

## **Materiały magnetycznie miękkie niemetaliczne**

### ***Magnetodielektryki***

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

### Wytwarzanie magnetodielektryków:

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

duża rezystywność, mała stratność i przenikalność magnetyczna,

zastosowanie 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:

- ferryty proste
- ferryty złożone

### **ferryty proste:**

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

Przykładowe ferryty proste:



**ferryty złożone:**

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



$i, j, k$  - 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  $k_o$

**ponadto powinny charakteryzować się:**

- stabilnością wymienionych wyżej własności w czasie
- łatwością obróbki mechanicznej i cieplnej
- niską ceną

**materiały magnetycznie twarde:**

- wytwarza się z nich magnesy trwałe
- namagnesowane zachowują trwale ten stan
- nie tworzą same zamkniętych obwodów magnetycznych
- na końcach magnesu bieguny  $N$  i  $S$
- szeregowo szczeliny powietrzne między biegunami
- indukcja magnetyczna takiego układu mniejsza od  $B_r$
- punkt pracy powinien być możliwie bliski  $P_{opt}$
- zastosowanie m.in. w:
  - silnikach elektrycznych i prądnicach
  - urządzeniach mikrofalowych
  - przyrządach pomiarowych
  - urządzeniach telekomunikacyjnych

## Materiały magnetycznie twarde metaliczne

### Stopy żelaza

*stal węglowa* zahartowana

- 1 % węgla
- 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
- lepsze (o 10...20 %) własności magnetyczne
- znacznie droższa
- stabilność własności jest znacznie lepsza niż stali węglowej

#### Zastosowanie:

- maszyny elektryczne
- induktory
- przyrządy indukcyjne

*stopy żelaza z aluminium, nikiem i kobaltem*

- znacznie lepsze ze względu na cenę, własności magnetyczne i ich stabilność

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

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

Zastosowanie na magnesy trwałe w:

- przyrządach pomiarowych
- przekładnikach
- maszynach elektrycznych
- głośnikach



## Materiały magnetycznie twarde niemetaliczne

### *Ferryty magnetycznie twarde*

- materiały tlenkowe
- nieporównywalnie większe wartości  $H_c$
- 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  $4,2 \dots 5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Zastosowanie na magnesy trwałe w:

- głośnikach
- mikrosilnikach
- sprzęgłach magnetycznych
- w technice impulsowej
- w technice wielkiej częstotliwości

Dobre własności magnetyczne uzyskuje się przez:

- wytwarzanie magnesów ferrytowych anizotropowych przez prasowanie bardzo drobno zmielonych tlenków w polu magnetycznym i spiekanie

# MATERIAŁY PÓŁPRZEWODNIKOWE

## Materiały półprzewodzące

- rezystywność  $\rho$ : od  $10 \mu\Omega\text{m}$  do  $10 \text{M}\Omega\text{m}$
- $\rho$  zależy od temperatury, natężenia pola elektrycznego, intensywności promieniowania i zanieczyszczeń
- materiały półprzewodnikowe:
  - szerokość pasma zabronionego nie przekracza  $5 \text{eV}$
  - dla krzemu:  $1,1 \text{eV}$ , dla germanu:  $0,7 \text{eV}$
- podział półprzewodników:
  - elementarne - z atomów jednego pierwiastka (Si lub Ge)
  - złożone - z atomów dwóch, trzech różnych pierwiastków lub ich tlenków

## Wycinek układu okresowego pierwiastków

g r u p y

|                            |          |           |            |           |          |           |
|----------------------------|----------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|
|                            |          | <b>II</b> | <b>III</b> | <b>IV</b> | <b>V</b> | <b>VI</b> |
| o<br>k<br>r<br>e<br>s<br>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

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

## **półprzewodniki elementarne**

- do wytwarzania elementów indywidualnych (diod, tranzystorów) lub zintegrowanych, tzw. układów scalonych

## **półprzewodniki złożone**

- do wytwarzania:
  - przyrządów absorbujących światło lub ciepło (InSb, CdSe, PbTe, ZnSb)
  - przyrządów emitujących światło (GaAs, GaAsP, ZnS)
  - termistorów ( $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ )
  - warystorów (SiC)
  - hallotronów (InAs)

