

PRAŁD ELEKTRYCZNY W RÓŻNYCH OŚRODKACH

Półprzewodniki



PRĄD ELEKTRYCZNY W RÓŻNYCH OŚRODKACH

Półprzewodniki



PÓŁPRZEWODNIKI

Półprzewodniki obejmują obszerną grupę materiałów, które ze względu na przewodnictwo elektryczne zajmują pośrednie miejsce pomiędzy metalami a izolatorami.

Półprzewodniki stanowią oddzielną klasę substancji, gdyż ich przewodnictwo ma szereg charakterystycznych cech.

W dostatecznie niskich temperaturach półprzewodnik staje się izolatorem.

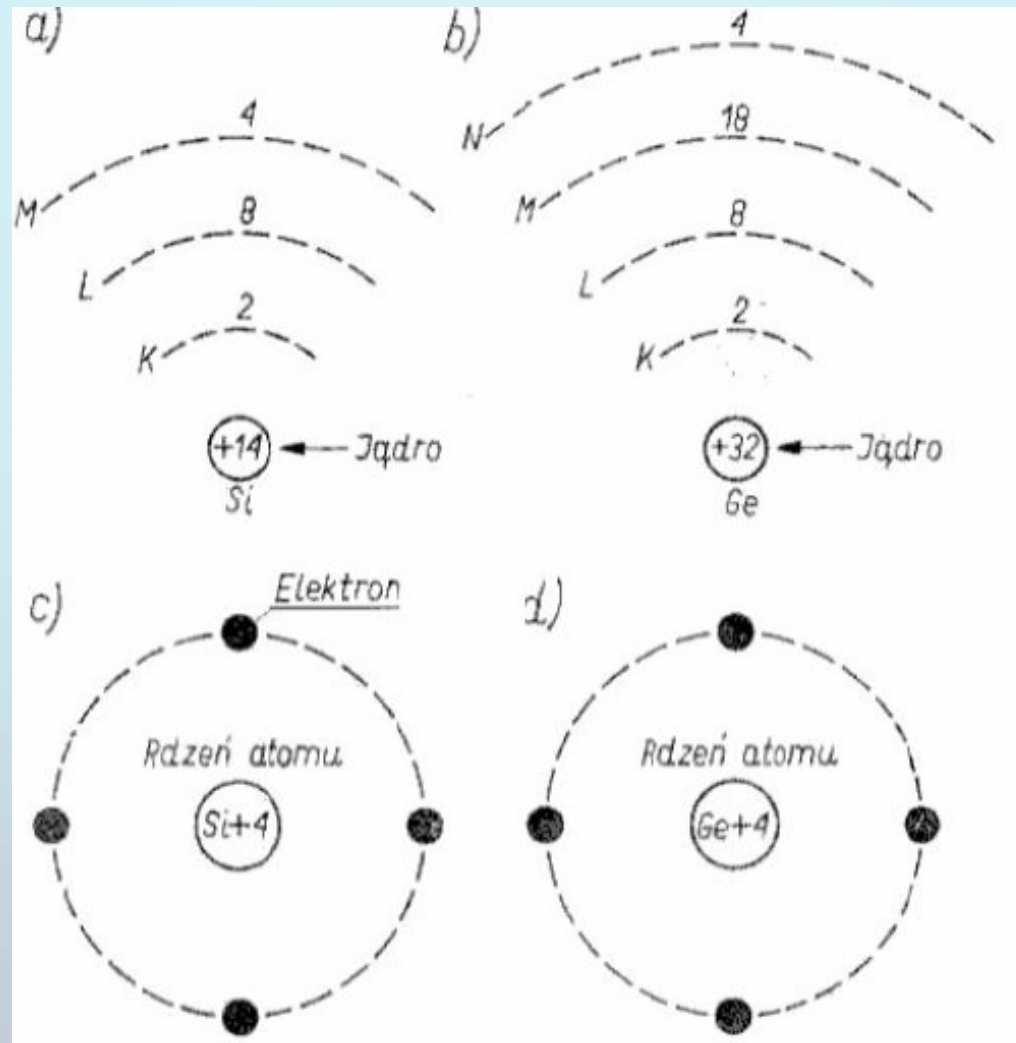
Drugą ważną cechą półprzewodników jest zmiana przewodnictwa elektrycznego w wyniku niewielkich zmian ich składu.

PÓŁPRZEWODNIKI

Co to jest półprzewodnik ? Klasyfikacja materiałów



PÓŁPRZEWODNIKI

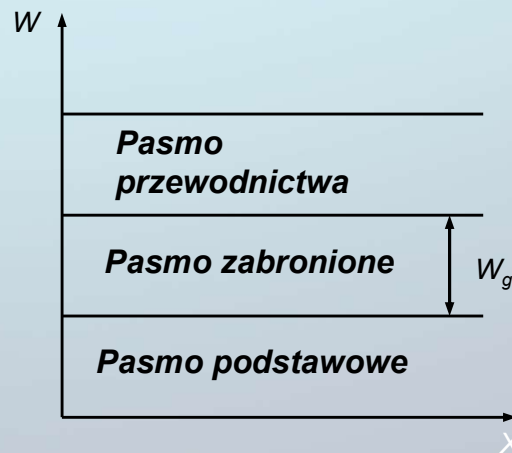


PÓŁPRZEWODNIKI

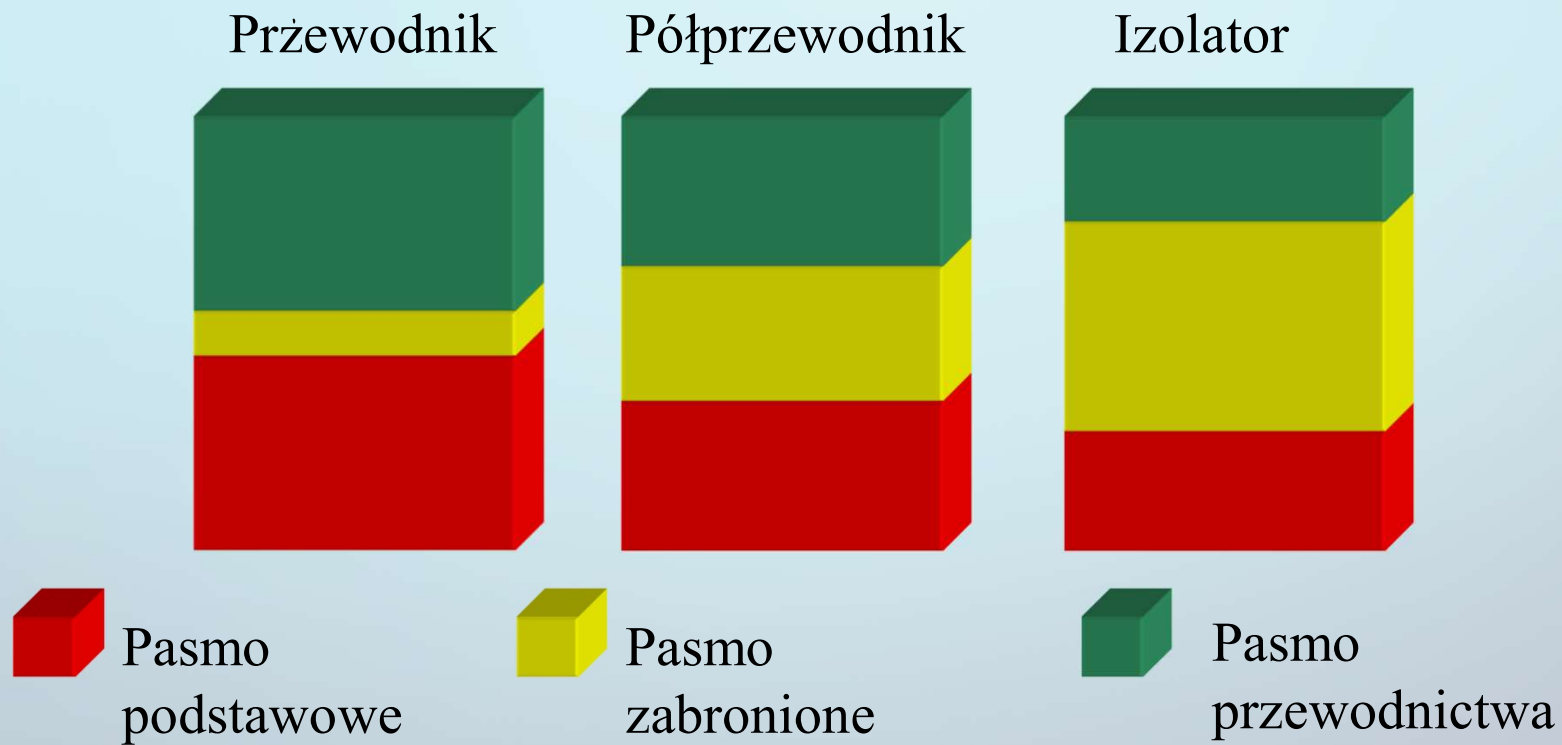
	13	14	15	16	17
	⁵ B Bor 10,811 2,0 III	⁶ C Węgiel 12,011 2,5 II,IV	⁷ N Azot 14,007 3,0 II,III,IV,V	⁸ O Tlen 15,999 3,5 II	⁹ F Fluor 18,998 4,0 I
12	¹³ Al Glin 26,982 1,5 III	¹⁴ Si Krzem 28,085 1,8 IV	¹⁵ P Fosfor 30,974 2,1 III,V	¹⁶ S Siarka 32,065 2,5 II,IV,VI	¹⁷ Cl Chlor 35,453 3,0 I,III,V,VII
³⁰ Zn Cynk 65,38 1,6 II	³¹ Ga Gal 69,723 1,6 III	³² Ge German 72,63 1,8 II,IV	³³ As Arsen 74,922 2,0 III,V	³⁴ Se Selen 78,96 2,4 II,IV,VI	³⁵ Br Brom 79,904 2,8 I,III,V,VII
⁴⁸ Cd Kadm 112,411 1,7 II	⁴⁹ In Ind 114,818 1,7 I,III	⁵⁰ Sn Cyna 118,710 1,8 II,IV	⁵¹ Sb Antymon 121,760 1,9 III,V	⁵² Te Tellur 127,60 2,1 II,IV,VI	⁵³ I Jod 126,904 2,5 I,III,V,VII
¹¹⁵ Bi Bismut 208,980 2,1 III,V	¹¹⁶ Pb Ołów 207,2 2,2 II,IV	¹¹⁷ Tl Tal 204,383 2,2 I,III	¹¹⁸ Hg Rtęć 200,59 2,2 II,IV	¹¹⁹ Re Reni 186,207 2,2 II,IV,VI	¹²⁰ At Astat 210 2,2 I,III,V,VII

PÓŁPRZEWODNIKI MODEL PASMOWY

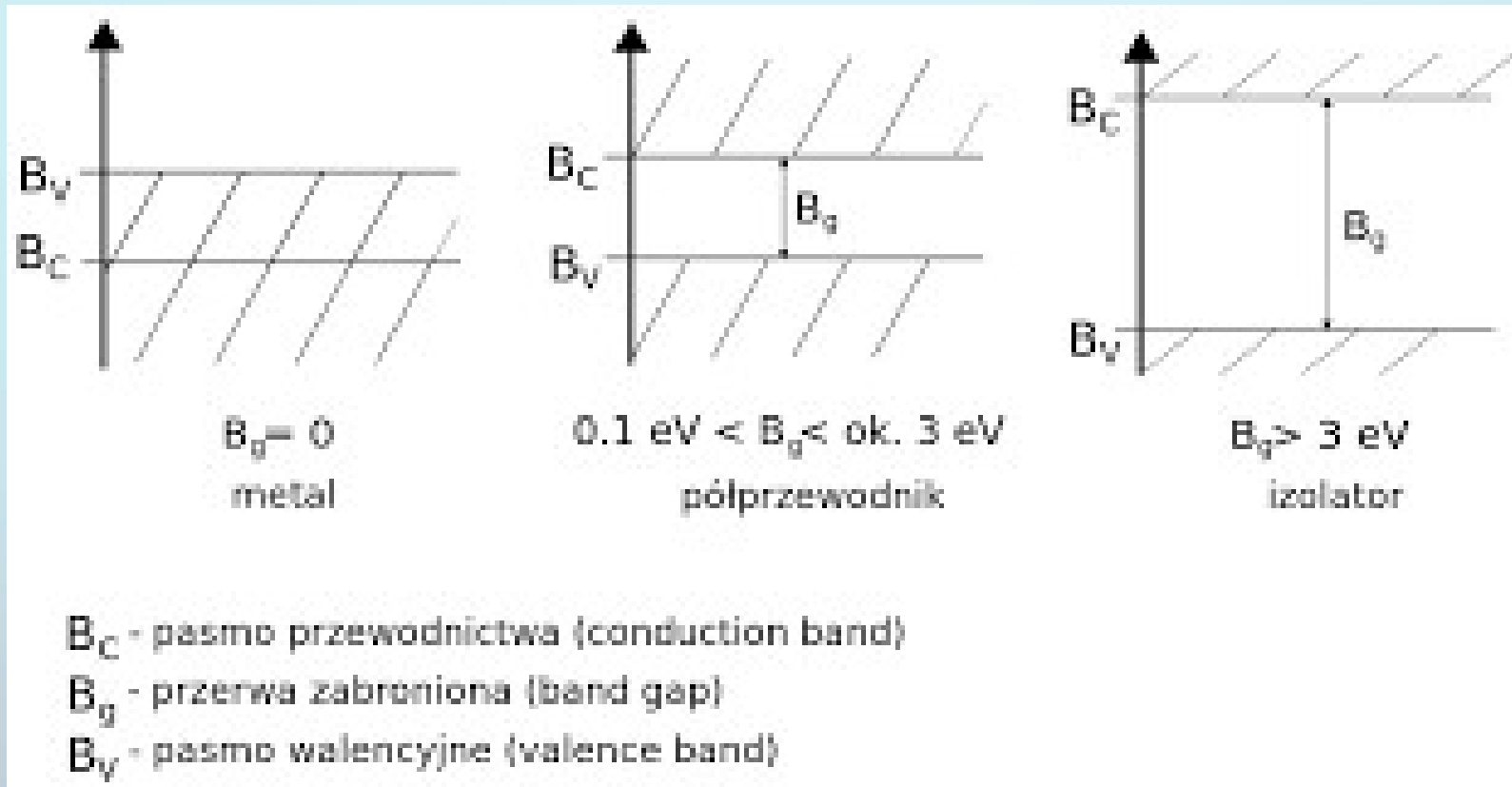
Teoria pasmowa – jest to teoria kwantowa opisująca stany energetyczne elektronów w kryształach. W odróżnieniu od atomów, w których dozwolone stany energetyczne elektronów stanowią zbiór poziomów dyskretnych, dozwolone elektronowe stany energetyczne w kryształach mają charakter pasm o szerokości kilku elektronowoltów.



