

## Przewodniki, półprzewodniki, izolatory i ich zastosowania §14.1 - 14.3

1. Podział substancji ze względu na opór właściwy
2. Klasyczny obraz przewodnictwa metali - prędkość unoszenia elektronów
3. Zależność oporu przewodników i półprzewodników od temperatury
4. Przewodnictwo cieczy
5. Półprzewodniki samoistne - elektrony i dziury
6. Półprzewodniki domieszkowe - typu p i typu n
7. Dioda półprzewodnikowa
8. Zastosowanie diody półprzewodnikowej jako prostownika prądu przemiennego

Nośniki ładunku elektrycznego:

- a) w metalach - elektrony swobodne
- b) w cieczach - jony dodatnie (kationy) + jony ujemne (aniony) – powstają wskutek dysocjacji elektrolitycznej, w czasie przepływu prądu w cieczy - elektroliza (wydzielanie się substancji na elektrodach)
- c) w półprzewodnikach - elektrony + "dziury"

Zależność oporu elektrycznego od temperatury

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$\rho(t) = \rho(t_0)[1 + \alpha(t - t_0)]$$

$\rho$  - opór właściwy

$$\frac{1}{\rho} = \sigma$$

przewodnictwo właściwe

$$R = R_0 (1 + \alpha t)$$

$\alpha$  – współczynnik temperaturowy oporu

dla metali  $\alpha > 0$

dla półprzewodników  $\alpha < 0$

	$\rho$ [ $\Omega \cdot m$ ]	
przewodniki	srebro	$1,6 \cdot 10^{-8}$
	miedź	$1,7 \cdot 10^{-8}$
	złoto	$2,4 \cdot 10^{-8}$
	aluminium	$2,8 \cdot 10^{-8}$
	żelazo	$9,8 \cdot 10^{-8}$
	german	0,5
izolatory	krzem	$2,3 \cdot 10^{-3}$
	szkło	$10^9 - 10^{13}$
	ebonit	$10^{12} - 10^{14}$
ciecze	polietylen	$10^{13} - 10^{15}$
	woda destylowana	$10^{-3} - 10^{-4}$
	woda rzeczna	10 - 100
	woda morska	0,3
	spirytus etylowy	$1,5 \cdot 10^5$
powietrze	$10^{15} - 10^{18}$	

Tabela 1. Przewodnictwo elektryczne niektórych metali w temperaturze pokojowej.

Rodzaj metalu	Obliczona Wartość natężenia Prądu I[A] dla U = 1[V]	Opór właściwy $\rho$ [ $\Omega \cdot m$ ]	Przewodnictwo Właściwe $\sigma$ [ $\Omega \cdot m$ ] <sup>-1</sup>
Au	$4,09 \cdot 10^4$	$2,44 \cdot 10^{-4}$	$4,09 \cdot 10^4$
Ag	$62,5 \cdot 10^6$	$1,62 \cdot 10^{-8}$	$62,5 \cdot 10^6$
Pt	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^4$
Cu	$5,91 \cdot 10^3$	$1,69 \cdot 10^{-4}$	$5,91 \cdot 10^3$

Tabela 3. Wartości przewodnictwa elektrycznego niektórych półprzewodników samoistnych w temperaturze 300K.

Rodzaj Półprzewodnika	Koncentracja Ruchliwych nośników Ładunku [ $m^{-1}$ ]	Opór właściwy [ $\Omega m$ ]	Przewodnictwo Właściwe [ $\Omega^{-1} m^{-1}$ ]
German Ge	$N \approx P \approx 2,4 \cdot 10^{19}$	0.5	2
Krzem Si	$N \approx P \approx 1,5 \cdot 10^{16}$	$2,3 \cdot 10^3$	$4,34 \cdot 10^{-4}$
Arsenek galu GaAs	$N \approx P \approx 7 \cdot 10^{12}$	$7,0 \cdot 10^5$	$1,42 \cdot 10^{-6}$