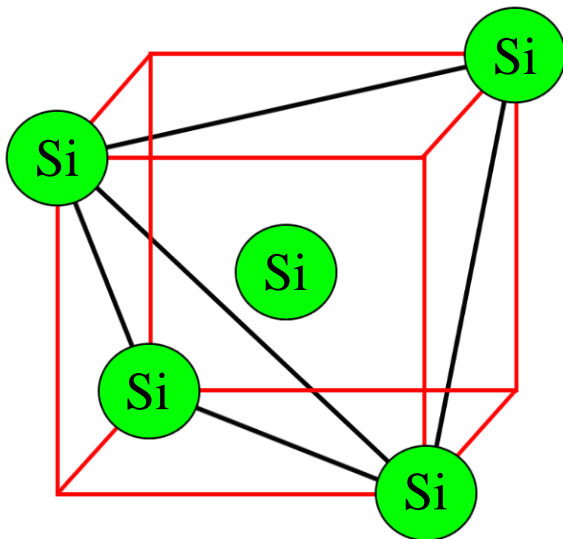
## Własności materiałów półprzewodnikowych

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

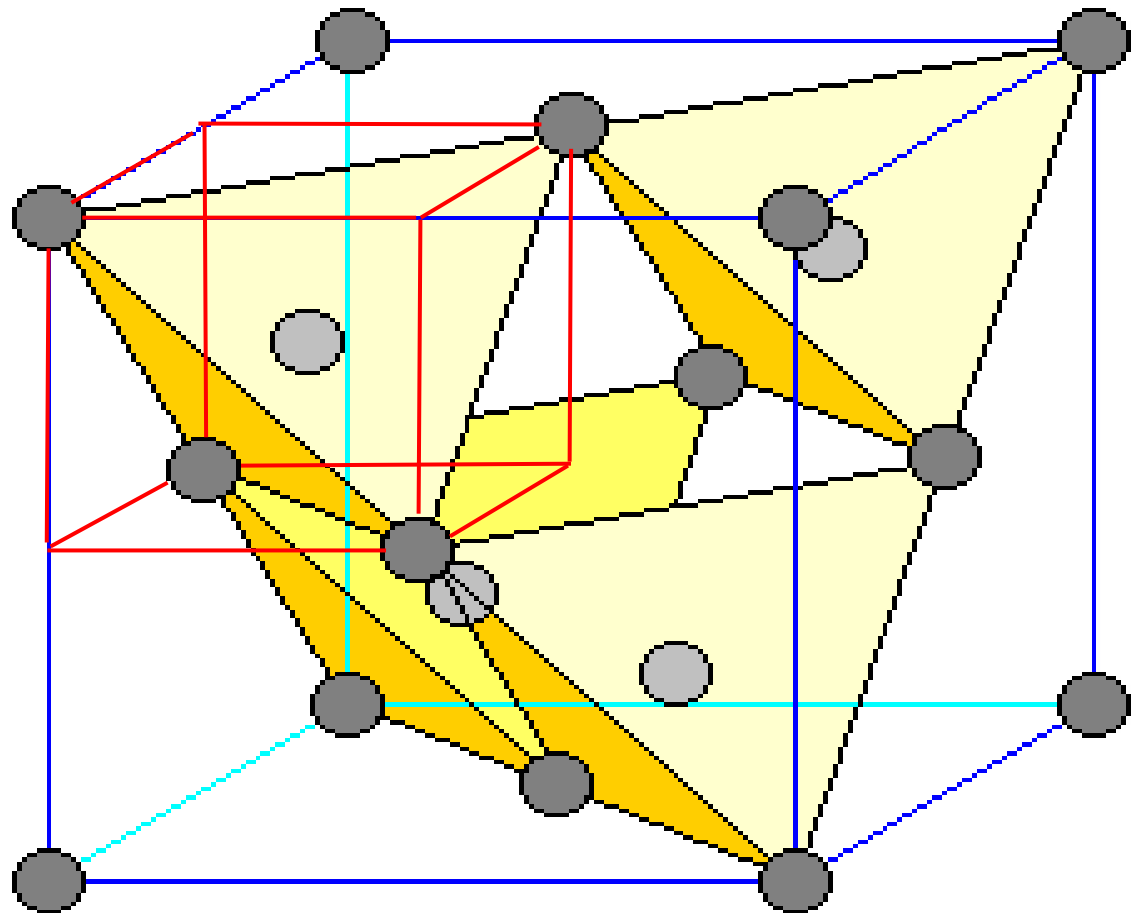
$$\frac{\text{cm}}{\text{s}} : \frac{\text{V}}{\text{cm}}$$