PÓŁPRZEWODNIKI MODEL PASMOWY



PÓŁPRZEWODNIKI MODEL PASMOWY



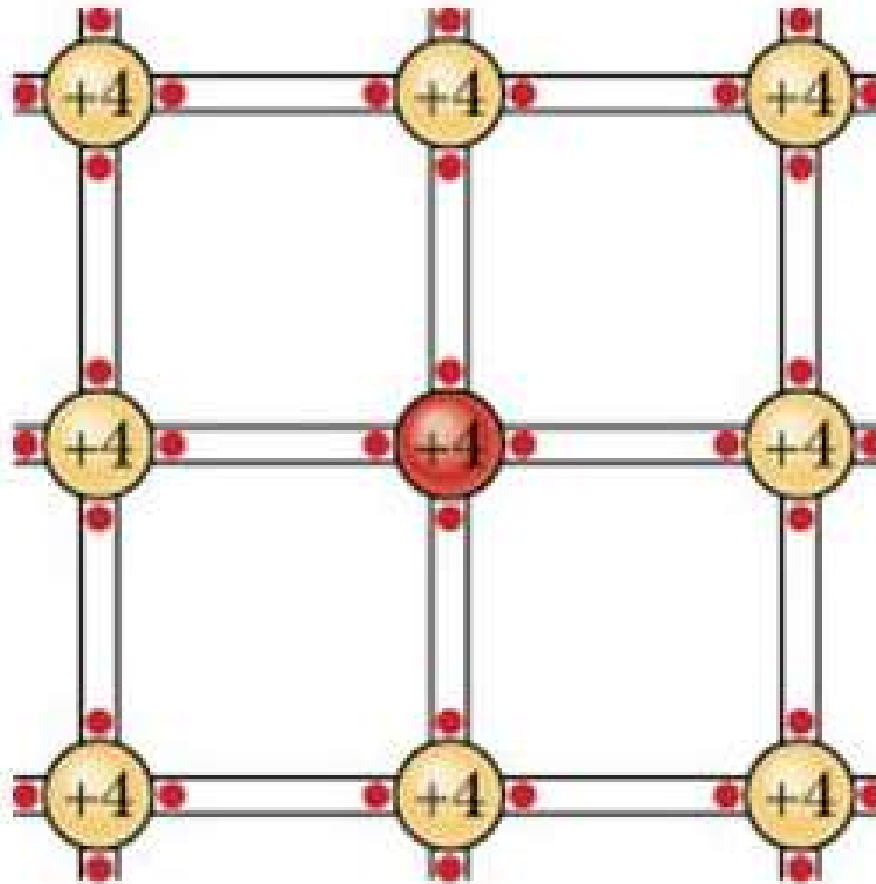
PÓŁPRZEWODNIKI MODEL PASMOWY

Monokryształ



PÓŁPRZEWODNIKI MODEL PASMOWY

Monokryształ

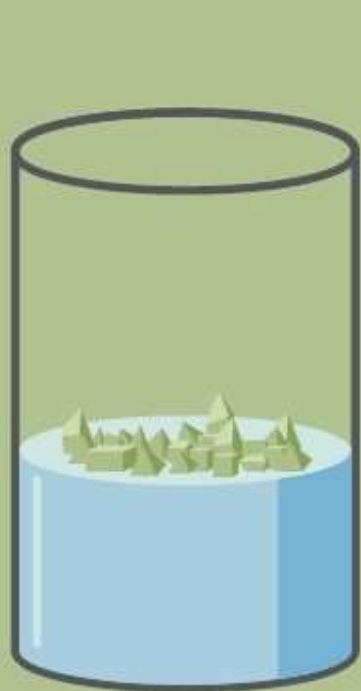


PÓŁPRZEWODNIKI MODEL PASMOWY

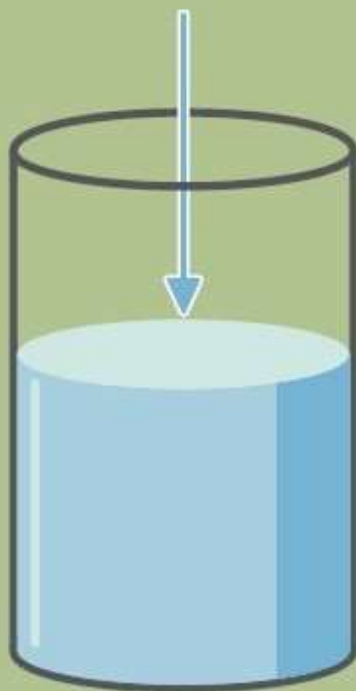
Monokryształ



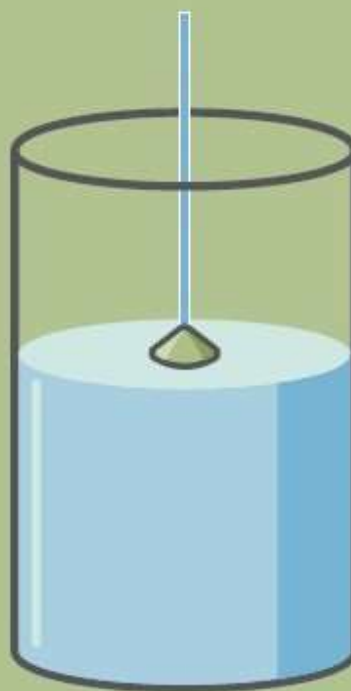
PÓŁPRZEWODNIKI MODEL PASMOWY



ROZTAPIANIE
POLIKRYSTAŁÓW
KRZEMU,
DOMIESZKOWANIE



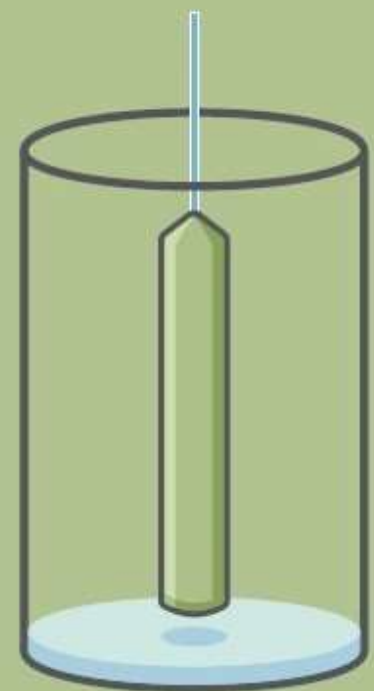
WPROWADZANIE
ZARODKA KRYSTAŁU



ROZPOCZĘCIE
PROCESU WZROSTU
KRYSTAŁU



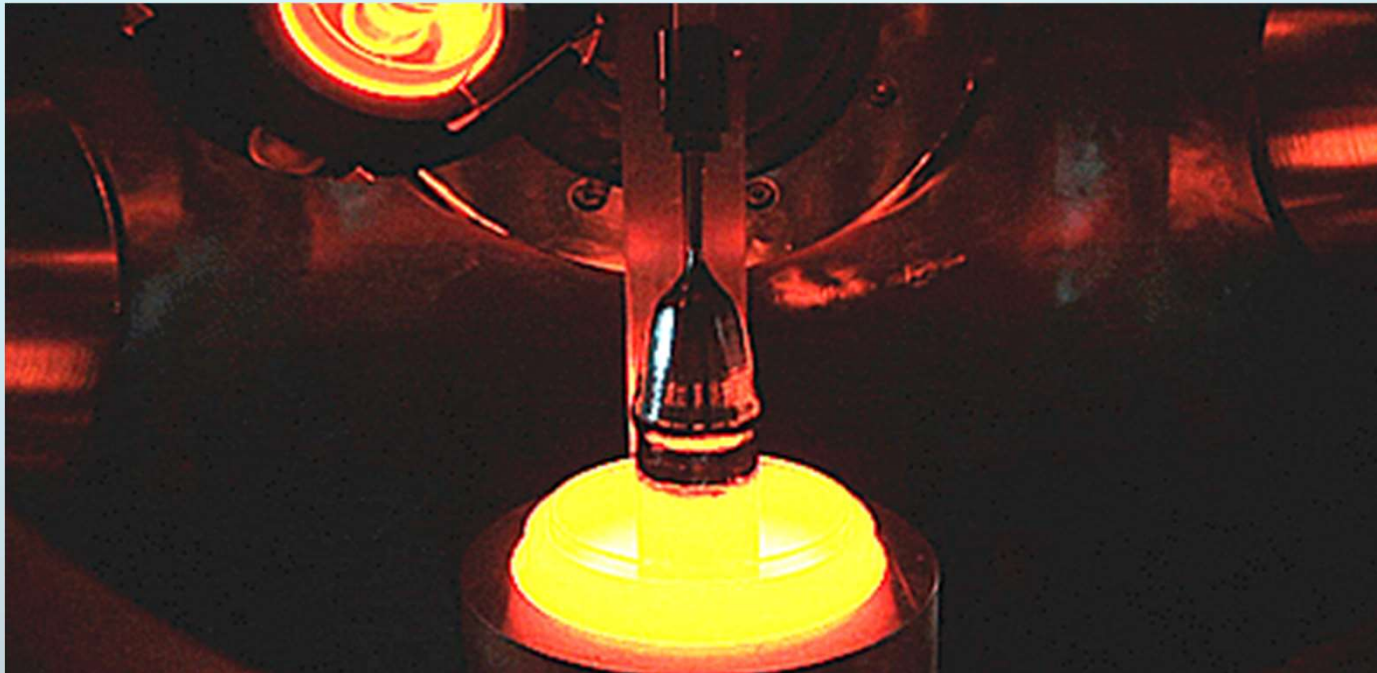
WYCIĄGANIE KRYSTAŁU
Z FAZY CIEKŁEJ,
OBRACANIE PRĘTA



UFORMOWANY
MONOKRYSTAŁ

PÓŁPRZEWODNIKI MODEL PASMOWY

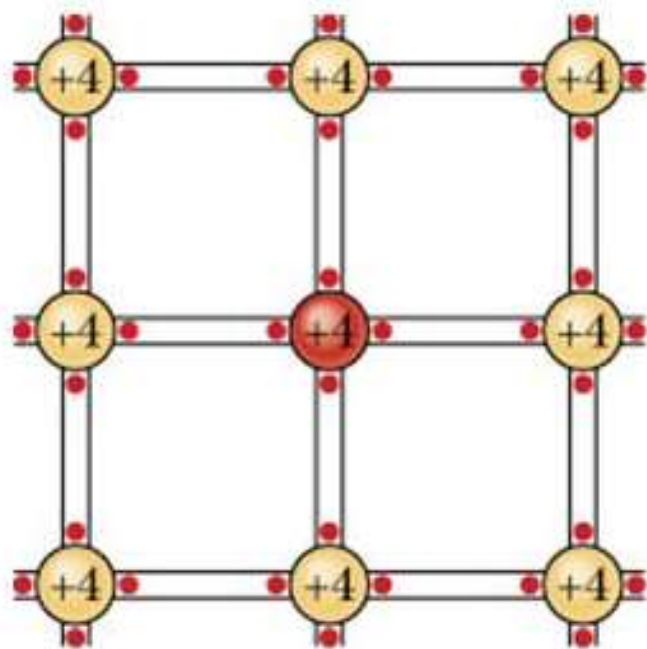
Monokryształ



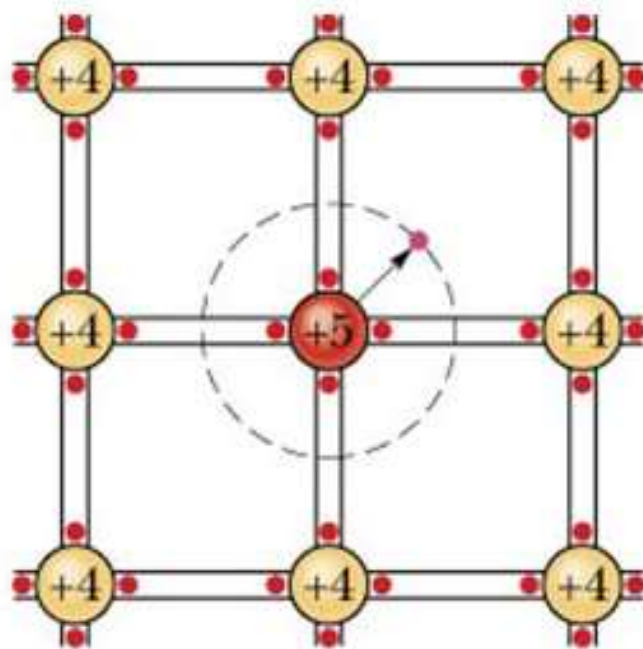
PÓŁPRZEWODNIKI

	13	14	15	16	17
	⁵ B Bor 10,811 2,0 III	⁶ C Węgiel 12,011 2,5 II,IV	⁷ N Azot 14,007 3,0 II,III,IV,V	⁸ O Tlen 15,999 3,5 II	⁹ F Fluor 18,998 4,0 I
