Materiały magnetycznie miękkie niemetaliczne

Magnetodielektryki:

- są wytwarzane z proszków ferromagnetyków metalicznych i materiału elektroizolacyjnego,
- czyste Fe, stopy Fe-Ni, Fe karbonylkowe, stop Fe-Si-Al,
- materiał izolacyjny - najczęściej żywica termoutwardzalna.

Wytwarzanie magnetodielektryków:

- utlenianie powierzchniowe lub powlekanie lakierem ziarenek sproszkowanego ferromagnetyka,
- mieszanie proszku z żywicą,
- formowanie przez prasowanie elementów rdzeni,
- utwardzanie.

Magnetodielektryki charakteryzują się dużą rezystywnością, małą stratnością i małą przenikalnością magnetyczną.

Stosuje się je na rdzenie cewek pracujących w obwodach wielkiej częstotliwości (od 20 kHz do 10 MHz).

Ferryty magnetycznie miękkie:

- materiały o własnościach ferrimagnetyków,
- mieszanina co najmniej dwóch różnych tlenków,
- zawsze jednym z nich jest Fe_2O_3 zwany ferrytem,
- własności właściwe dla ceramiki,
- twarde, kruche, $\rho = 10^2...10^6\ \Omega m$.

Podział ferrytów:

- ferryty proste,
- ferryty złożone.

Ferryty proste:

- Fe_2O_3 + tlenek jednego metalu dwuwartościowego, np.:
  Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd.

Przykładowe ferryty proste:

$MgO \cdot Fe_2O_3$ lub $MgFe_2O_4$,

$MnO \cdot Fe_2O_3$ lub $MnFe_2O_4$,

$FeO \cdot Fe_2O_3$ lub Fe_3O_4 (magnetyt).

Ferryty złożone:

- mieszaniny dwóch lub więcej ferrytów prostych,
- najczęściej stosowane są ferryty niklowo-cynkowe:

$$i\,(\mathrm{NiO}\cdot\mathrm{Fe_2O_3}) + j\,(\mathrm{ZnO}\cdot\mathrm{Fe_2O_3}) + k\,(\mathrm{FeO}\cdot\mathrm{Fe_2O_3})$$

gdzie:

i, j, k - określają ilościowe proporcje składników.

Własności ferrytów magnetycznie miękkich:

- B_n = 0,2...0,6 T,
- μ_{rm} = 6000,
- $H_c \cong 1\ \mathrm{A\cdot m^{-1}}$,

Zastosowanie ferrytów magnetycznie miękkich na rdzenie:

- małych transformatorów,
- dławików,
- filtrów wielkiej częstotliwości,
- przełączników elektronicznych.

Materiały magnetycznie twarde

Powinny charakteryzować się możliwie dużymi wartościami:

- pozostałości magnetycznej B_r,
- natężenia powściągającego H_c,
- iloczynu $(B \cdot H)_{max}$,
- współczynnika kształtu krzywej odmagnesowania k_o.

Materiały magnetycznie twarde:

- są stosowane na magnesy trwałe,
- namagnesowane zachowują trwale ten stan,
- nie tworzą same zamkniętych obwodów magnetycznych,
- na końcach magnesu są bieguny N i S,
- mają szeregowe szczeliny powietrzne między biegunami,
- indukcja magnetyczna takiego układu jest mniejsza od B_r,
- punkt pracy powinien być możliwie bliski P_{opt}.

Materiały magnetycznie twarde są stosowane m.in. w:

- silnikach elektrycznych i prądnicach,
- urządzeniach mikrofalowych,
- przyrządach pomiarowych,
- urządzeniach telekomunikacyjnych.

Materiały magnetycznie twarde metaliczne

Stal węglowa zahartowana (1 % węgla)

Własności:

- tania, o mało stabilnych własnościach magnetycznych,
- H_c = 4,8 kA·m^{-1},
- B_r = 0,86 T,
- $(B \cdot H)_{max}$ = 2 kJ·m^{-3}.

Zastosowanie:

- na magnesy trwałe o małych wymaganiach,
- szczególnie na magnesy o dużych wymiarach,
- na magnesy małych maszyn synchronicznych.

Stal wolframowa (o zawartości kilka procent wolframu)

Ma lepsze (o 10...20 %) własności magnetyczne i ich stabilność od stali węglowej, ale jest znacznie droższa.

Stal wolframową stosuje się w produkcji maszyn elektrycznych, induktorów i przyrządów indukcyjnych.