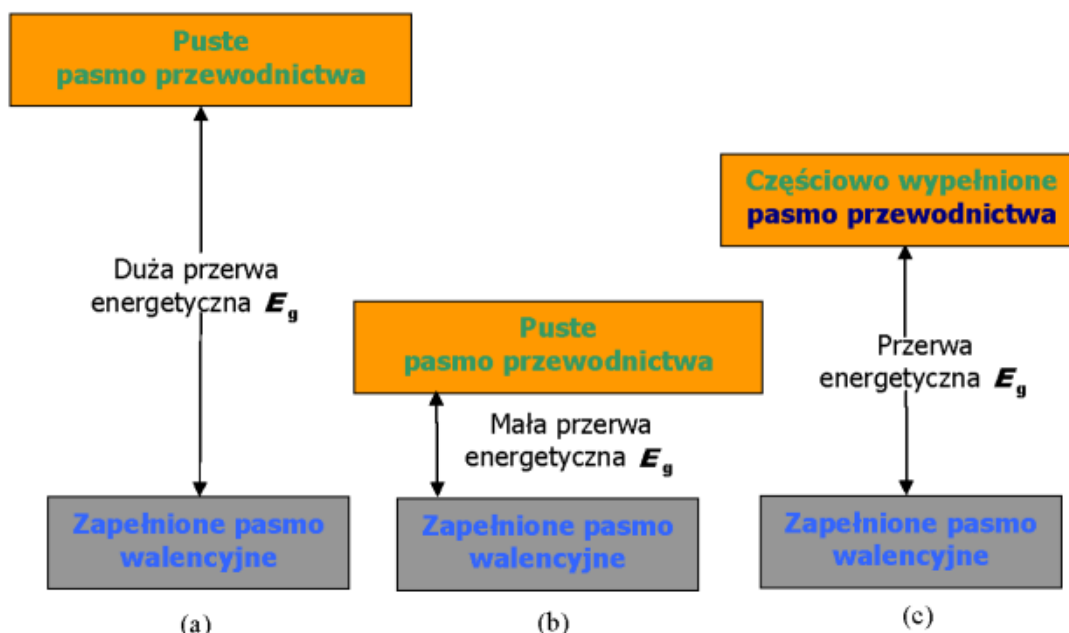
Izolatory (dielektryki) mają bardzo duży opór elektryczny / bardzo małe przewodnictwo właściwe

Tabela 2. Przewodnictwa elektrycznego niektórych dielektryków w temperaturze pokojowej.

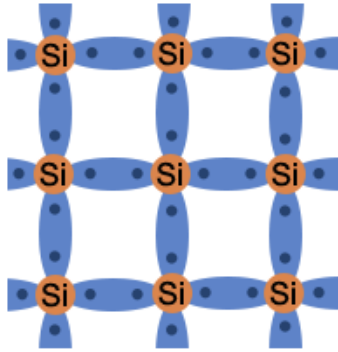
Rodzaj dielektryka	Obliczona Wartość natężenia Prądu I[A] dla $U = 1[V]$	Opór właściwy $\rho[\Omega \cdot m]$	Przewodnictwo Właściwe $\sigma[\Omega \cdot m]^{-1}$
$Al_2O_3$	$10^{-15} \div 10^{-20}$	$10^{15} \div 10^{20}$	$10^{-15} \div 10^{-20}$
mika	$10^{-17} \div 10^{-18}$	$10^{17} \div 10^{18}$	$10^{-17} \div 10^{-18}$
teflon	$10^{-17} \div 10^{-21}$	$10^{17} \div 10^{21}$	$10^{-17} \div 10^{-21}$
polietylen	$10^{-15} \div 10^{-21}$	$10^{15} \div 10^{21}$	$10^{-15} \div 10^{-21}$

### Pasmowy model przewodnictwa

Z każdego poziomu energetycznego atomu w ciele stałym (kryształ) tworzy się pasmo energetyczne (zespół bardzo blisko położonych poziomów). Interesuje nas ostatnie pasmo, w którym w stanie podstawowym znajdują się elektrony. Jeżeli nie jest całkowicie wypełnione, może płynąć prąd – są elektrony i mogą zmieniać położenie. Jeżeli jest wypełnione, prąd nie popłynie.



W półprzewodniku (b) w temperaturze  $> 0$  niektórym elektronom z zapełnionego pasma (walencyjnego) starcza energii, żeby przenieść się do pasma przewodnictwa. W paśmie przewodnictwa są elektrony – swobodne. W paśmie walencyjnym powstają tzw. dziury. W miejsce elektronów, które przeniosły się do pasma przewodnictwa, czyli do powstałych jonów mogą przeskakiwać elektrony z sąsiednich atomów.



Półprzewodnik (samoistny) - liczba elektronów swobodnych zależy od temperatury. Ze wzrostem temperatury opór półprzewodnika maleje, ponieważ zwiększa się ilość elektronów swobodnych.