12	¹³ Al Glin 26,982 1,5 III	¹⁴ Si Krzem 28,085 1,8 IV	¹⁵ P Fosfor 30,974 2,1 III,V	¹⁶ S Siarka 32,065 2,5 II,IV,VI	¹⁷ Cl Chlor 35,453 3,0 I,III,V,VII
³⁰ Zn Cynk 65,38 1,6 II	³¹ Ga Gal 69,723 1,6 III	³² Ge German 72,63 1,8 II,IV	³³ As Arsen 74,922 2,0 III,V	³⁴ Se Selen 78,96 2,4 II,IV,VI	³⁵ Br Brom 79,904 2,8 I,III,V,VII
⁴⁸ Cd Kadm 112,411 1,7 II	⁴⁹ In Ind 114,818 1,7 I,III	⁵⁰ Sn Cyna 118,710 1,8 II,IV	⁵¹ Sb Antymon 121,760 1,9 III,V	⁵² Te Tellur 127,60 2,1 II,IV,VI	⁵³ I Jod 126,904 2,5 I,III,V,VII
¹¹⁵ Bi Bismut 208,980 2,1 III,V	¹¹⁶ Pb Ołów 207,2 2,1 II,IV	¹¹⁷ Tl Tali 204,38 2,1 III	¹¹⁸ Hg Rtęć 200,59 2,0 II,IV	¹¹⁹ Re Reni 186,21 2,2 II,IV,VI	¹²⁰ At Astat 210 2,2 I,III,V,VII

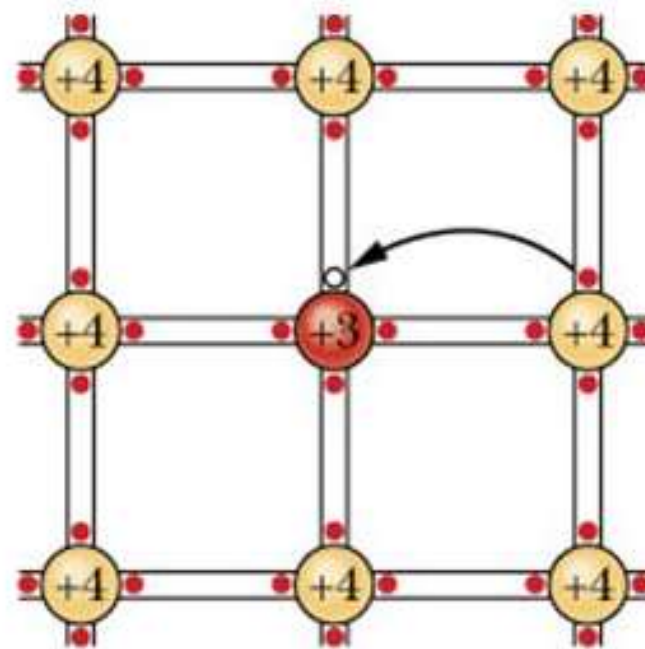
PÓŁPRZEWODNIKI



(a)

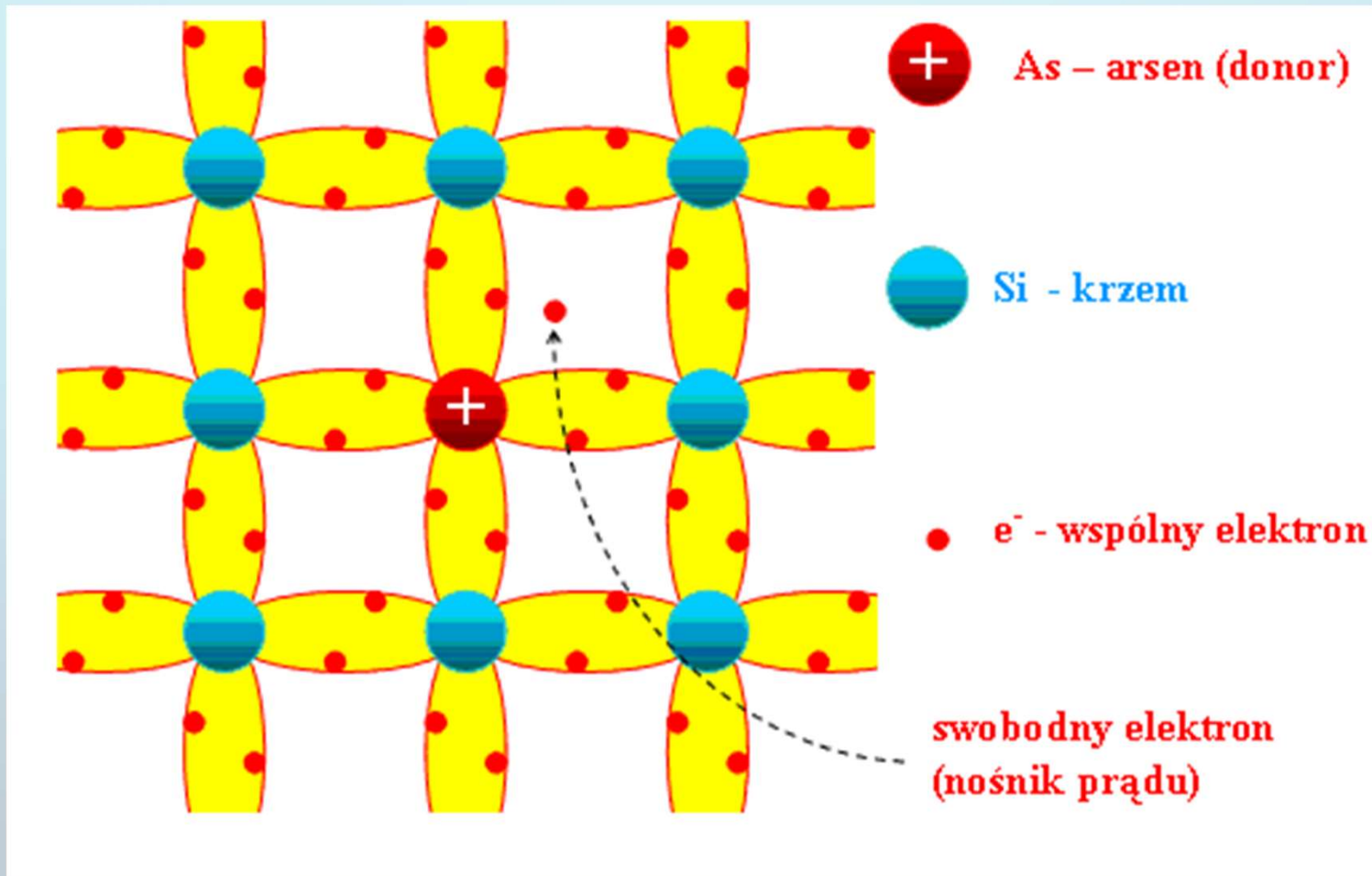


(b)

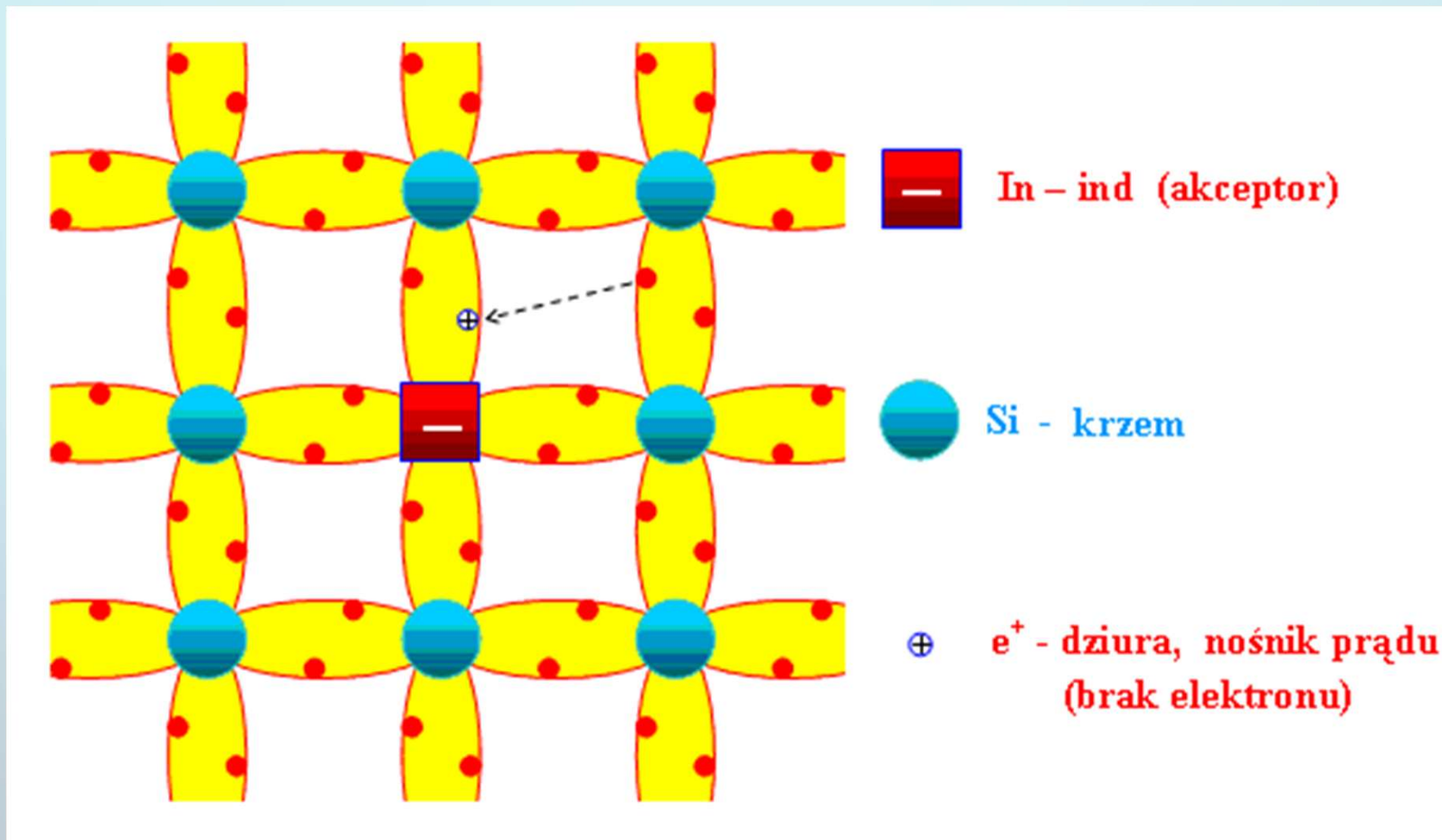


(c)