## Budowa półprzewodników elementarnych:

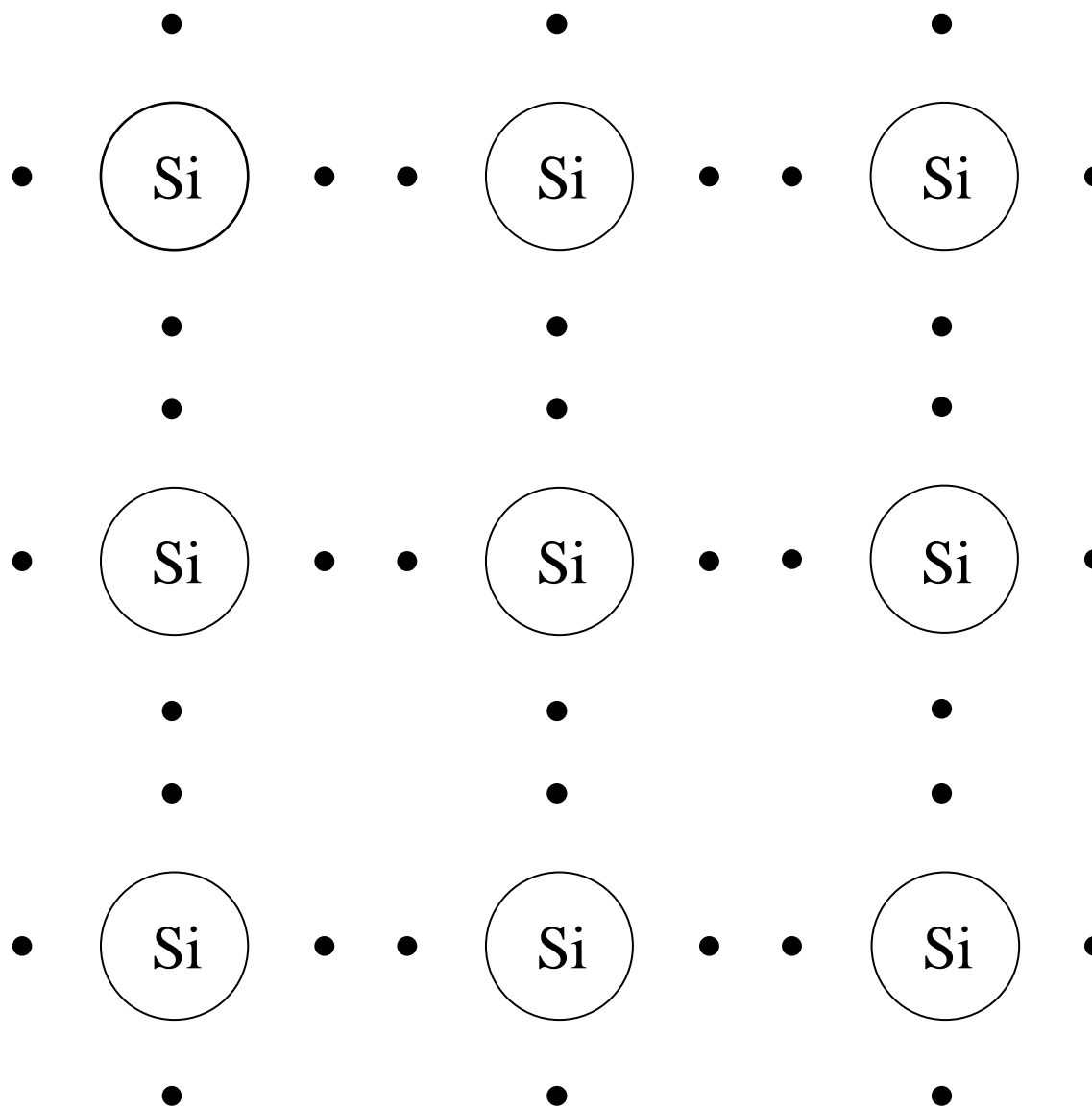
- najczęściej z krzemu, regularna budowa
- IV grupa układu okresowego (C, **Si**, Ge, Sn)
- podstawowy rodzaj wiązań - wiązanie kowalencyjne
- struktura diamentu A4



