

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, $\rho = 10^2 \dots 10^6 \Omega\text{m}$.

Podział ferrytów:

- ferryty proste,
- ferryty złożone.

Ferryty proste:

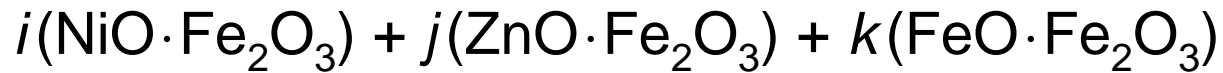
- Fe_2O_3 + tlenek jednego metalu dwuwartościowego, np.:
Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd.

Przykładowe ferryty proste:



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 od magnesowania 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,
- przekaźnikach,
- 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 ρ : od $10 \mu\Omega\text{m}$ do $10 \text{M}\Omega\text{m}$)

Rezystywność ρ 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 | 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 | |

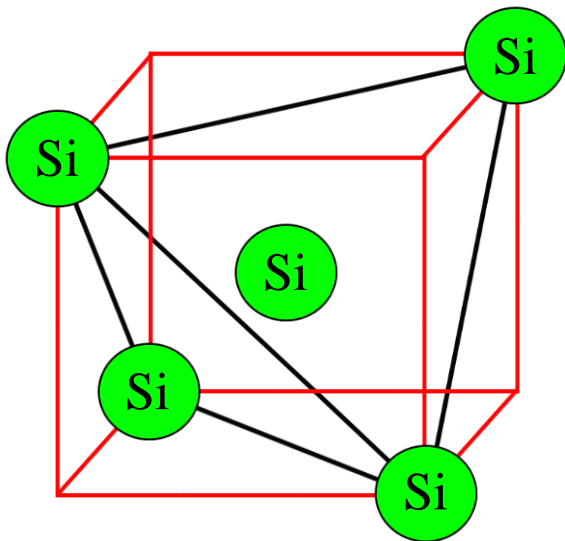
Własności materiałów półprzewodnikowych

| Materiał półprzewodnikowy | 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 |

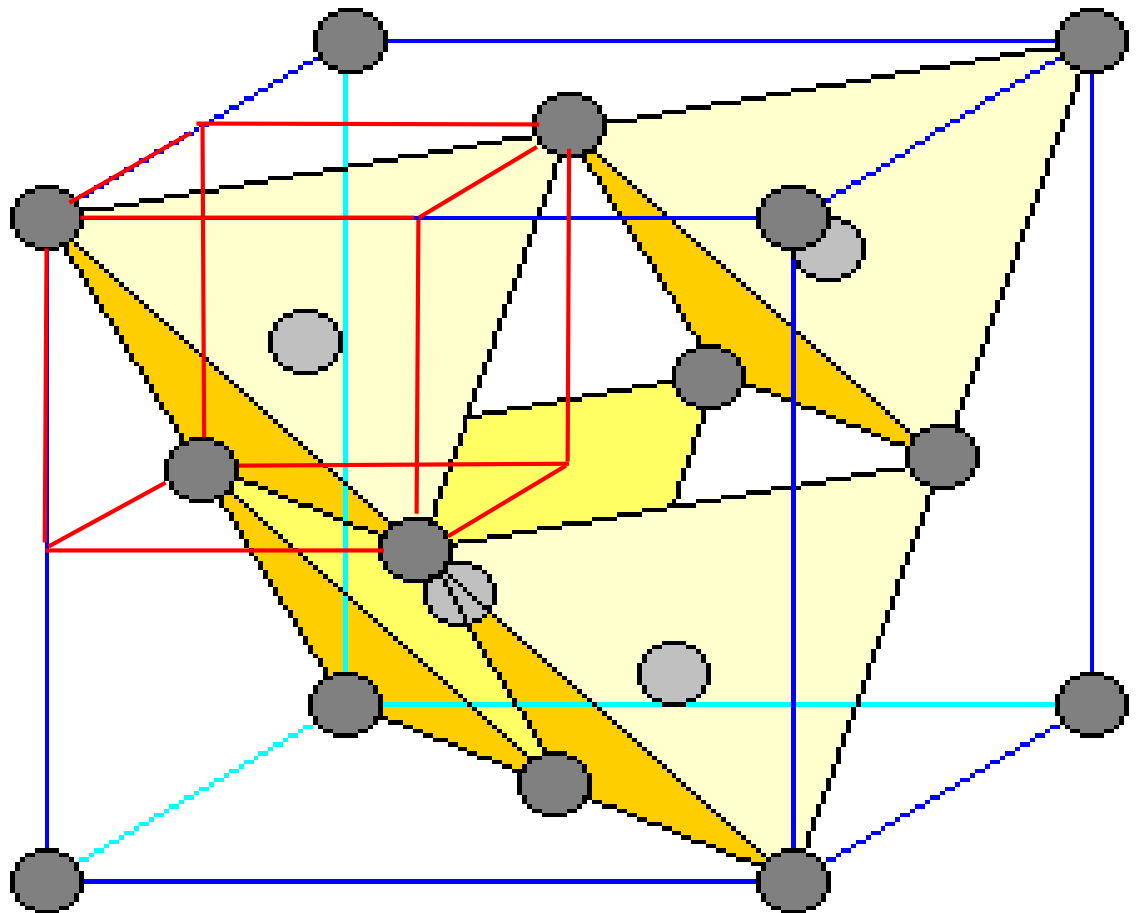
$$\frac{\text{cm}}{\text{s}} / \frac{\text{V}}{\text{cm}}$$

