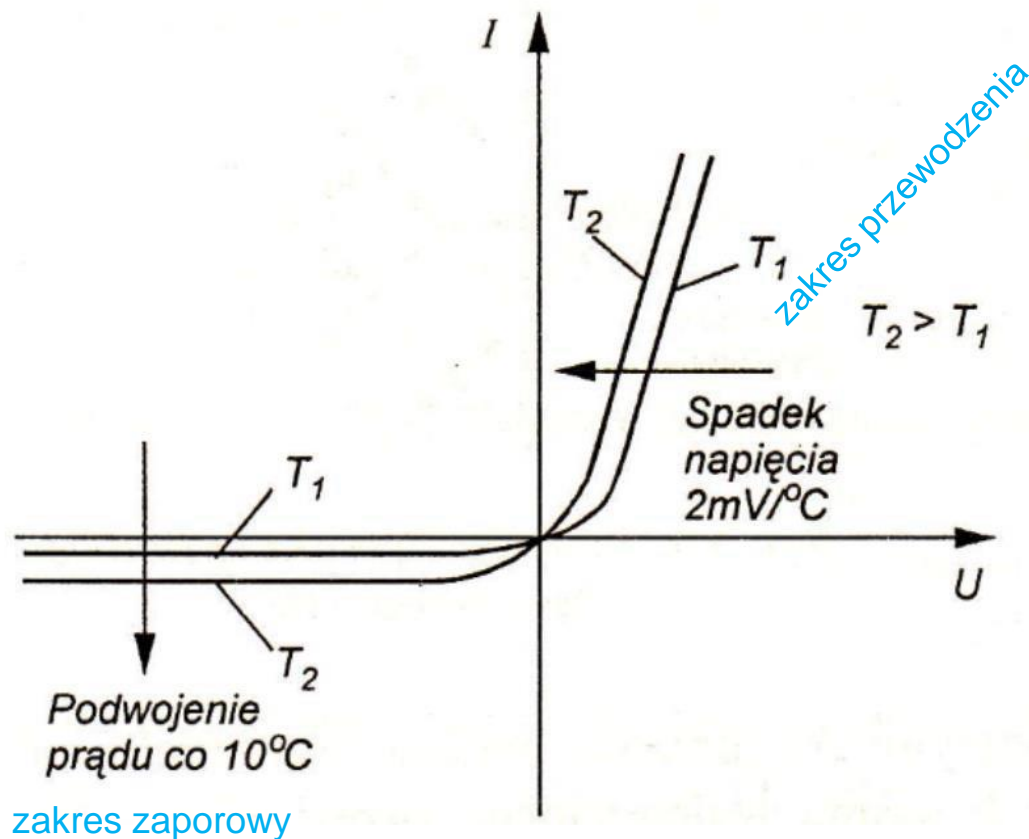
Te z kolei uzyskując wystarczającą energię kinetyczną kontynuują proces jonizacji.



*Ilustracja zjawiska powielania lawinowego*

Występuje w diodach o napięciu wejścia w zakres przebicia (napięcia zaporowego) większego od 7 V

## Wpływ temperatury na charakterystykę napięciowo-prądową złącza p-n



W zakresie przewodzenia w miarę wzrostu temperatury napięcie na złączu maleje w tempie ok.  $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

W zakresie zaporowym ze wzrostem temperatury rośnie wartość prądu nasycenia złącza.

Prąd zwiększa się dwukrotnie przy wzroście temperatury o ok.  $10^\circ\text{C}$ .

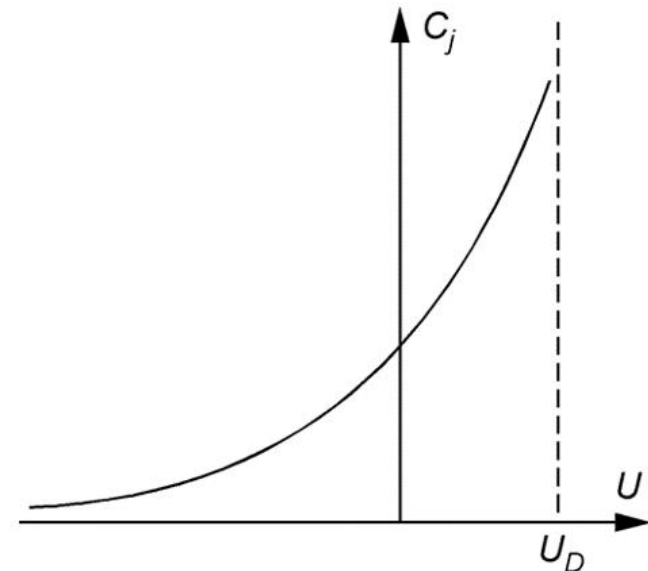
## Zmiany szerokości warstwy zaporowej przy zmianie napięcia polaryzacji złącza.

Szerokość warstwy zaporowej  $l_d \approx \sqrt{|U_D - U|}$

*przy polaryzacji w kierunku zaporowym warstwa zaporowa rozszerza się*

W złączu ładunek jest magazynowany w warstwie zaporowej tworząc pojemność złączową.

Jest to pojemność jakby kondensatora utworzonego z dipolowych warstw ładunków oddalonych od siebie na odległość równą szerokości warstwy zaporowej.



*Zależność pojemności złącza  $C_j$  od napięcia*

# Złącze p-n

K O N I E C