

## ***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  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  zwany ferrytem,
- własności właściwe dla ceramiki,
- twarde, kruche,  $\rho = 10^2 \dots 10^6 \Omega\text{m}$ .

## Podział ferrytów:

- ferryty proste,
- ferryty złożone.

Ferryty proste:

- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  + tlenek jednego metalu dwuwartościowego, np.:  
Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd.

## Przykładowe ferryty proste:



Ferryty złożone:

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



gdzie:

$i, j, k$  - określają ilościowe proporcje składników.

## Własności ferrytów magnetycznie miękkich:

- $B_n = 0,2 \dots 0,6 \text{ T}$ ,
- $\mu_{rm} = 6000$ ,
- $H_c \cong 1 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ ,

## 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 szeregowo 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,
- $H_c = 4,8 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ ,
- $B_r = 0,86 \text{ T}$ ,
- $(B \cdot H)_{\max} = 2 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$ .

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):

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

Te stopy są stosowane na magnesy trwałe w:

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

## ***Materiały magnetycznie twarde niemetaliczne***

### Ferryty magnetycznie twarde:

- materiały tlenkowe,
- najczęściej stosowany ferryt barowy:  $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,
- dobre, stabilne własności magnetyczne:
  - $H_c = 160 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ ,
  - $B_r = 0,4 \text{ T}$ ,
  - $(B \cdot H)_{\text{max}} = 30 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$ ,
  - $\rho \cong 10^7 \Omega\text{m}$ ,
  - gęstość  $4,2 \dots 5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

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  $\rho$  : od  $10 \mu\Omega\text{m}$  do  $10 \text{M}\Omega\text{m}$ )

Rezystywność  $\rho$  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

## G r u p y

		II	III	IV	V	VI
O k r e s y	<b>2</b>	Be	B	C		
	<b>3</b>	Mg	Al	<b>Si</b>	P	S
	<b>4</b>	Zn	Ga	Ge	As	Se
	<b>5</b>	Cd	In	Sn	Sb	Te
	<b>6</b>	Hg	Tl	Pb	Bi	Po

## Półprzewodniki elementarne i złożone

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

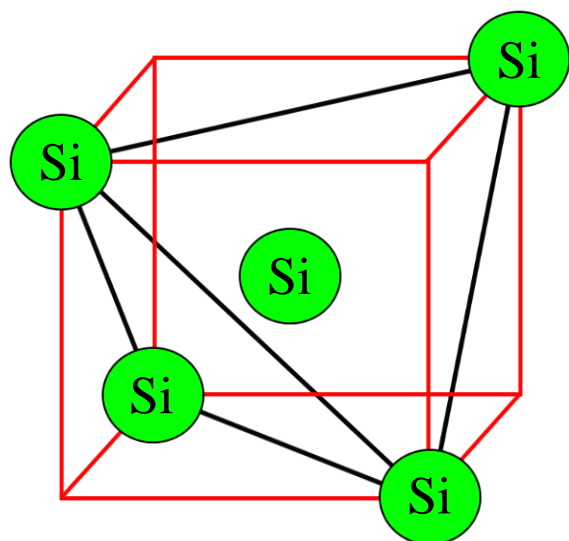
## Własności materiałów półprzewodnikowych