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

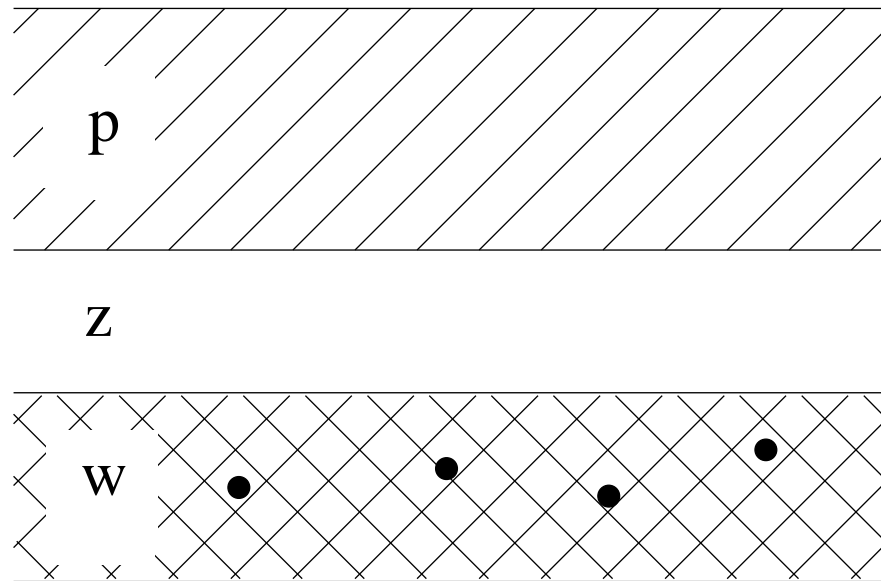


Komórka elementarna struktury krystalicznej diamentu



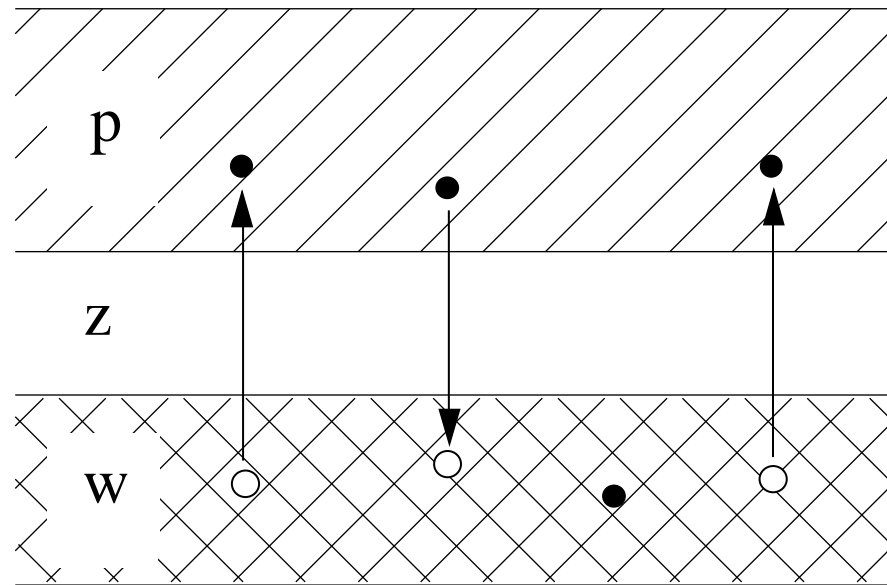
Obraz płaski wiązań kowalencyjnych w kryształe krzemu