Stopy żelaza z aluminium, niklem i kobaltem

Mają lepsze, stabilne własności magnetyczne.

Własności jednego z najlepszych stopów (Fe-Al-Ni-Co):

- $H_c = 62\ \mathrm{kA \cdot m^{-1}}$,
- $B_r = 1{,}4\ \mathrm{T}$,
- $(B \cdot H)_{max} = 64\ \mathrm{kJ \cdot m^{-3}}$,
- jest twardy i kruchy.

Te stopy są stosowane na magnesy trwałe w:

- przyrządach pomiarowych,
- przekaźnikach,
- maszynach elektrycznych,
- głośnikach.

Materiały magnetycznie twarde niemetaliczne

Ferryty magnetycznie twarde:

- materiały tlenkowe,
- najczęściej stosowany ferryt barowy: $BaO \cdot 6Fe_2O_3$,
- dobre, stabilne własności magnetyczne:
  - H_c = 160 kA·m^{-1},
  - B_r = 0,4 T,
  - $(B \cdot H)_{max}$ = 30 kJ·m^{-3},
  - $\rho \cong 10^7$ Ωm,
  - gęstość 4,2...5 g·cm^{-3}.

Stosuje się je na magnesy trwałe w:

- głośnikach,
- mikrosilnikach,
- sprzęgłach magnetycznych,
- w technice impulsowej i wielkiej częstotliwości.

Anizotropowe magnesy ferrytowe są wytwarzane poprzez prasowanie w polu magnetycznym bardzo drobno zmielonych tlenków i spiekanie.

MATERIAŁY PÓŁPRZEWODNIKOWE

Materiały półprzewodzące

(rezystywność ρ : od 10 $\mu\Omega$m do 10 MΩm)

Rezystywność ρ materiałów półprzewodnikowych zależy od:

- temperatury,
- natężenia pola elektrycznego,
- intensywności promieniowania,
- zanieczyszczeń.

Materiały półprzewodnikowe:

- szerokość pasma zabronionego nie przekracza 5 eV,
- dla krzemu (Si): 1,12 eV, dla germanu (Ge): 0,66 eV.

Podział materiałów półprzewodnikowych:

- elementarne - z atomów jednego pierwiastka do produkcji elementów indywidualnych (diod, tranzystorów) lub układów scalonych,
- złożone - z atomów dwóch, trzech różnych pierwiastków lub ich tlenków, do produkcji przyrządów absorbujących światło lub ciepło, lub emitujących światło, a także do produkcji termistorów, warystorów, hallotronów itp.

Wycinek układu okresowego pierwiastków

		Grupy				
		II	**III**	**IV**	**V**	**VI**
Okresy	**2**	Be	B	C		
	3	Mg	Al	**Si**	P	S
	4	Zn	Ga	Ge	As	Se
	5	Cd	In	Sn	Sb	Te
	6	Hg	Tl	Pb	Bi	Po

Półprzewodniki elementarne i złożone

IV	**IV - IV**	**III - V**	**II - VI**
Si	SiC	AlP	ZnS
Ge		AlAs	ZnSe
		AlSb	ZnTe
		GaP	CdS
		GaAs	CdSe
		GaSb	CdTe
		InP	
		InAs	
		InSb	

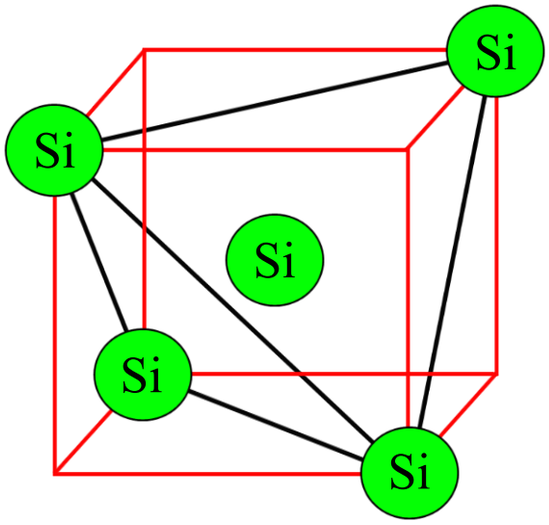
Własności materiałów półprzewodnikowych

Materiał półprzewod-nikowy	Szerokość pasma zabronionego [eV] T = 300 K	Ruchliwość elektronów [cm^2/Vs]	Przenikalność elektryczna względna ϵ_r	Przewodność cieplna [$W\,m^{-1}\,K^{-1}$]
Krzem **Si**	1,12	1500	11,7	1,45
German Ge	0,66	3900	16,0	0,55
Arsenek galu **GaAs**	1,43	8600	13,1	0,44
Antymonek galu GaSb	0,67	4000	15,0	0,33
Arsenek indu InAs	0,33	33000	-	0,27
Fosforek indu **InP**	1,29	6000	1,1	0,68
Antymonek indu InSb	0,16	70000	-	0,17