PÓŁPRZEWODNIK TYPU N

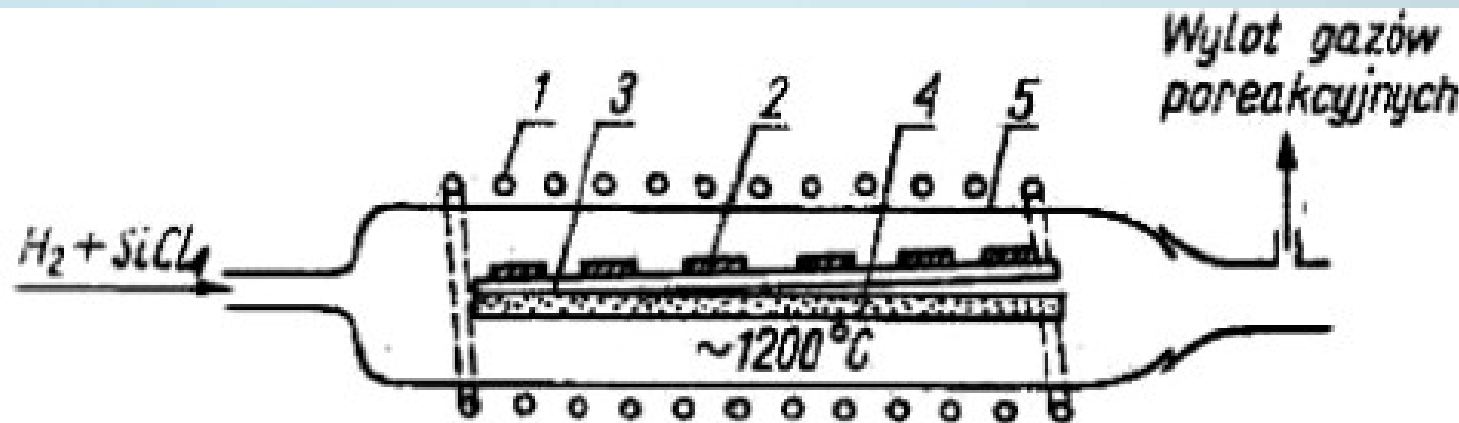
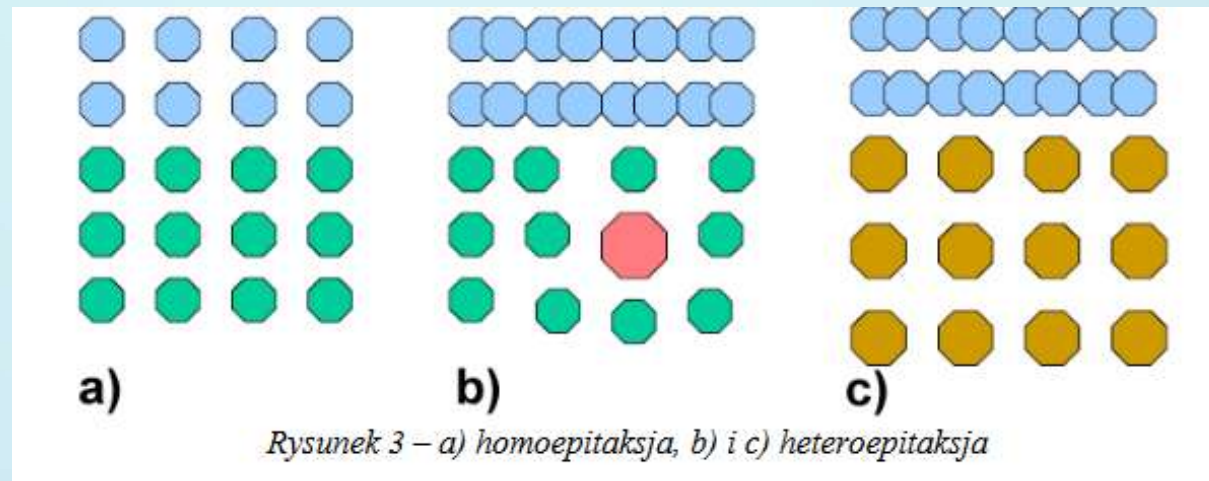


PÓŁPRZEWODNIK TYPU P



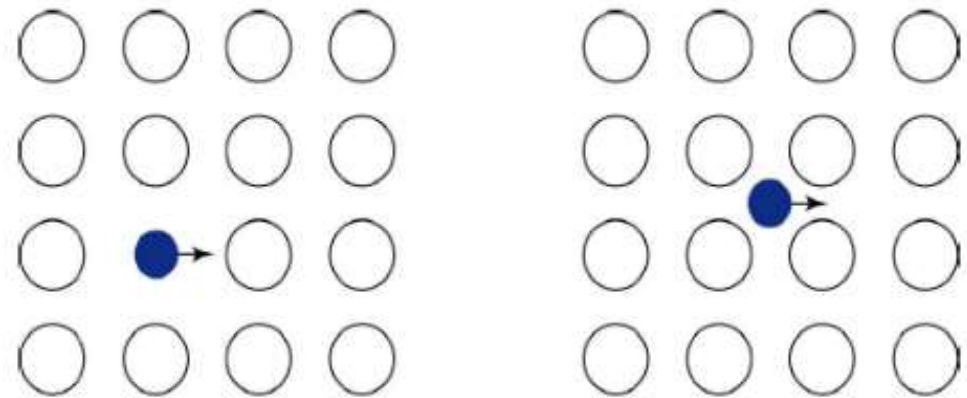
PÓŁPRZEWODNIK METODY UZYSKIWANIA

Epitaksja

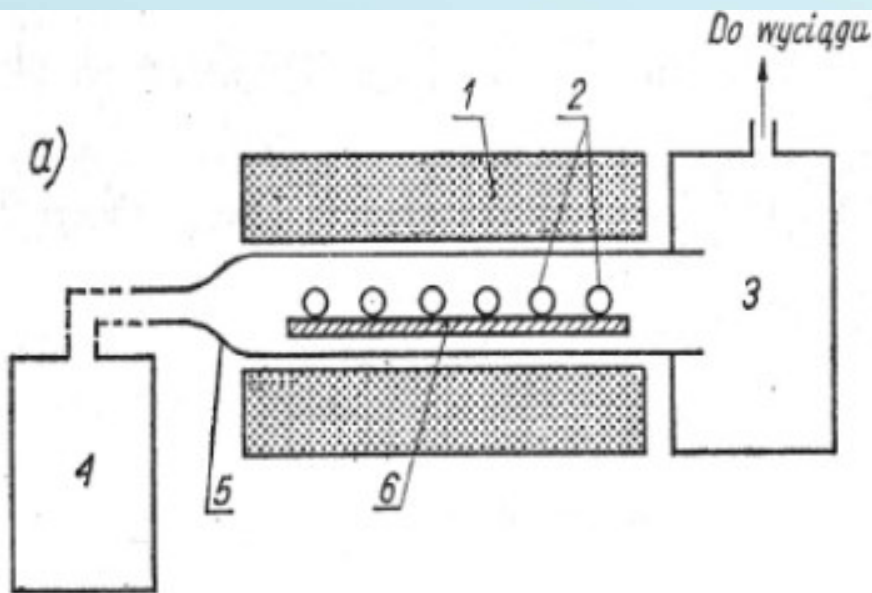


PÓŁPRZEWODNIK METODY UZYSKIWANIA

Dyfuzja

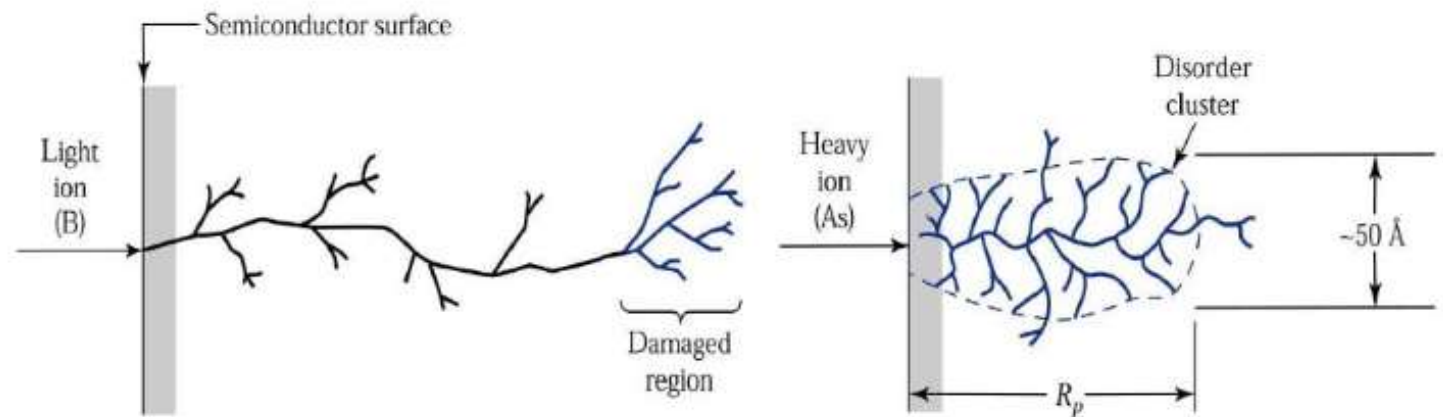
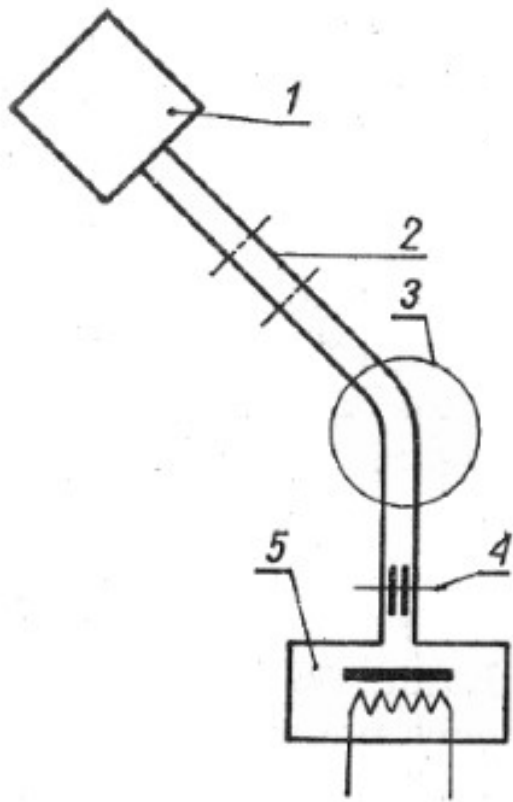