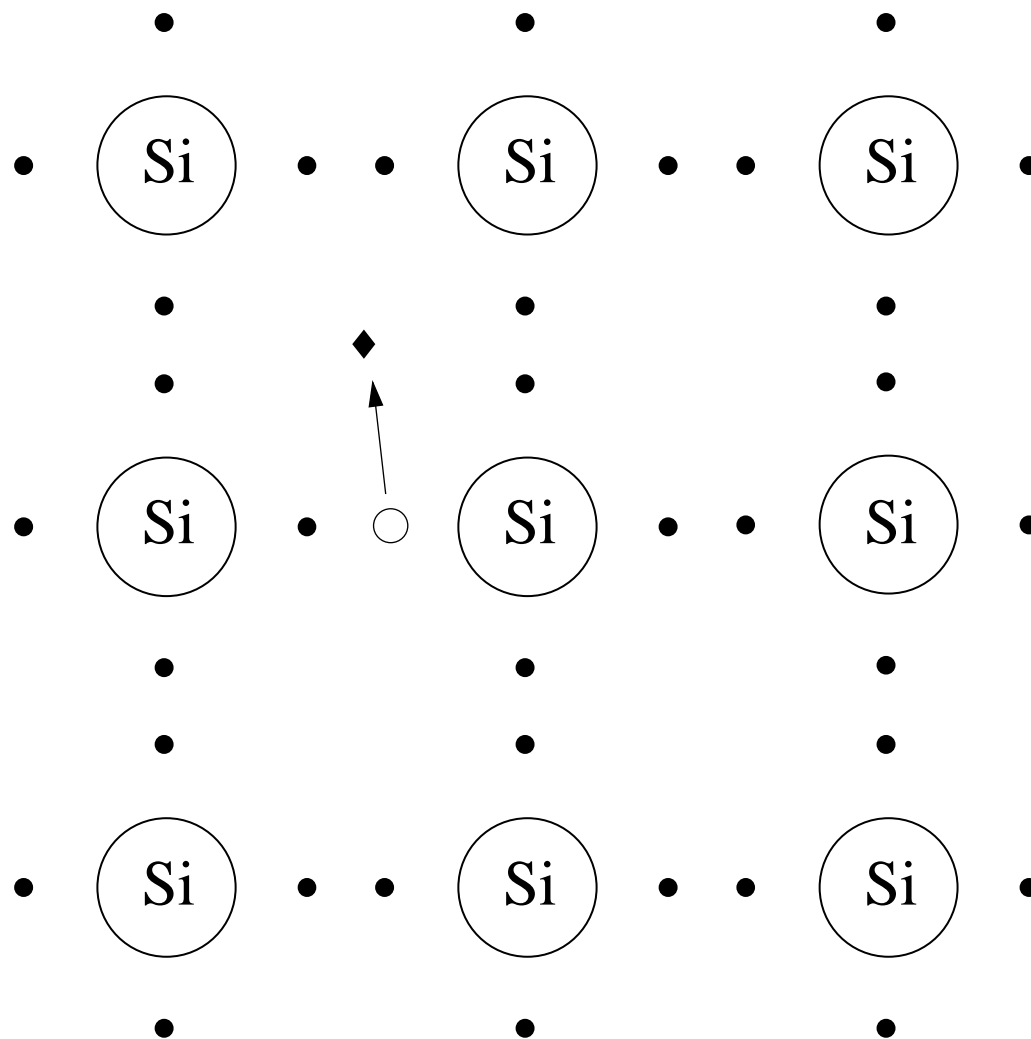


Model pasmowy półprzewodnika w stanie niewzbudzonym;  
 w, z, p - pasma: walencyjne, zabronione i przewodnictwa;  
 • – przykładowe elektrony

- około  $10^{23}$  atomów w  $1 \text{ cm}^3$  półprzewodnika
- około  $10^{13}$  swobodnych elektronów wyrwanych z wiązań ( $\sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$ )
- 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



Model pasmowy półprzewodnika w stanie wzbudzonym;  
 w, z, p – pasma: walencyjne, zabronione i przewodnictwa;  
 ● – przykładowe elektrony, ○ – przykładowe dziury