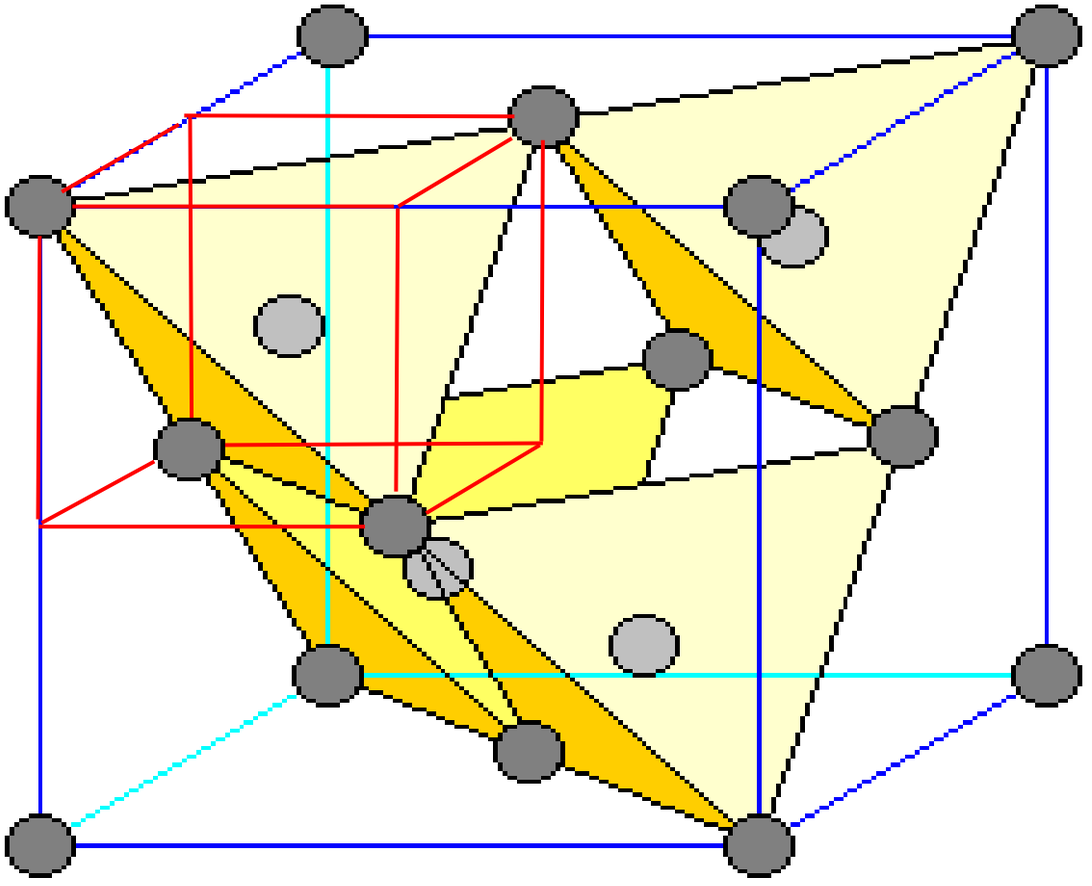
$$\frac{\mathrm{cm}}{s} / \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{cm}}$$

Budowa półprzewodników elementarnych:

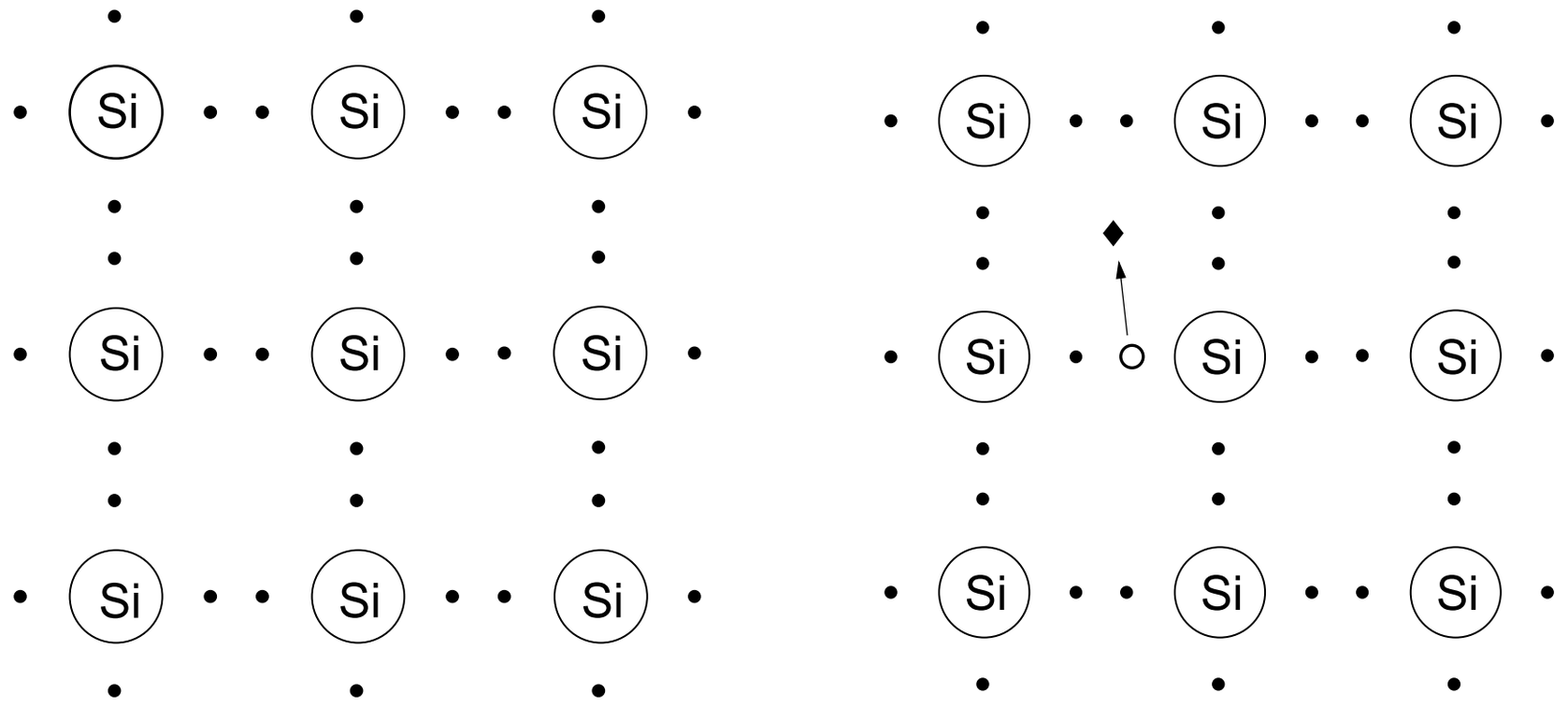
- najczęściej stosuje się krzem monokrystaliczny,
- IV grupa układu okresowego (C, **Si**, **Ge**, Sn),
- podstawowy rodzaj wiązań - wiązanie kowalencyjne,
- struktura diamentu A4.