Rysunek 6 – dyfuzja, ruch atomów domieszek w sieci krystalicznej półprzewodnika



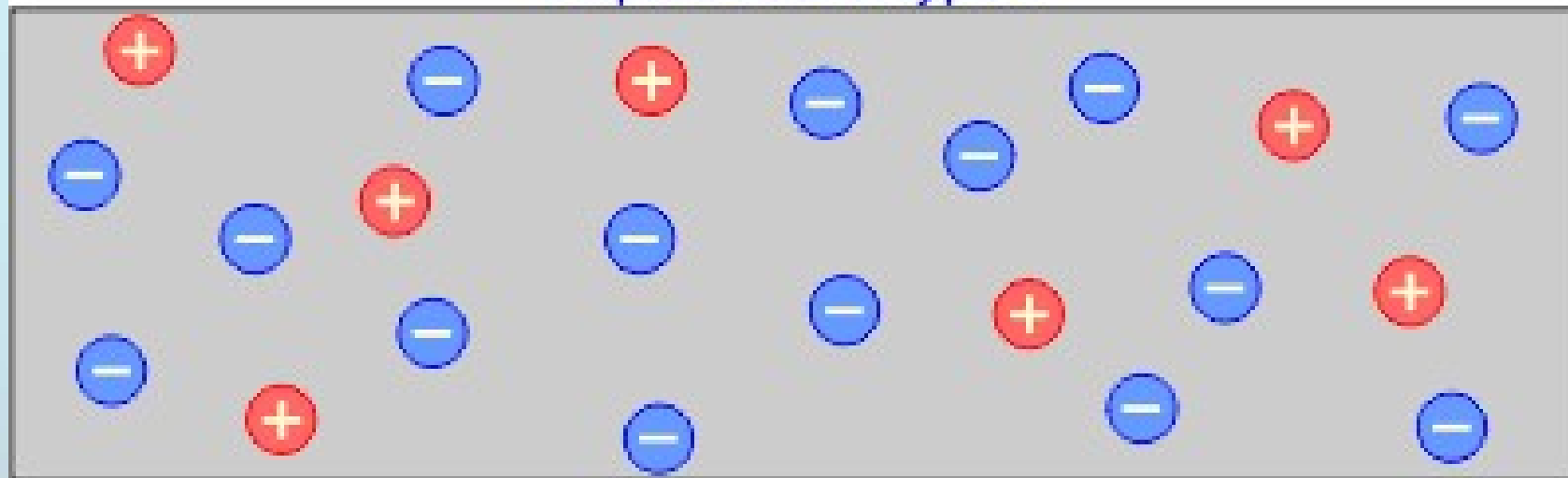
PÓŁPRZEWODNIK METODY UZYSKIWANIA

Implantacja jonów



PÓŁPRZEWODNIK TYPU N

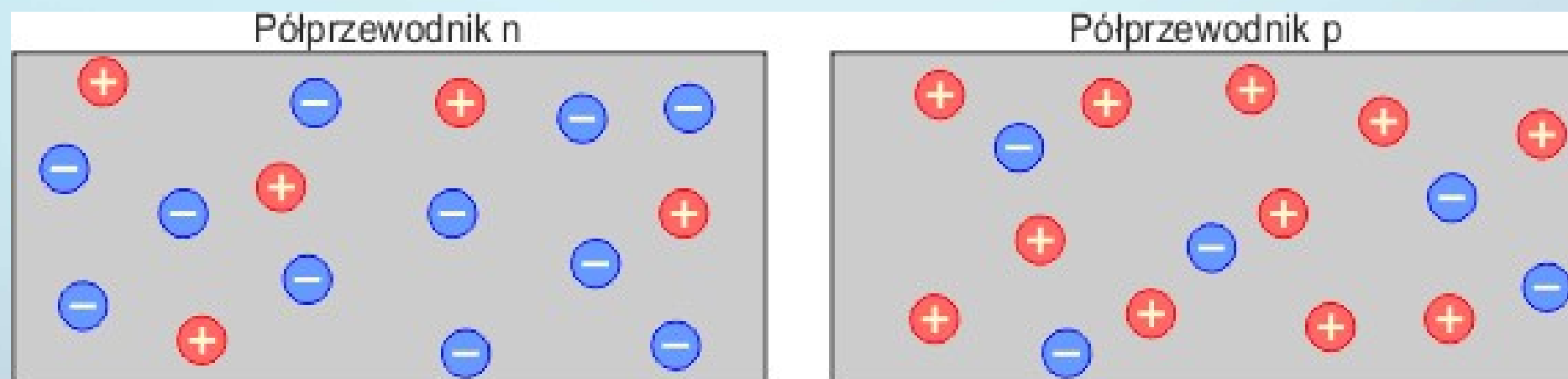
Półprzewodnik typu n



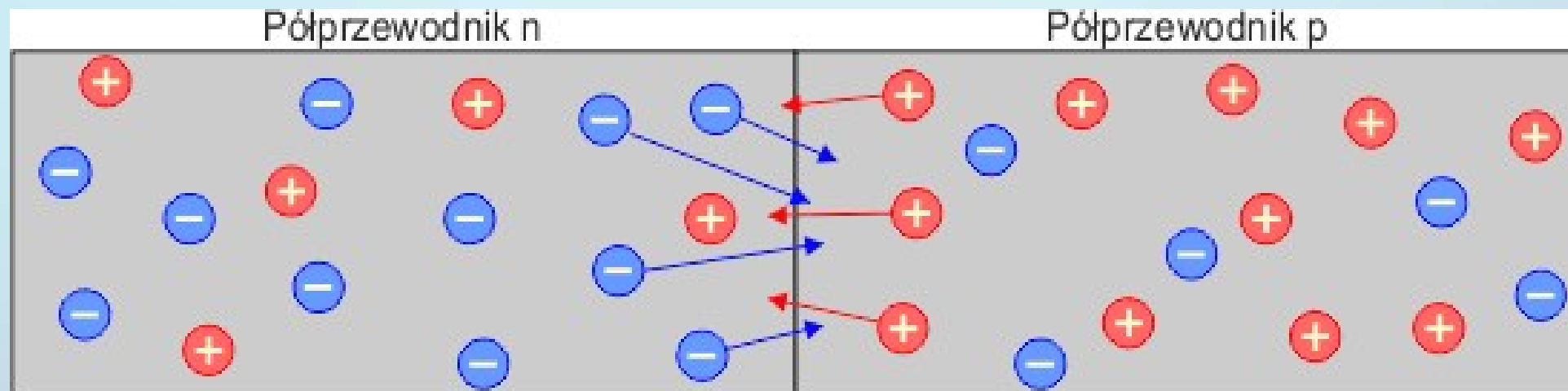
PÓŁPRZEWODNIK TYPU P



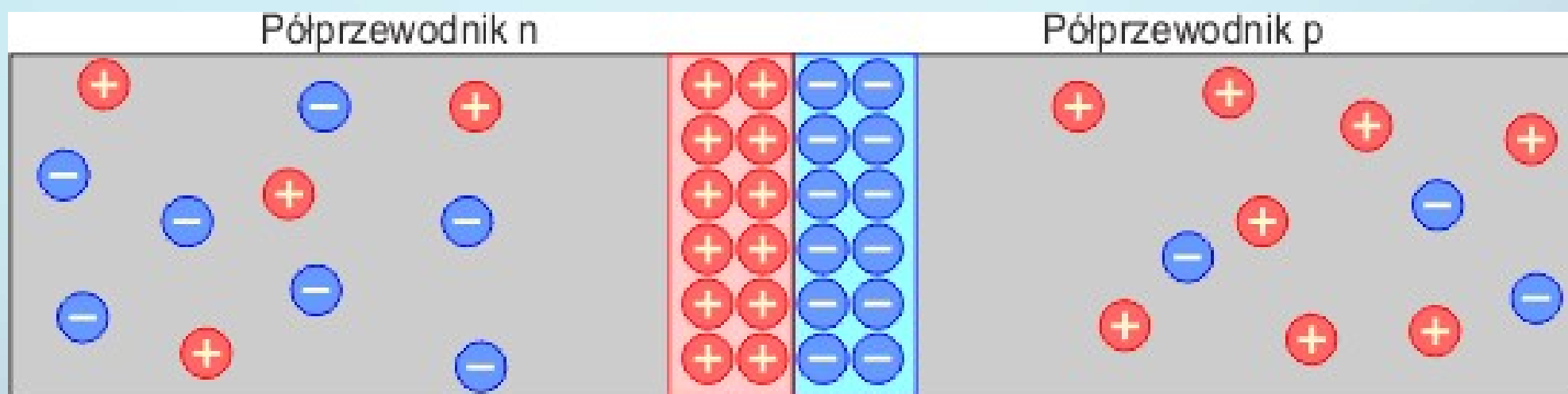
ZŁĄCZE N-P



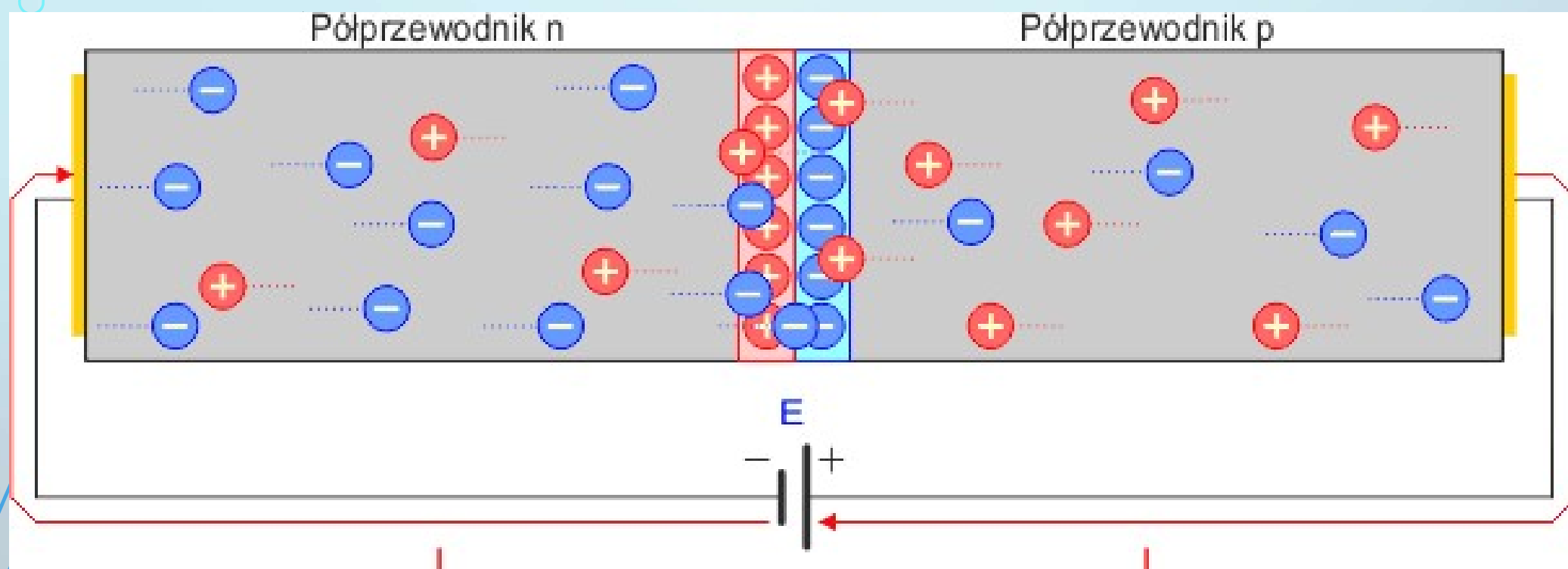
ZŁĄCZE N-P



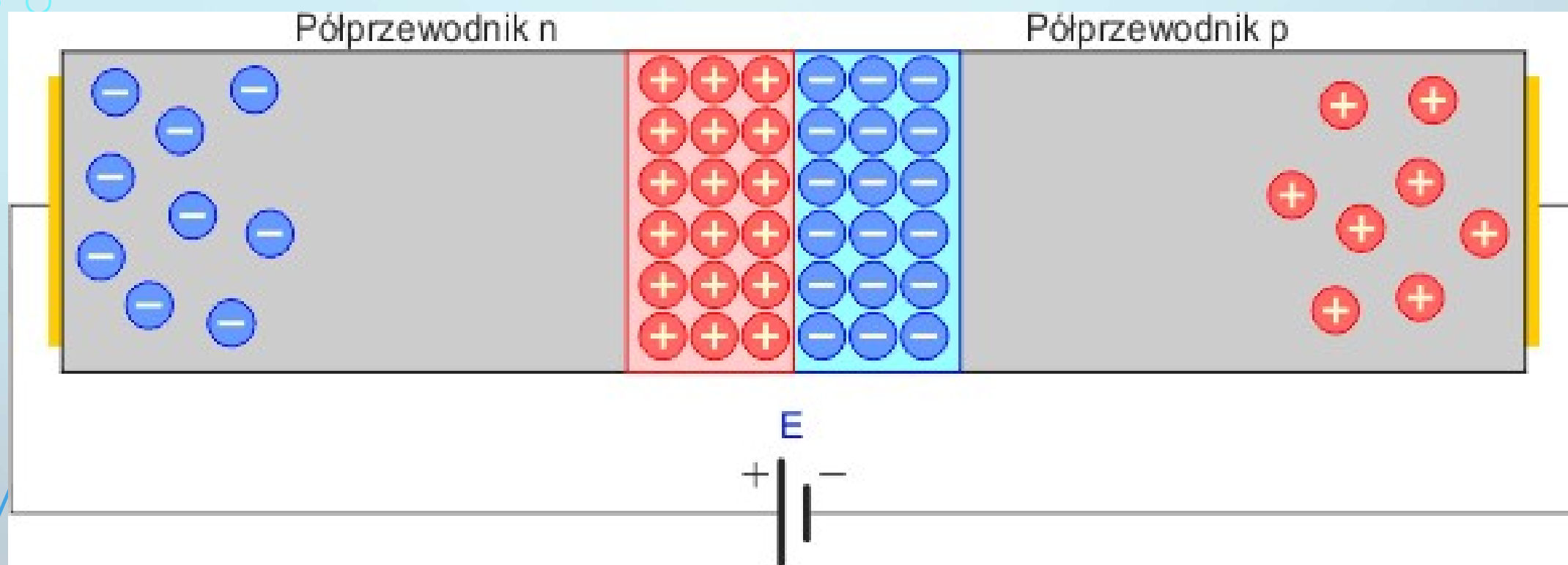
ZŁĄCZE N-P



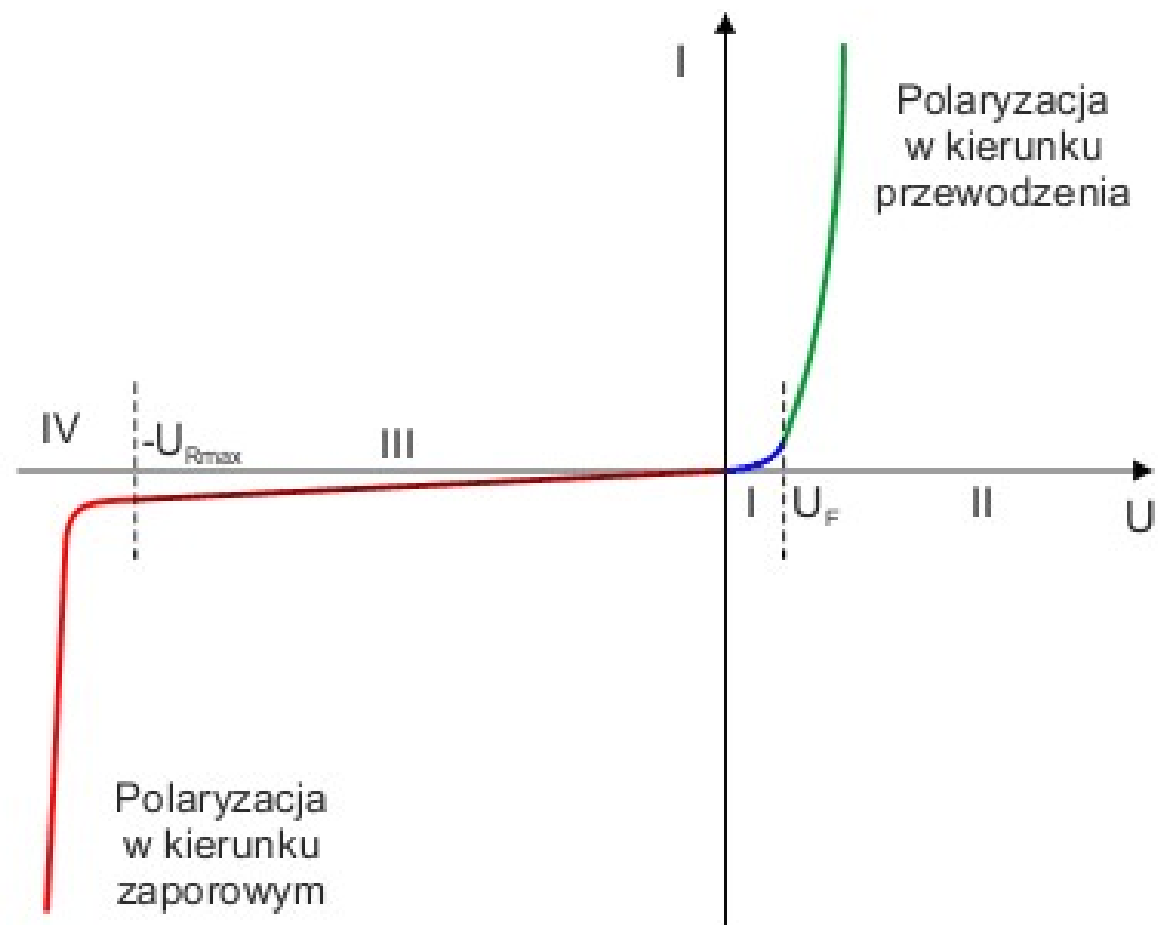
ZŁĄCZE N-P



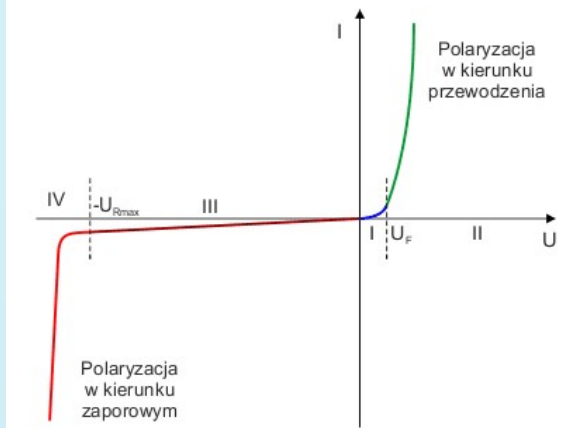
ZŁĄCZE N-P



ZŁĄCZE N-P



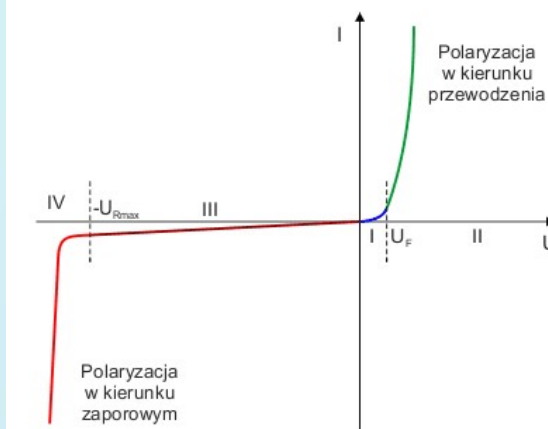
ZŁĄCZE N-P



Część I (**niebieska**) – jest to obszar, w którym napięcie zewnętrzne jest niższe od napięcia bariery potencjału U_F . Płynie tylko mały prąd dyfuzyjny.

Część II (**zielona**) – po przekroczeniu napięcia U_F złącze pn zaczyna przewodzić prąd, ponieważ nośniki większościowe pokonują barierę potencjału.

ZŁĄCZE N-P



Część III (**brązowa**) – złącze jest spolaryzowane zaporowo. Płynie tylko mały prąd wsteczny.

Część IV (**czerwona**) – po przekroczeniu maksymalnego napięcia wstecznego U_{Rmax} następuje lawinowa generacja nośników ładunków w półprzewodniku i w efekcie przebicie złącza pn. Jeśli prąd wsteczny nie przekroczy wartości maksymalnej dla złącza, to złącze nie ulegnie zniszczeniu.

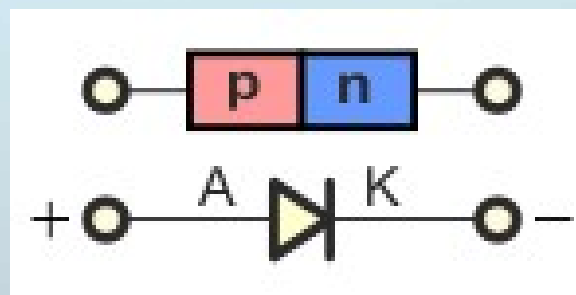
DIODA PÓŁPRZEWODNIKOWA



ZŁĄCZE N-P

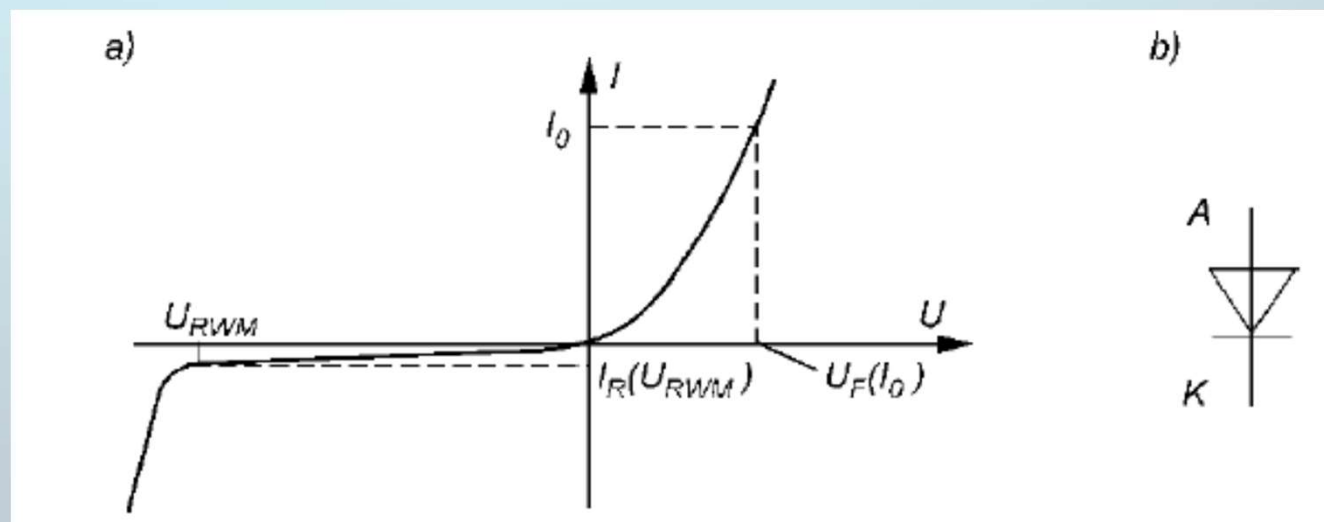