Obraz płaski wiązań kowalencyjnych w kryształe krzemu w stanie wzbudzonym; • – elektron walencyjny związany, ◆ – elektron walencyjny swobodny, ○ – dziura

## **Przewodnictwo półprzewodników samoistnych**

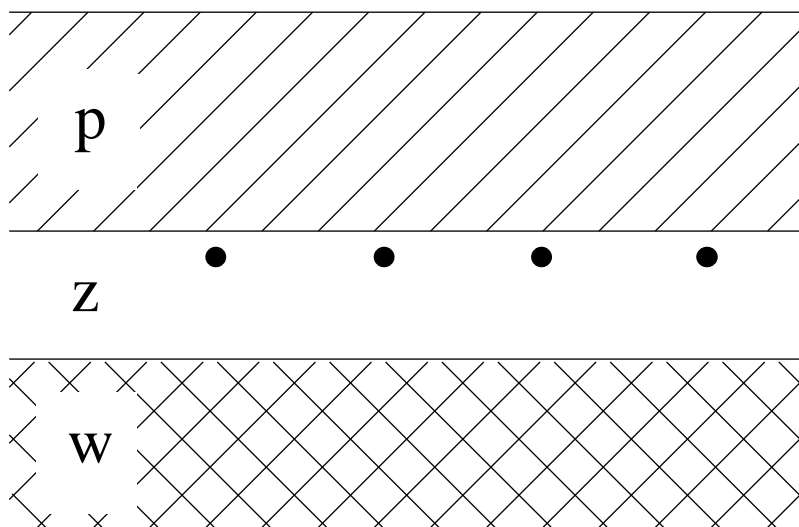
- półprzewodniki samoistne - chemicznie czyste
- pole elektryczne w półprzewodniku powoduje:
  - przepływ elektronów w paśmie przewodnictwa w kierunku potencjału wyższego (prąd elektronowy)
  - przepływ dziur w paśmie walencyjnym w kierunku potencjału niższego (prąd dziurowy)
- ruch dziur jest ruchem 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 swobodnych elektronów albo dziur

## domieszka donorowa:

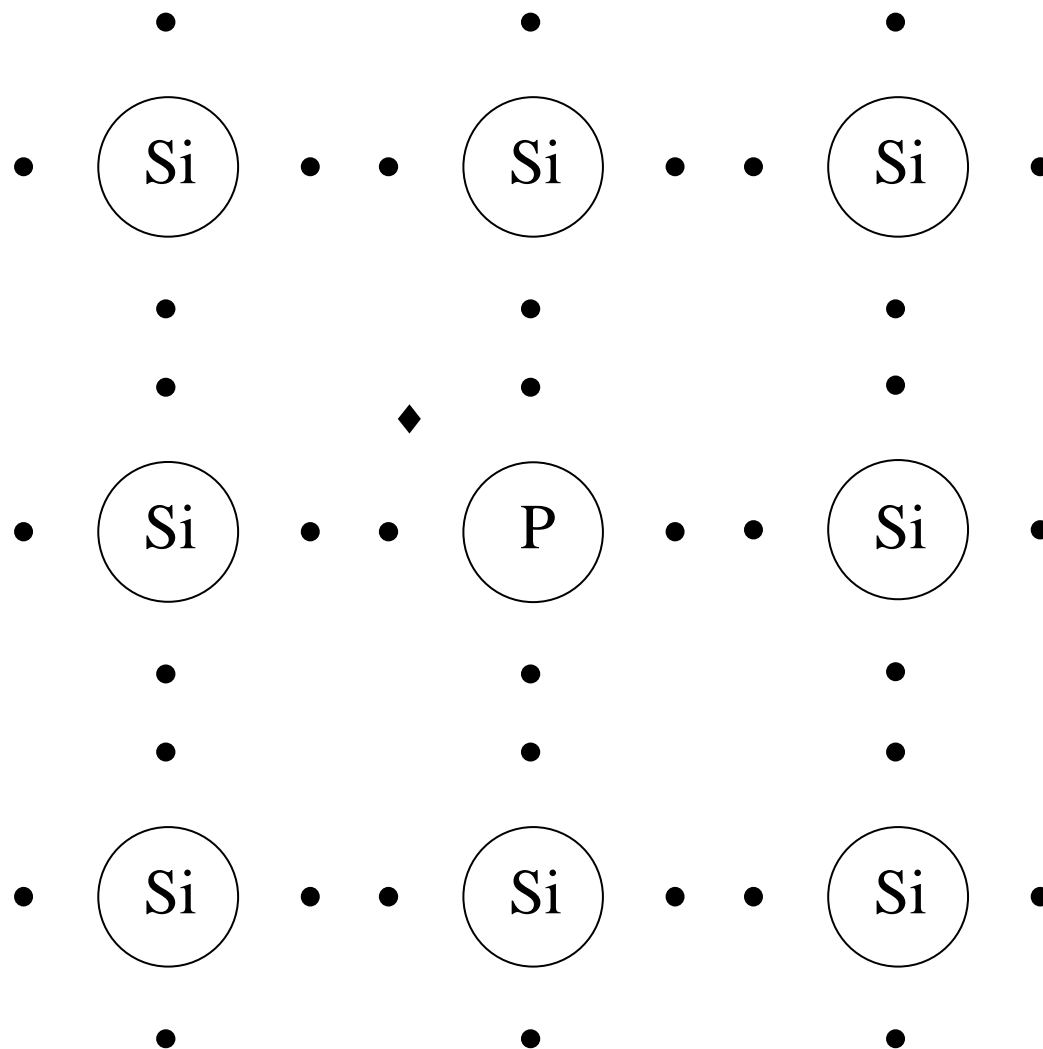
- pierwiastek o 5 elektronach walencyjnych (P, As, Sb, Bi)
- otrzymuje się półprzewodnik typu  $n$
- atomy domieszki zastępują atomy macierzyste zwykle w 1 na  $10^6$  węzłów sieci krystalograficznej
- wiążą się z sąsiednimi atomami czterema elektronami walencyjnymi
- poziom energetyczny piątego elektronu - pod pasmem przewodnictwa pierwiastka podstawowego