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

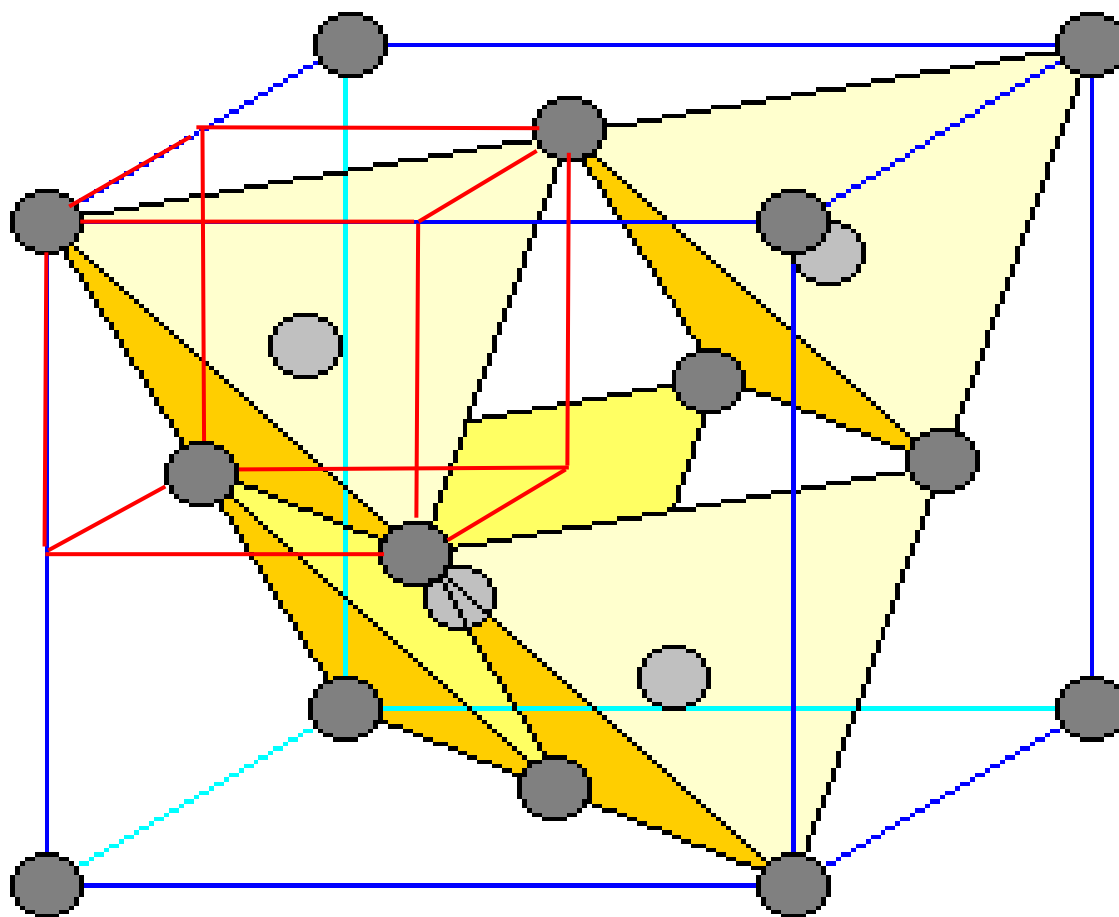
$$\frac{\text{cm}}{\text{s}} / \frac{\text{V}}{\text{cm}}$$

Budowa półprzewodników elementarnych:

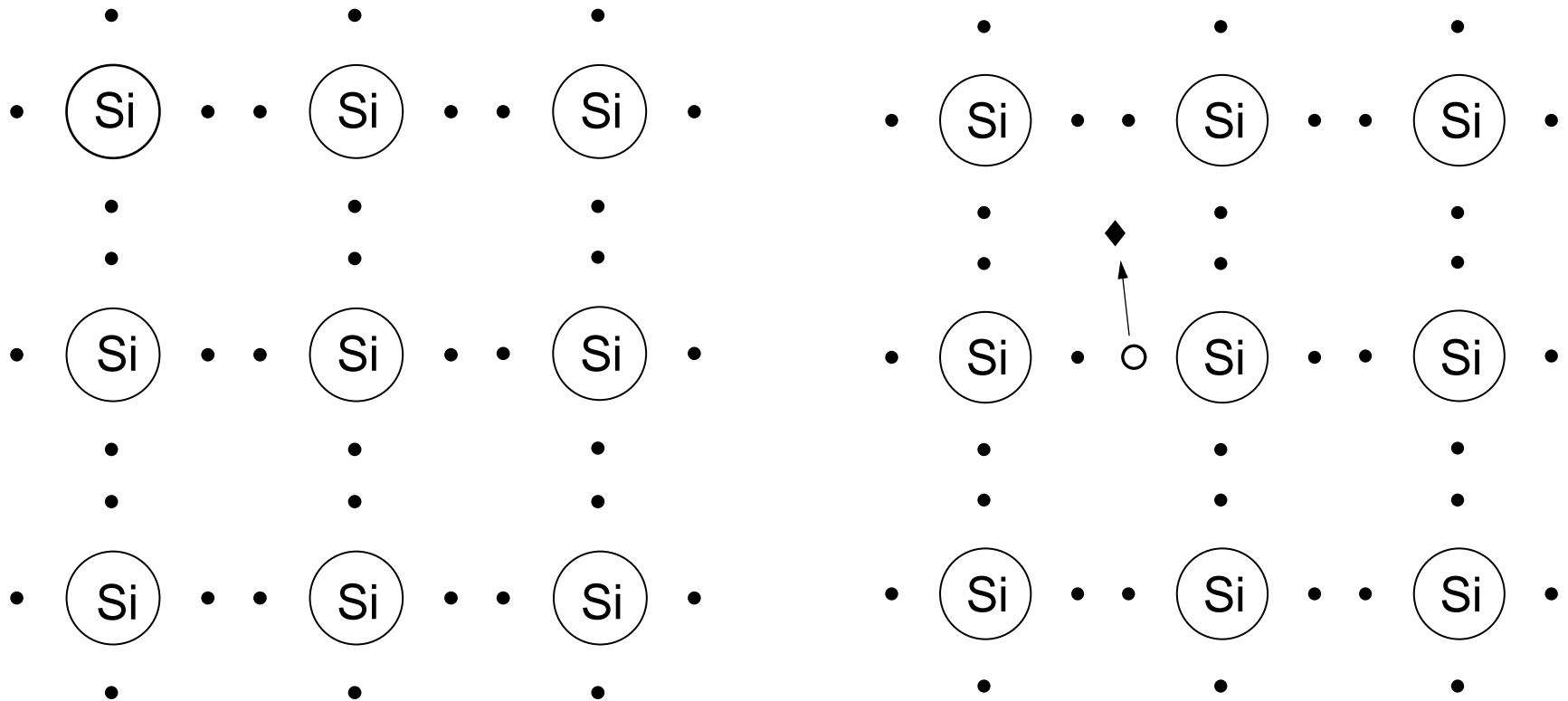
- najczęściej stosuje się krzem monokrystaliczny,
- IV grupa układu okresowego (C, **Si**, **Ge**, Sn),
- podstawowy rodzaj wiązań - wiązanie kowalencyjne,
- struktura diamentu A4.