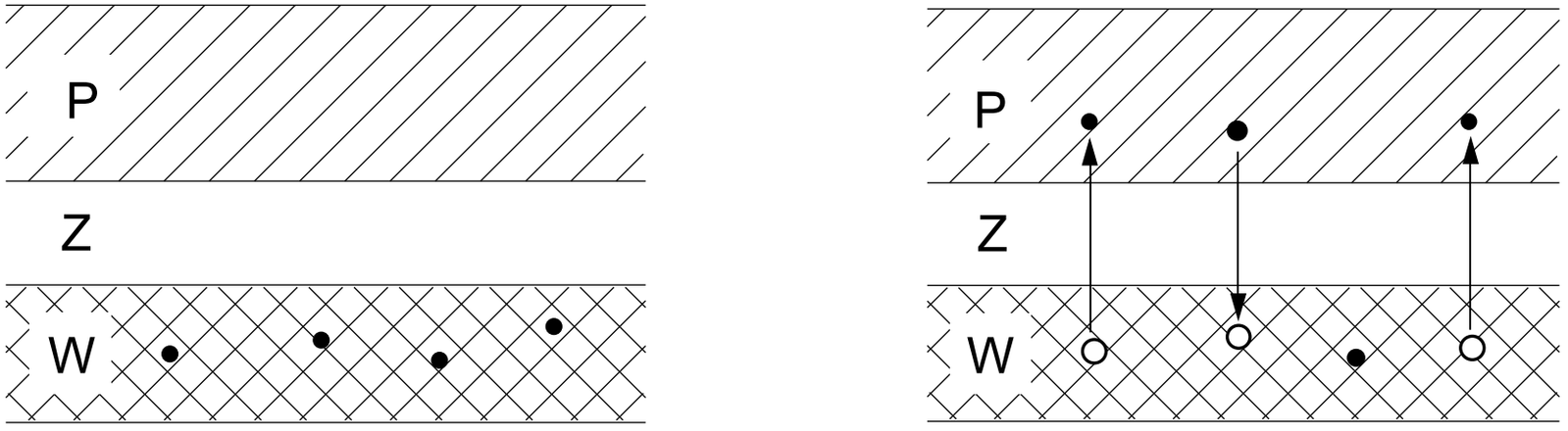
Układ przestrzenny wybranego atomu centralnego i czterech najbliższych atomów sąsiednich w sieci krystalicznej Si



Komórka elementarna struktury krystalicznej diamentu



Obraz płaski wiązań kowalencyjnych w krysztale krzemu: w stanie idealnym (po lewej) oraz w stanie z elektronem ♦ wyrwanym z wiązania (po prawej). Dziura ○ pozostała po wyrwaniu elektronu.



Model pasmowy półprzewodnika w stanie niewzbudzonym (po lewej) oraz w stanie wzbudzonym (po prawej); P, Z, W - pasma: walencyjne, zabronione i przewodnictwa; • - przykładowe elektrony, ○ - dziury

Przewodnictwo półprzewodników samoistnych:

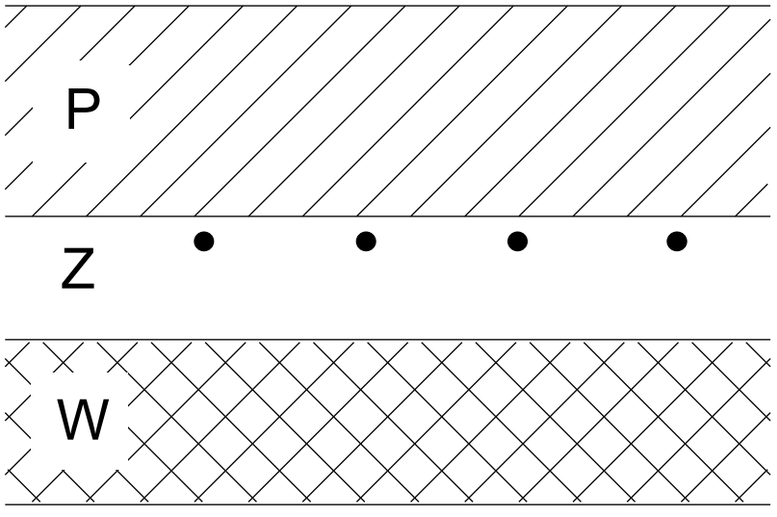
- półprzewodniki samoistne - chemicznie czyste,
- około 10^{23} atomów w 1 cm^3 półprzewodnika,
- około 10^{13} swobodnych elektronów wyrwanych z wiązań (20°C),
- zerwanie wiązania przy jednym atomie na 10^{10} atomów,
- powstawanie i rekombinacja par elektron-dziura,
- w stanie wzbudzenia - przejście elektronów swobodnych do pasma przewodnictwa, w paśmie walencyjnym pozostaje dodatnia dziura,
- pole elektryczne w półprzewodniku powoduje:
    - przepływ elektronów w paśmie przewodnictwa w kierunku potencjału wyższego (prąd elektronowy),
    - przepływ dziur w paśmie walencyjnym w kierunku potencjału niższego (prąd dziurowy),
- ruch dziur jest ruchem umownym wywołanym przechodzeniem do nich elektronów z sąsiednich wiązań kowalencyjnych,
- intensywność tych zjawisk jest niewielka - półprzewodniki samoistne mają ograniczone zastosowanie.