Model pasmowy półprzewodnika w stanie niewzbudzonym domieszkowanego donorowo; w, z, p - pasma odpowiednio: walencyjne, zabronione i przewodnictwa;

- – elektrony donora

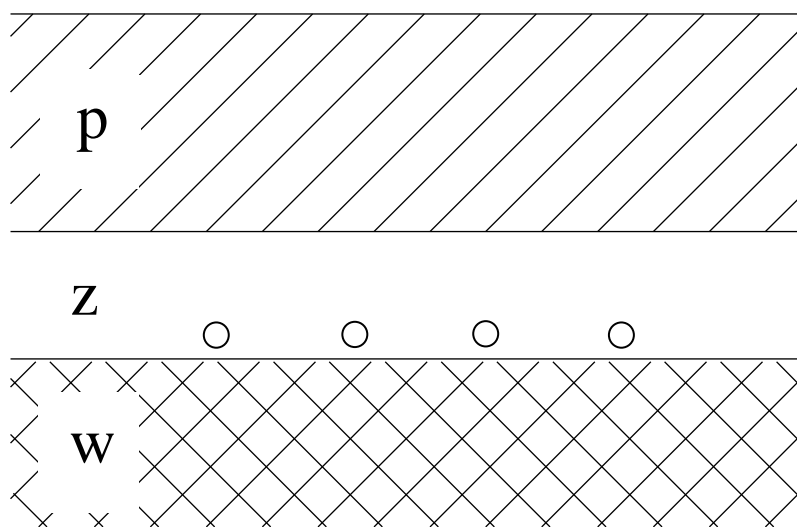
- przeniesienie do pasma przewodnictwa wolnego elektronu wymaga energii nie większej niż 0,05 eV



Obraz płaski wiązań kowalencyjnych w kryształie krzemu domieszkowanym donorowo; • – elektron walencyjny związany, ◆ – elektron walencyjny swobodny