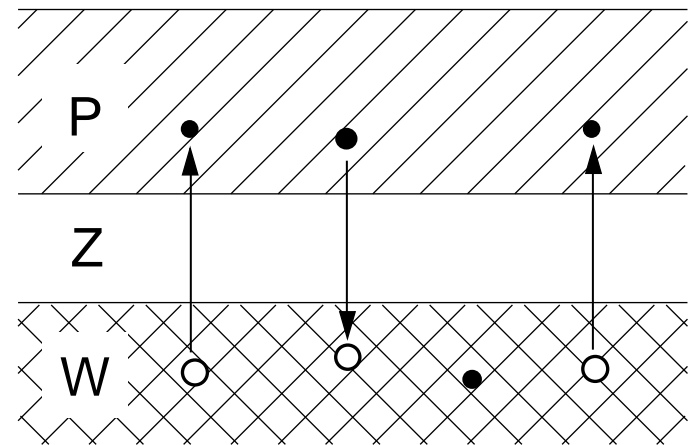
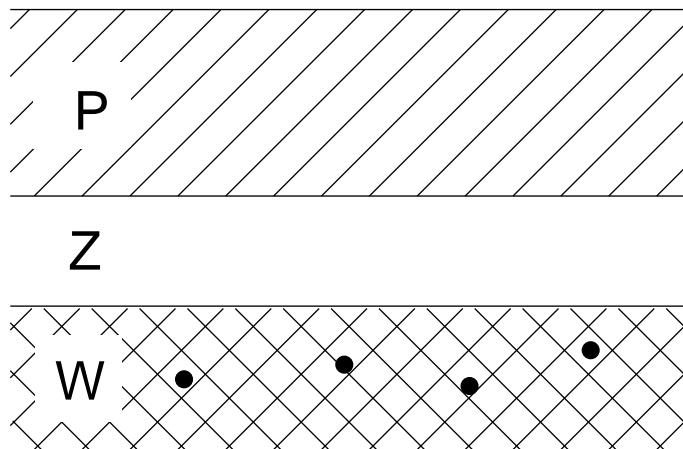
Układ przestrzenny  
wybranego atomu  
centralnego i czterech  
najbliższych atomów  
sąsiednich w sieci  
krystalicznej Si