Budowa półprzewodników elementarnych:

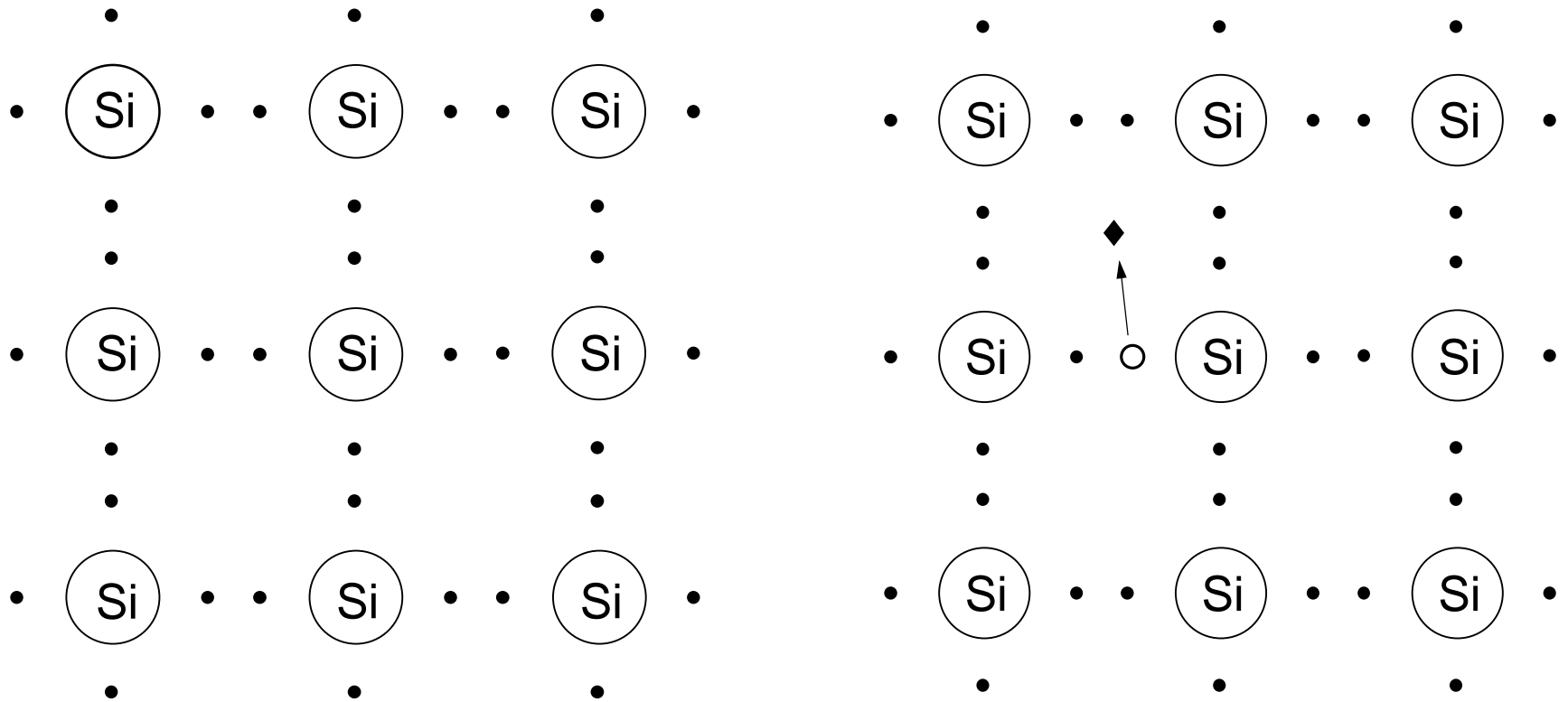
- najczęściej z krzemu, regularna budowa,
- IV grupa układu okresowego (C, **Si**, **Ge**, Sn),
- podstawowy rodzaj wiązań - wiązanie kowalencyjne,
- struktura diamentu A4.