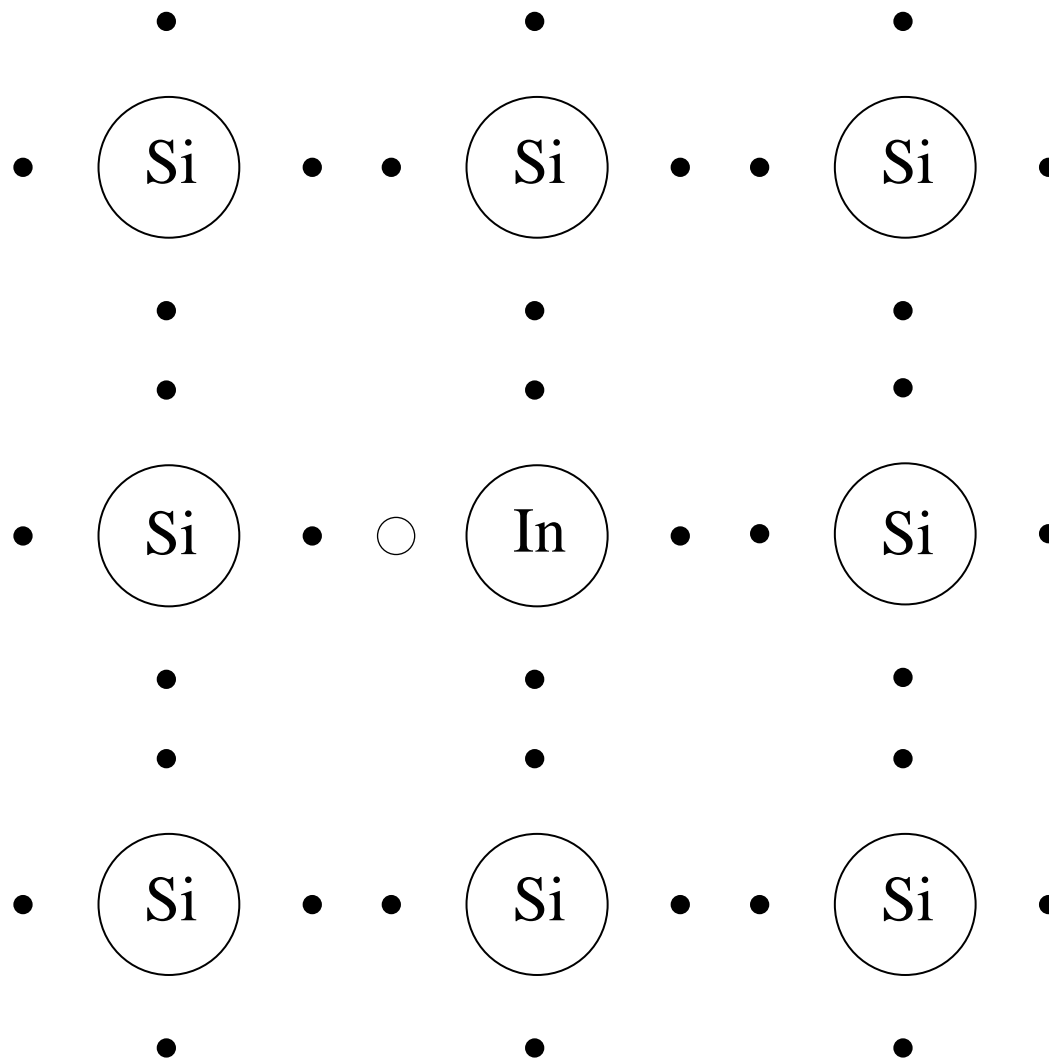
## domieszka akceptorowa:

- 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 trzema elektronami walencyjnymi
- brakuje elektronu do uwspólnienia z jednym z sąsiednich atomów
- poziom energetyczny dziur - nad pasmem walencyjnym pierwiastka podstawowego



Model pasmowy półprzewodnika w stanie nie wzbudzonym domieszkowanego akceptorowo; w, z, p - pasma odpowiednio: walencyjne, zabronione i przewodnictwa;  $\circ$  – dziury akceptora

- przeniesienie do pasma walencyjnego dziury wymaga energii w granicach od 0,01 do 0,16 eV



Obraz płaski wiązań kowalencyjnych w kryształe krzemu domieszkowanym akceptorowo; • – elektron walencyjny związany, ○ – dziura



## 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