Dioda półprzewodnikowa przewodzi prąd elektryczny, gdy do jej półprzewodnika p przyłożymy biegun dodatni a do półprzewodnika n biegun ujemny napięcia zasilającego i napięcie to jest większe od napięcia bariery potencjału .

Na schematach elektrycznych diodę przedstawia się za pomocą symbolu:



DIODY PROSTOWNICZE

Diodami prostowniczymi nazywamy diody przeznaczone do prostowania prądu przemiennego. Zjawisko prostowania polega na przepuszczaniu przez diodę prądu w jednym kierunku, wtedy gdy chwilowa polaryzacja diody jest w kierunku przewodzenia, i nieprzepuszczaniu prądu, gdy chwilowa polaryzacja diody jest zaporowa.



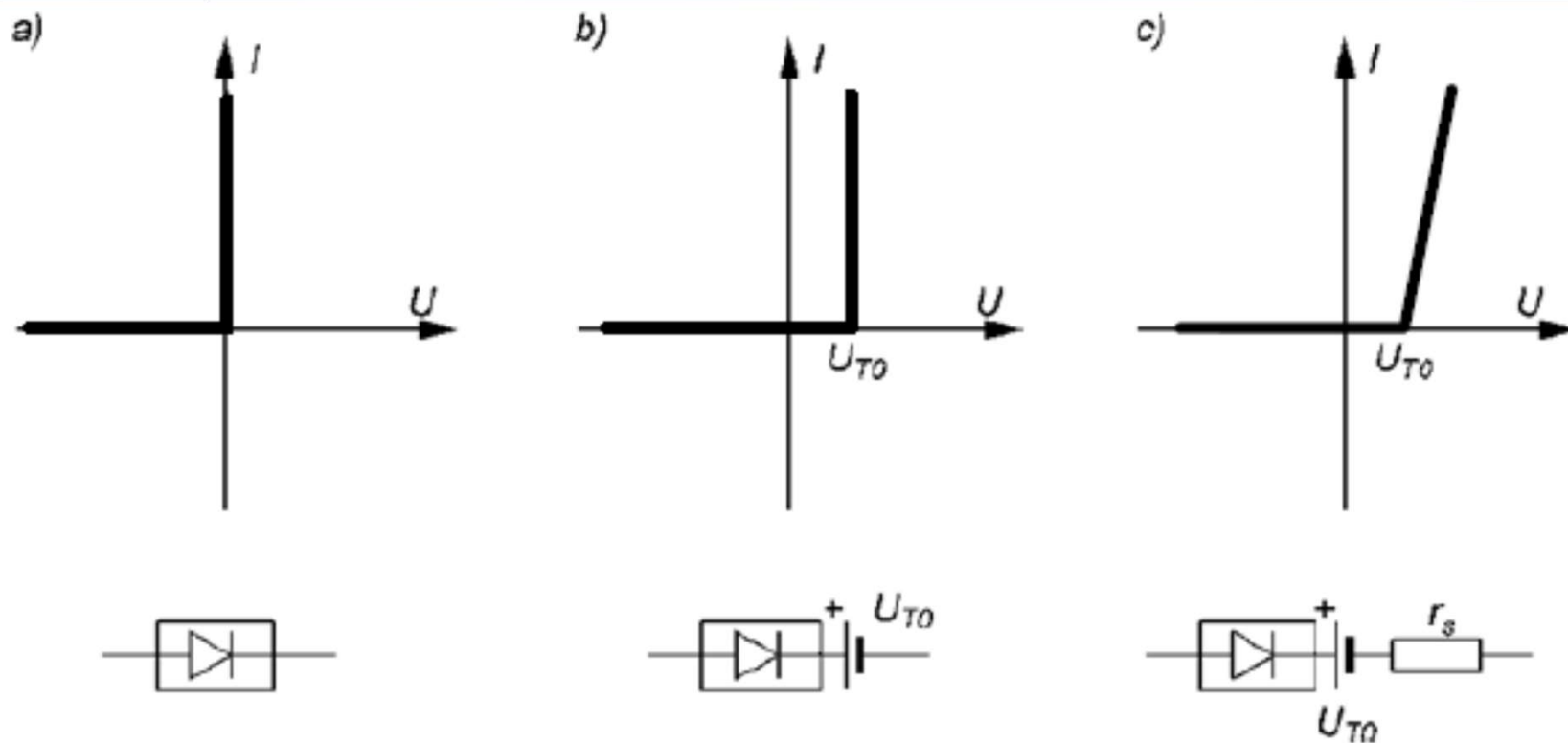
DIODY PROSTOWNICZE

Diody prostownicze pracują od małej częstotliwości, tj. od 50 Hz (energetyczna sieć przemysłowa) do kilkudziesięciu kHz (przetwornice tranzystorowe). Charakterystykę prądowo-napięciową diody z zaznaczeniem punktów charakterystycznych przedstawiono na rysunku.

Parametry diod są określane dla temperatury otoczenia $T_a = 25^\circ\text{C}$. Jednak w trakcie użytkowania dioda prostownicza grzeje się. Osiągana temperatura pracy zależy od wielkości jej obciążenia prądowego i od zastosowanego systemu chłodzenia.

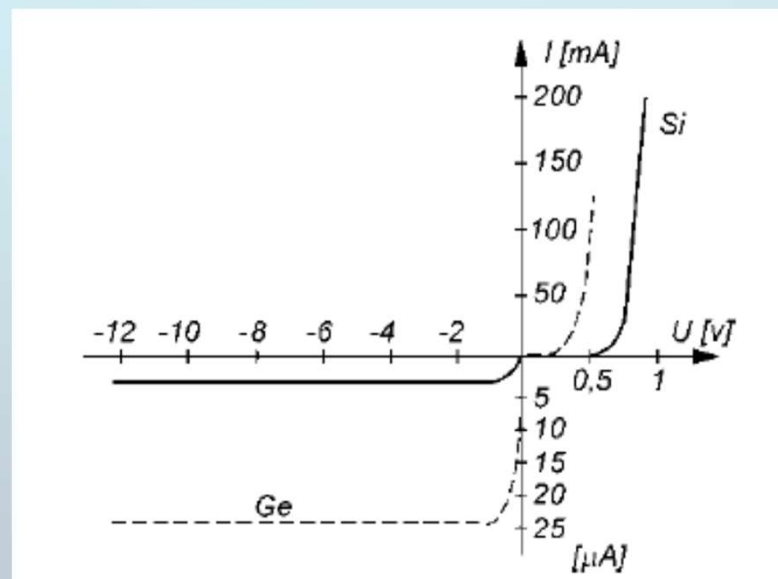
DIODY PROSTOWNICZE

Model odcinkowo liniowy



DIODY UNIWERSALNE

Model Diody uniwersalne są to diody germanowe i krzemowe charakteryzujące się niewielkim zakresem napięć (do 100 V) i prądów (do 100 mA) oraz częstotliwością pracy ograniczoną do kilkudziesięciu megaherców. Przeznaczone są głównie do stosowania w układach detekcyjnych i prostowniczych małej mocy.