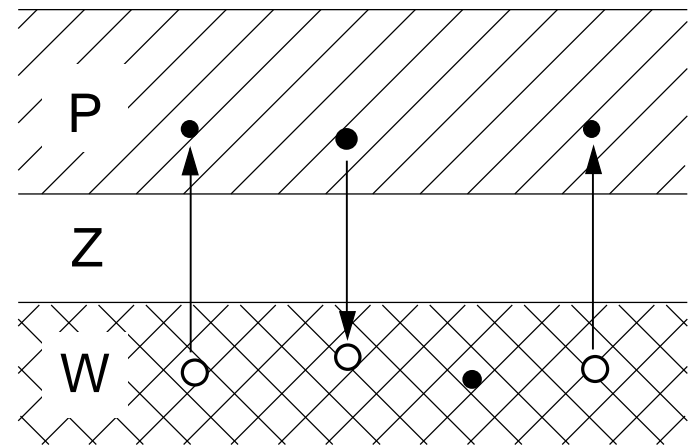
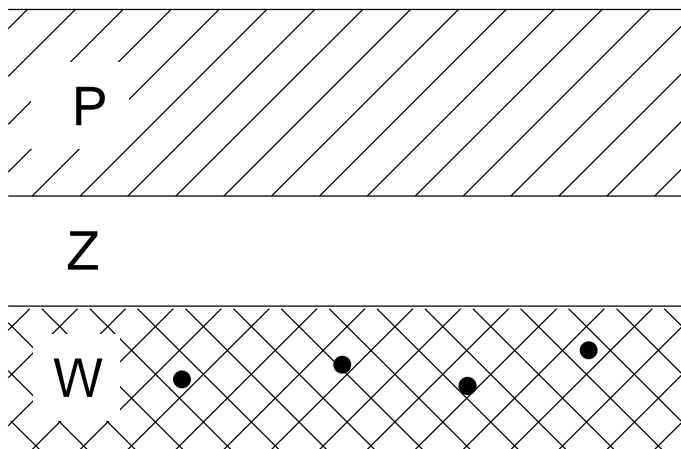
Układ przestrzenny
wybranego atomu
centralnego i czterech
najbliższych atomów
sąsiednich w sieci
krystalicznej Si