Komórka elementarna struktury  
krystalicznej diamentu



Obraz płaski wiązań kowalencyjnych w kryształe krzemu: w stanie idealnym (po lewej) oraz w stanie z elektronem  $\blacklozenge$  wyrwanym z wiązania (po prawej). Dziura  $\circ$  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;  $\bullet$  - przykładowe elektrony,  $\circ$  - dziury 138

Przewodnictwo półprzewodników samoistnych:

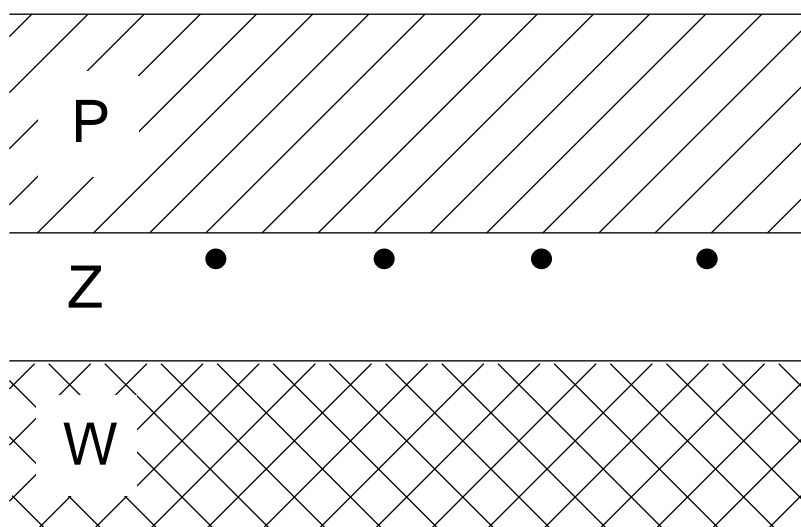
- półprzewodniki samoistne - chemicznie czyste,
- około  $10^{23}$  atomów w  $1 \text{ cm}^3$  półprzewodnika,
- około  $10^{13}$  swobodnych elektronów wyrwanych z wiązań ( $20^\circ\text{C}$ ),
- zerwanie wiązania przy jednym atomie na  $10^{10}$  atomów,
- powstawanie i rekombinacja par elektron-dziura,
- 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:

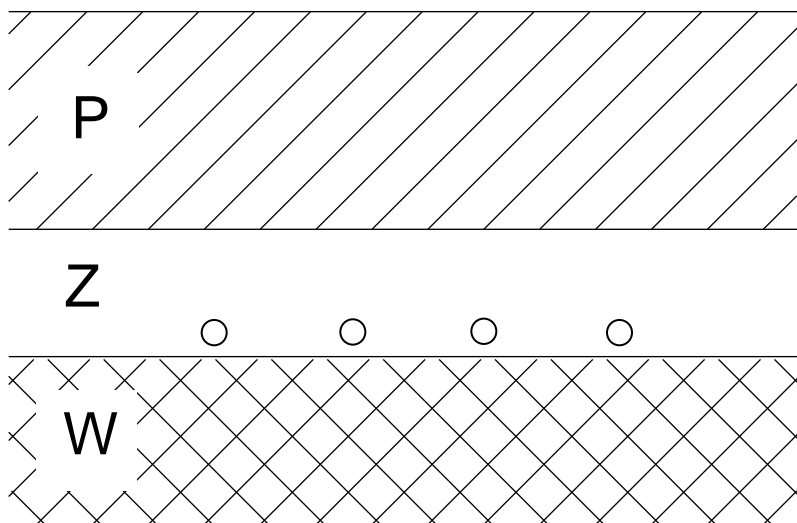
- pierwiastek o 5 elektronach walencyjnych (P, As, Sb, Bi),
- otrzymuje się półprzewodnik typu  $n$ ,
- atomy domieszki zastępują atomy macierzyste zwykle w 1 na  $10^6$  węzłów sieci krystalograficznej,
- wiążą się z sąsiednimi atomami 4 elektronami walencyjnymi,
- poziom energetyczny piątego elektronu - 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  $\text{cm}^3$
- liczba elektronów i dziur z półprzewodnika samoistnego jest rzędu  $10^{13}$  na  $\text{cm}^3$ ,
- większościami nośnikami ładunku elektrycznego w półprzewodnikach typu ***n*** są elektrony,
- półprzewodniki typu ***n*** charakteryzują się elektronowym charakterem przewodnictwa elektrycznego,
- większościami 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***.