DIODY UNIWERSALNE

Diody germanowe mają niższe napięcie progowe (0,2 - 0,3 V) niż diody krzemowe (0,6 - 0,7 V). Dlatego w zakresie polaryzacji w kierunku przewodzenia ich charakterystyka jest bardziej zbliżona do charakterystyki diody idealnej. Natomiast przy polaryzacji w kierunku zaporowym dioda krzemowa ma mniejszy prąd nasycenia, przez co jest lepszym przybliżeniem diody idealnej.

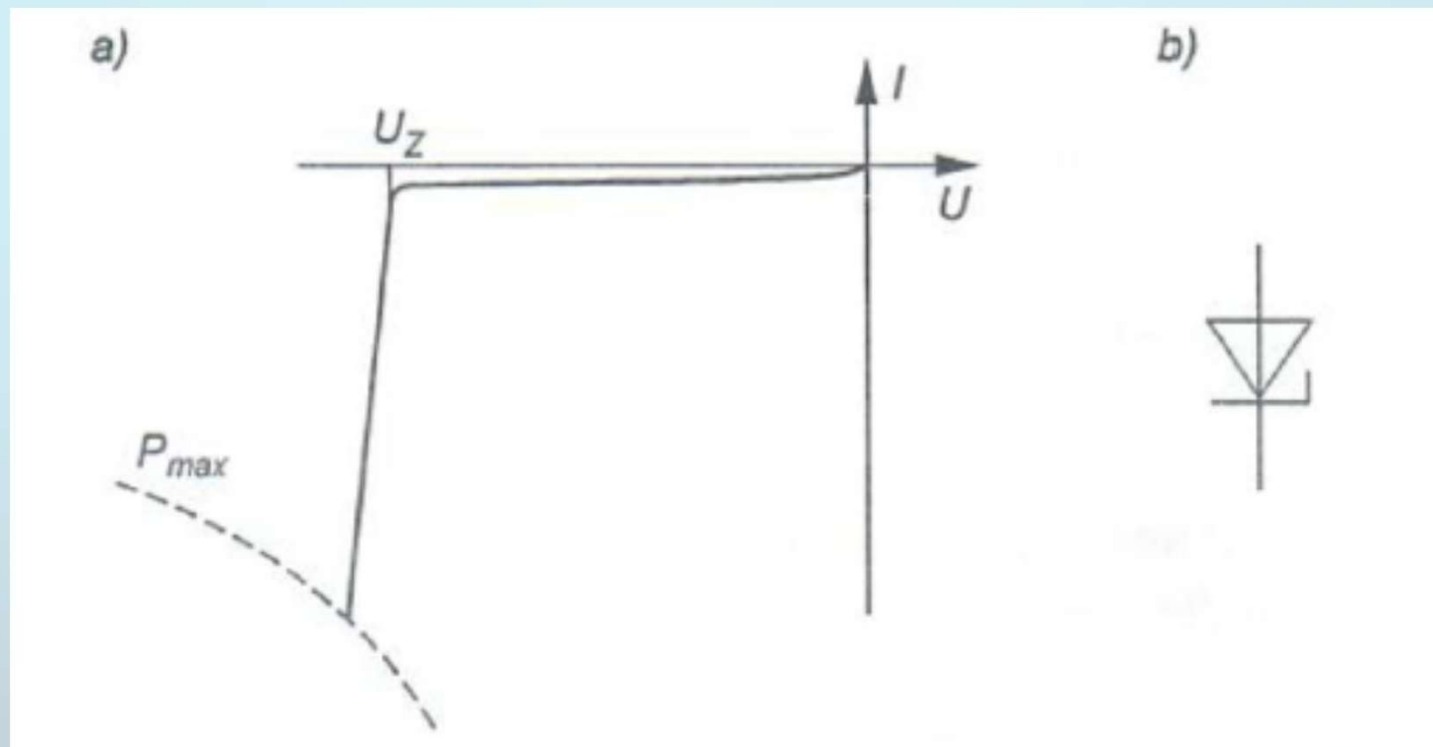
DIODY ZENERA

Diody Zenera są to diody półprzewodnikowe, których typowy obszar pracy znajduje się na odcinku charakterystyki prądowo-napięciowej, w którym następuje gwałtowny wzrost prądu przy polaryzacji zaporowej.

Diody Zenera zwane są też diodami stabilizacyjnymi, stabilitronami lub stabilistorami. Przeznaczone są do stosowania w układach stabilizacji napięć, układach ograniczników lub jako źródło napięć odniesienia.

DIODY ZENERA

Symbol graficzny diody Zenera przedstawiono na rysunku



DIODY ZENERA

Gwałtowny wzrost prądu przy polaryzacji zaporowej diody może nastąpić wskutek zjawiska Zenera lub/i zjawiska lawinowej jonizacji zderzeniowej.

Oba mechanizmy prowadzące do gwałtownego wzrostu prądu w obszarze przebicia.

Przebiecie Zenera następuje w złączach silnie domieszkowanych i dla tych diod gwałtowny wzrost prądu następuje przy napięciu polaryzacji zaporowej do 5 V.

Przebiecie lawinowe występuje w złączach słabiej domieszkowanych i wtedy gwałtowny wzrost prądu następuje przy napięciu polaryzacji zaporowej powyżej 7 V.

W złączach o średniej koncentracji domieszek wzrost prądu następuje przy napięciu 5 -7 V z zakresu polaryzacji zaporowej i wtedy występują oba zjawiska jednocześnie.

DIODY POJEMNOŚCIOWE

Diody pojemnościowe są to diody, w których wykorzystuje się zjawisko zmian pojemności warstwy zaporowej złącza p-n pod wpływem polaryzacji w kierunku zaporowym.

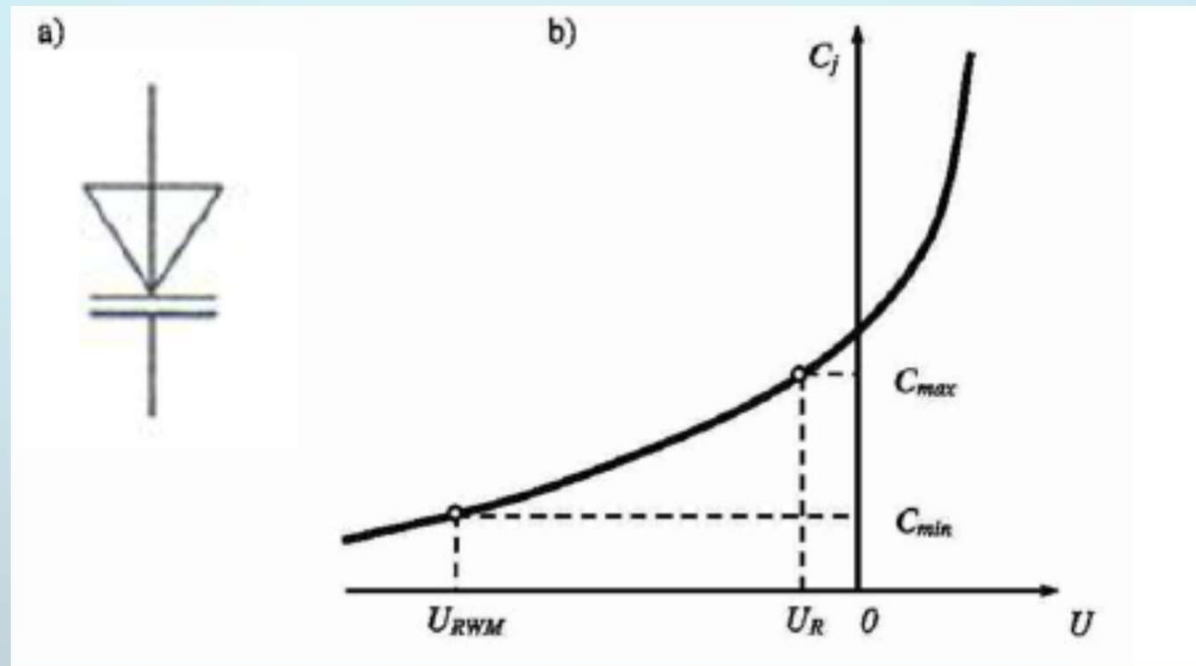
Pojemność bariery jest właściwością charakterystyczną każdego złącza p-n.

Jednak dioda ta ma konstrukcję optymalizowaną pod kątem swych zastosowań.

Znajdują one szerokie zastosowania w radiotechnice, np. w generatorach o regulowanej częstotliwości, nadajnikach z modulacją częstotliwości, układach automatycznego dostrojenia.

DIODY POJEMNOŚCIOWE

Symbol graficzny diody pojemnościowej i jej charakterystykę pojemnościowo-napięciową przedstawiono na rys.



DIODY TUNELOWE

Diody tunelowe są to diody, których charakterystyka prądowo-napięciowa przy polaryzacji w kierunku przewodzenia ma odcinek o ujemnej rezystancji dynamicznej.

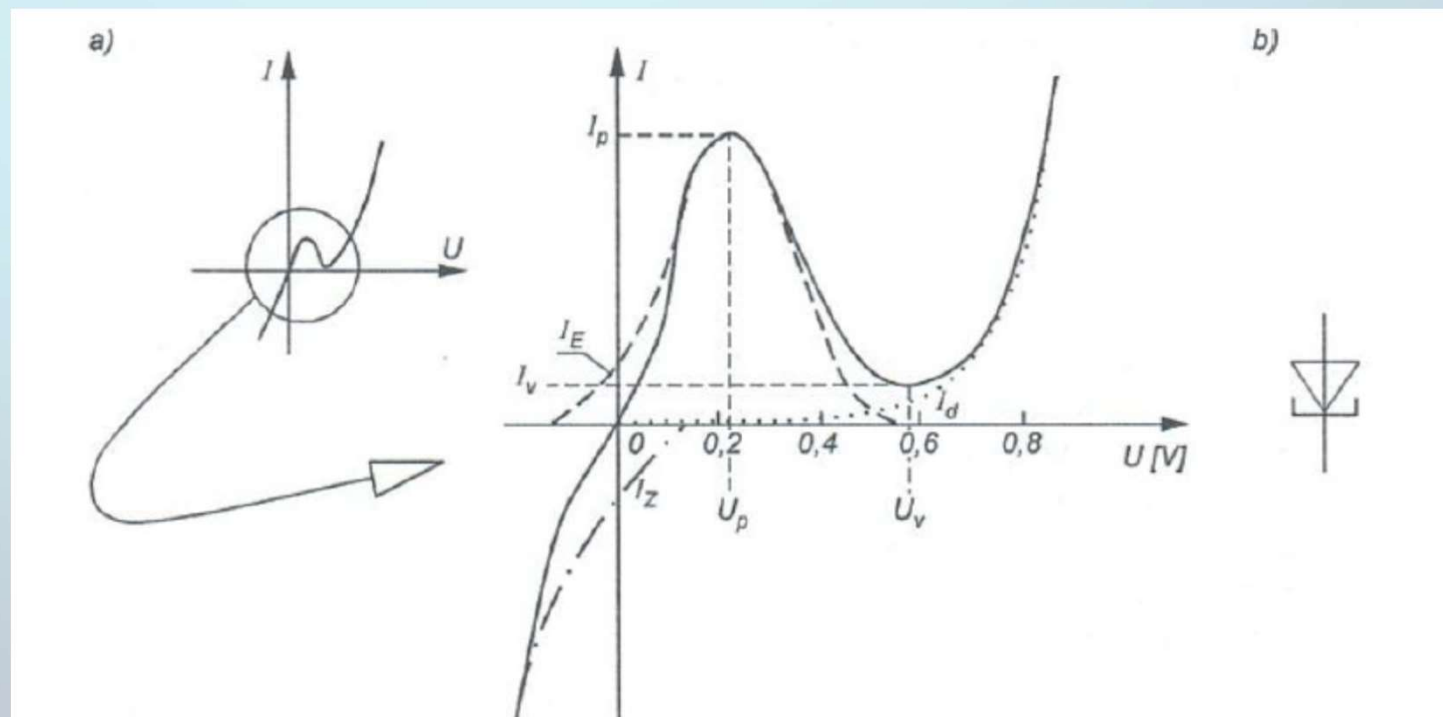
Diody te mają silnie domieszkowane złącze p-n.

W takich złączach warstwa zaporowa jest bardzo cienka (ok. 10 nm); natężenie pola elektrycznego w niej jest bardzo duże.