Komórka elementarna struktury
krystalicznej diamentu



Obraz płaski wiązań kowalencyjnych w kryształie 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 139

Przewodnictwo półprzewodników samoistnych:

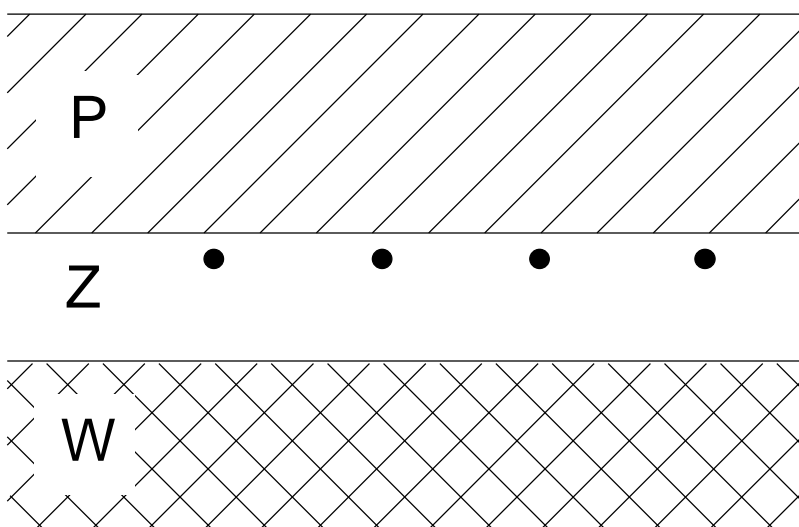
- półprzewodniki samoistne - chemicznie czyste,
- około 10^{23} atomów w 1 cm^3 półprzewodnika,
- około 10^{13} swobodnych elektronów wyrwanych z wiązań (20°C),
- zerwanie wiązania przy jednym atomie na 10^{10} atomów,
- powstawanie i rekombinacja par elektron-dziura,
- w stanie wzbudzenia - przejście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

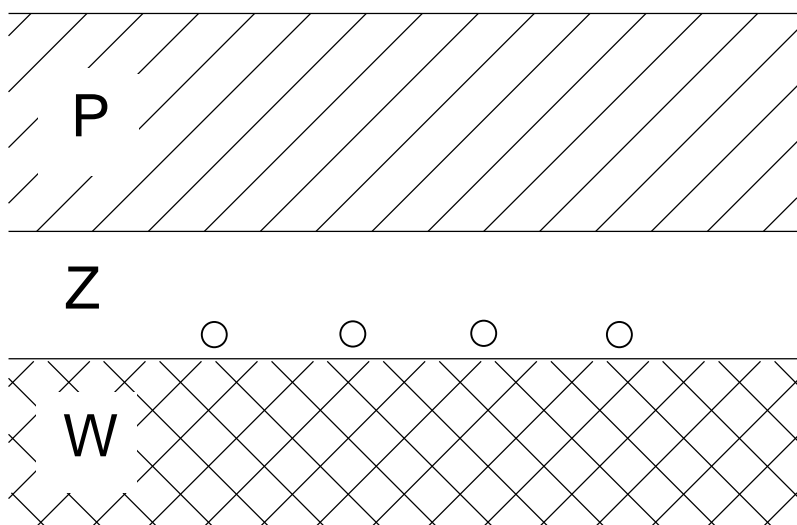
- pierwiastek o 5 elektronach walencyjnych (P, As, Sb, Bi),
- otrzymuje się półprzewodnik typu n ,
- atomy domieszki zastępują atomy macierzyste zwykle w 1 na 10^6 węzłów sieci krystalograficznej,
- wiążą się z sąsiednimi atomami 4 elektronami walencyjnymi,
- poziom energetyczny piątego elektronu - pod 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;

o - 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 ,
- 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***.