Przewodnictwo półprzewodników domieszkowych:

- półprzewodniki domieszkowe - stosowane powszechnie do wytwarzania elementów i przyrządów półprzewodnikowych,
- domieszkowanie - dla zwiększenia liczby elektronów albo dziur.

Domieszka donorowa:

- pierwiastek o 5 elektronach walencyjnych (P, As, Sb, Bi),
- otrzymuje się półprzewodnik typu ***n***,
- atomy domieszki zastępują atomy macierzyste zwykle w 1 na 10^6 węzłów sieci krystalograficznej,
- wiążą się z sąsiednimi atomami 4 elektronami walencyjnymi,
- poziom energetyczny piątego elektronu - pod pasmem przewodnictwa pierwiastka podstawowego,
- przejście do pasma przewodnictwa elektronu swobodnego wymaga energii nie większej niż 0,05 eV.



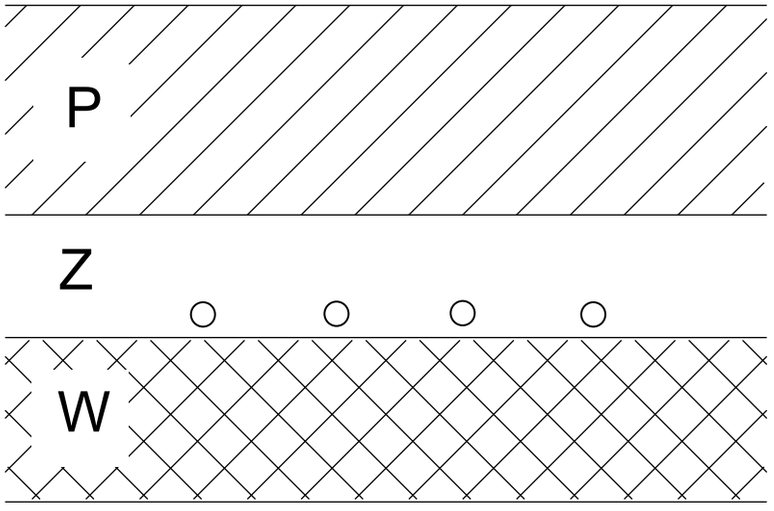
Model pasmowy półprzewodnika w stanie niewzbudzonym domieszkowanego donorowo;

W, Z, P - pasma odpowiednio: walencyjne, zabronione i przewodnictwa;

• - elektrony donora

Domieszka akceptorowa:

- pierwiastek o 3 elektronach walencyjnych (B, Al, Ga, In),
- otrzymuje się półprzewodnik typu ***p***,
- atomy domieszki zastępują atomy macierzyste zwykle w 1 na 10^6 węzłów sieci krystalograficznej,
- wiążą się z sąsiednimi atomami 3 elektronami walencyjnymi,
- brakuje elektronu do uwspólnienia z jednym z bliskich atomów,
- poziom energetyczny dziur znajduje się nad pasmem walencyjnym pierwiastka podstawowego,
- przeniesienie dziury do pasma walencyjnego wymaga energii w zakresie od 0,01 do 0,16 eV.



Model pasmowy półprzewodnika w stanie nie wzbudzonym domieszkowanego akceptorowo:

W, Z, P - pasma odpowiednio: walencyjne, zabronione i przewodnictwa;

○ - dziury akceptora.

Przewodnictwo elektronowe i dziurowe:

- liczba elektronów swobodnych z domieszki jest rzędu 10^{17} na cm^3
- liczba elektronów i dziur z półprzewodnika samoistnego jest rzędu 10^{13} na cm^3,
- większościowymi nośnikami ładunku elektrycznego w półprzewodnikach typu ***n*** są elektrony,
- półprzewodniki typu ***n*** charakteryzują się elektronowym charakterem przewodnictwa elektrycznego,
- większościowymi nośnikami ładunku elektrycznego w półprzewodnikach typu ***p*** są dziury,
- półprzewodniki typu ***p*** charakteryzują się dziurowym charakterem przewodnictwa elektrycznego.

Elementy i urządzenia objętościowe (termistory, warystory, czujniki Halla) wykonane są z półprzewodników samoistnych lub jednorodnie domieszkowanych.

Aktywne elementy półprzewodnikowe (diody, tranzystory, tyrystory) zbudowane są z półprzewodników, w których wcześniej wytworzono dwie sąsiadujące ze sobą warstwy, jedną typu ***n*** i jedną typu ***p***.