W tych warunkach istnieje jednakowe prawdopodobieństwo przejścia elektronu z pasma podstawowego do pasma przewodnictwa (prąd Zenera I_Z) i odwrotnie (prąd Esakiego¹ I_E).

DIODY TUNELOWE

Wypadkowa charakterystyka napięciowo-prądowa diody tunelowej jest superpozycją trzech przebiegów, tj. charakterystyk $I_Z(U)$, $I_E(U)$ i $I_d(U)$. Najbardziej interesujący jej odcinek to ten, w którym napięcie na diodzie rośnie, a prąd przez nią płynący maleje. Jest to odcinek o ujemnej rezystancji dynamicznej.



DIODY TUNELOWE

Ujemny zakres rezystancji dynamicznej diody tunelowej oraz mała bezwładność zjawisk tunelowych predestynuje tę diodę do zastosowań w generatorach pracujących w zakresie bardzo wysokich częstotliwości, rzędu gigaherców.

DIODY SCHOTTKY'EGO

Diody Schottky'ego są to diody, w których wykorzystuje się właściwości prostujące złącza metal-półprzewodnik (m-s).

Okazuje się bowiem, że odpowiednio dobrany materiał półprzewodnikowy i odpowiednio dobrany metal sąsiadując ze sobą mogą utworzyć złącze o charakterystyce prądowo-napięciowej podobnej do charakterystyki klasycznego złącza otrzymywanego w wyniku sąsiadujących ze sobą w jednej bryle półprzewodnika obszaru typu n i obszaru typu p.

Diody te charakteryzują się mniejszym spadkiem napięcia w kierunku przewodzenia. Dla złącza krzemowego p-n wynosi ono 0,7 V, a dla złącza metal-półprzewodnik znacznie mniej bo 0,4-0,5 V.

DIODY SCHOTTKY'EGO

Z powodu natychmiastowego odprowadzania nośników wstrzykniętych z półprzewodnika do metalu nie występuje w tych diodach pojemność dyfuzyjna ponieważ w metalu nie występuje zjawisko magazynowania nośników.

Jest to okoliczność bardzo korzystna, gdyż umożliwia pracę diody Schottky'ego w zakresie bardzo wielkich częstotliwości.

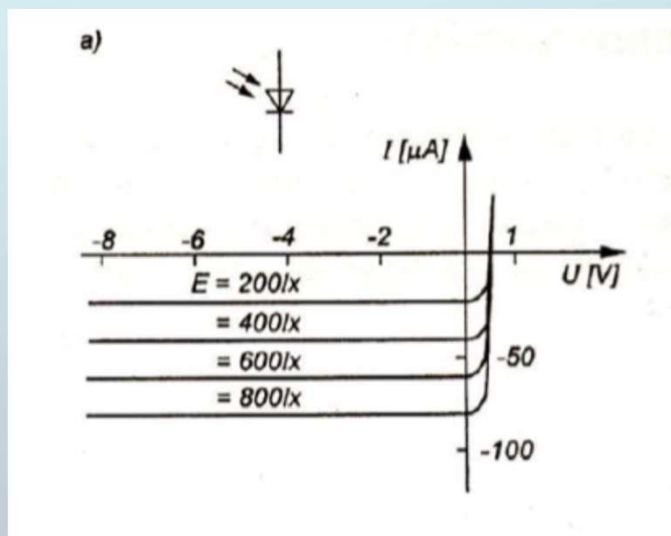


FOTODIODY

Fotodioda jest to dioda półprzewodnikowa, której parametry elektryczne zależą od padającego promieniowania świetlnego.

W tym celu umieszczana jest ona w specjalnej obudowie z przezroczystym oknem.

Charakterystykę prądowo-napięciową fotodiody przedstawiono na rysunku.



FOTODIODY

Analizując charakterystykę prądowo-napięciową, rozróżnić w niej można przebiegi w różnych ćwiartkach układu współrzędnych. Przebieg charakterystyki w trzeciej ćwiartce obrazuje wykorzystane fotodiody jako czujnika oświetlenia.

Przy polaryzacji wstecznej złącza bez oświetlenia jego powierzchni płynie tzw. prąd ciemny fotodiody.

Odpowiada on prądowi nasycenia złącza p-n.

Jeśli na złącze pada promieniowanie świetlne, powoduje ono dostarczenie energii do złącza, w wyniku czego następuje generacja par elektron-dziura.

FOTODIODY

Charakterystyka diody w czwartej ćwiartce układu współrzędnych ilustruje jej pracę jako przetwornika promieniowania świetlnego, inaczej baterii słonecznej.

Jeśli oświetlona fotodioda jest rozwarta (nie płynie przez nią prąd), to wielkość napięcia powstałego na jej zaciskach nazywamy napięciem fotowoltaicznym.

Dla krzemu napięcie fotowoltaiczne wynosi około 0,5 V.

Sprawność przetwarzania energii świetlnej przez fotodiodę jest niewielka i wynosi ok. 14%.

DIODY ELEKTROLUMINESCENCYJNE

Diody elektroluminescencyjne, zwane też diodami LED (Light Emitting Diode), emitują promieniowanie świetlne, gdy przepływa przez nie prąd przewodzenia.

W trakcie przepływu prądu przez złącze spolaryzowane w kierunku przewodzenia następuje proces rekombinacji² elektronów i dziur z wydzieleniem pewnej porcji energii.

W krzemie energia ta przekazywana jest do sieci krystalicznej półprzewodnika nagrzewając kryształ.

W innych półprzewodnikach, np. takich jak arsenek galu (GaAs), energia ta wydziela się w postaci promieniowania świetlnego (fotonów).

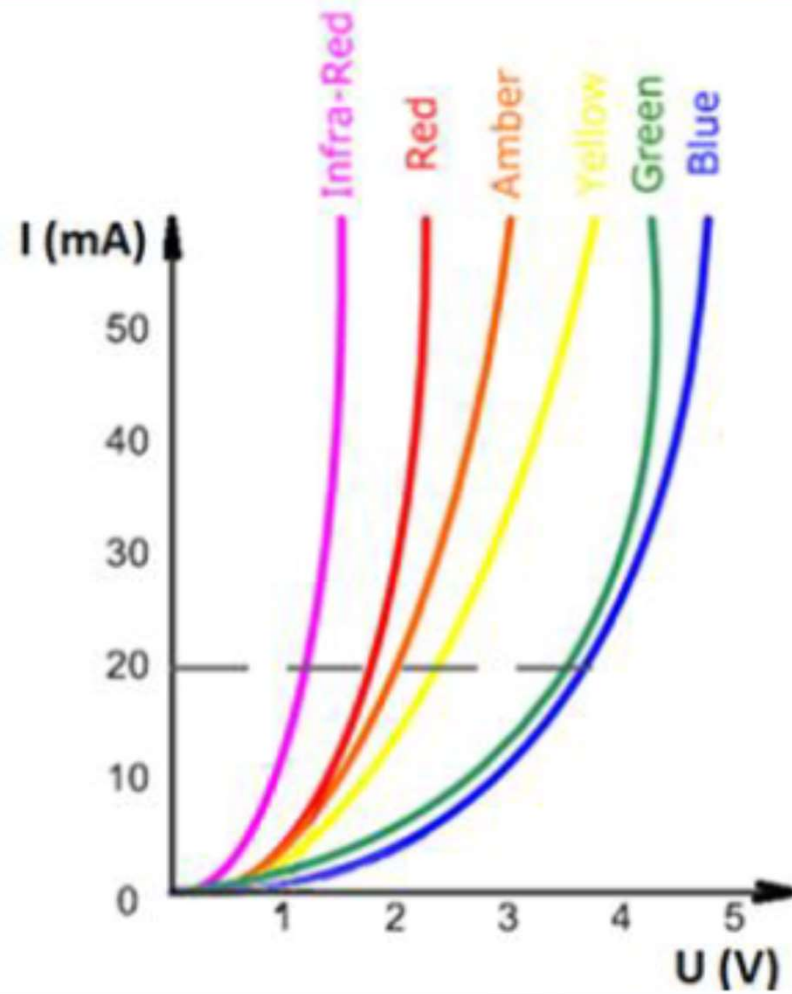
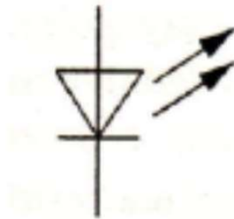
DIODY ELEKTROLUMINESCENCYJNE

Diody W trakcie procesu rekombinacji zwrot energii następuje w postaci promieniowania o długości fali zależnej od szerokości pasma zabronionego.

Szerokość pasma zabronionego jest natomiast cechą określonego rodzaju półprzewodnika.

Można zatem stwierdzić, że o barwie emitowanego światła decyduje materiał półprzewodnikowy użyty do budowy diody, np. dioda na podczerwień jest zbudowana z arsenku galu, dioda emitująca światło czerwone z arseno-fosforku galu, a zielone z fosforku galu.

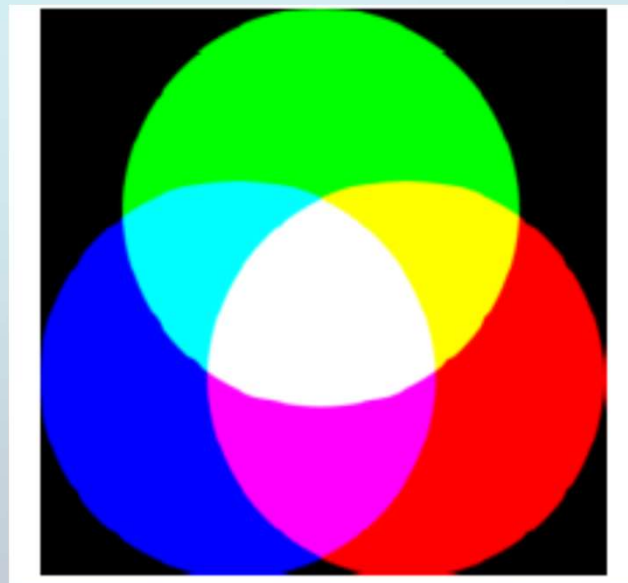
DIODY ELEKTROLUMINESCENCYJNE



DIODY ELEKTROLUMINESCENCYJNE

Cechą charakterystyczną diody zbudowanej z określonego materiału jest otrzymywana konkretna barwa światła.

Światło białe jako złożone z kilku barw nie może być otrzymywane bezpośrednio jako wynik procesu rekombinacji w obszarze złącza pojedynczej diody.

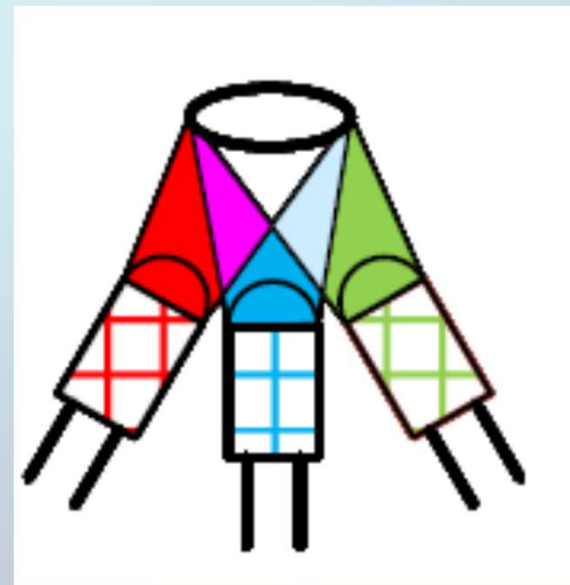


DIODY ELEKTROLUMINESCENCYJNE

Istnieją trzy sposoby wytwarzania światła białego przy wykorzystaniu diod LED.

Pierwszy polega na mieszaniu w odpowiednich proporcjach trzech podstawowych barw światła pochodzących z diody czerwonej, zielonej i niebieskiej RGB (Red, Green, Blue).

W metodzie tej najczęściej umieszcza się w jednej obudowie trzy chipy LED tworzące diodę trójkolorową a postrzeganą przez obserwatora jako jeden punkt świetlny światła białego.



DIODY ELEKTROLUMINESCENCYJNE

Drugim sposobem jest konwersja światła (konwersja długości fali) z wykorzystaniem luminoforu, którym pokrywa się diodę promieniującą w paśmie nadfioletu.

Luminofor pokrywający chip diody składa się z trzech warstw, z których każda realizuje konwersję światła ultrafioletowego na jedną z trzech barw podstawowych.

W wyniku tego procesu następuje wymieszanie się barw i w efekcie otrzymujemy kolor biały.



DIODY ELEKTROLUMINESCENCYJNE

Trzeci sposobem jest metoda hybrydowa, która jest połączeniem elementów dwóch pierwszych omówionych sposobów.

Zastosowano wzbudzenie żółtego luminoforu (a więc luminoforu o barwie dopełniającej) przy pomocy światła diody niebieskiej stanowiącego barwę podstawową.

Światło niebieskie jest częściowo przepuszczane, a częściowo pochłaniane poprzez luminofor, który z kolei konwertuje jego część na światło o barwie żółtej.

Dokonuje się mieszanie barw niebieskiej i żółtej, co w efekcie daje barwę białą.