**Wartości szerokości przerw energetycznych niektórych półprzewodników**

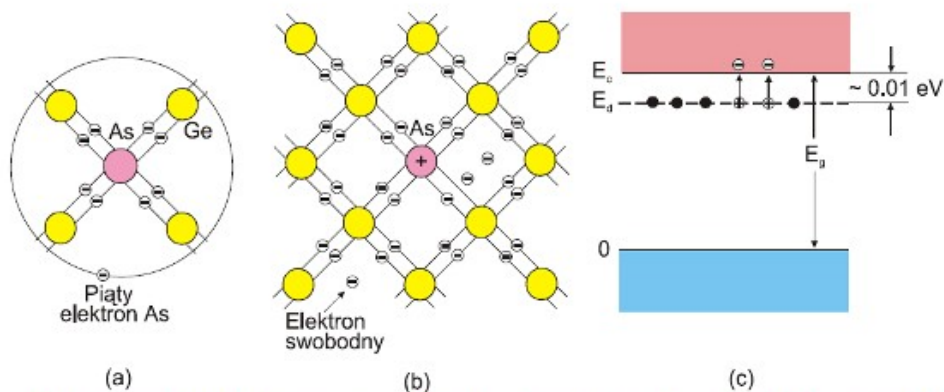
Półprzewodnik	$E_g$ w 300 K (eV)
Pierwiastki	
Si	1.12
Ge	0.67
Diament	5.30
$\alpha$ -Sn	0.08
Związki $A^{III}B^V$	
GaAs	1.35
GaP	2.24
InAs	0.36
InSb	0.18
GaN	3.39
Związki $A^{II}B^{VI}$	
CdS	2.42
CdSe	1.73
CdTe	1.50
ZnTe	2.25

Dziury

Grupa $\Rightarrow$ Okres $\Downarrow$	II	III	IV	V	VI	VII
II		B 1.1	C 5.2			
III			Si 1.1	P 1.5	S 2.5	
IV			Ge 0.7	As 1.2	Se 1.7	
V			Sn 0.08	Sb 0.12	Te 0.36	J 1.25
VI						

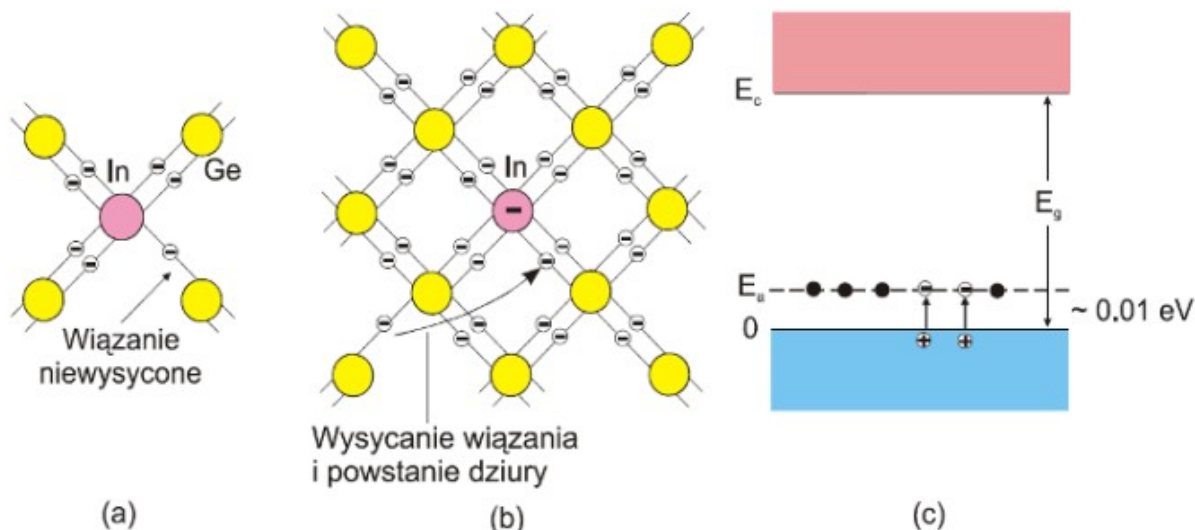
Rys. 17.1. Rozmieszczenie półprzewodników w układzie okresowym pierwiastków. Obok symbolu pierwiastka podano wartość przerwy energetycznej w eV.

## Półprzewodnik domieszkowy typu n



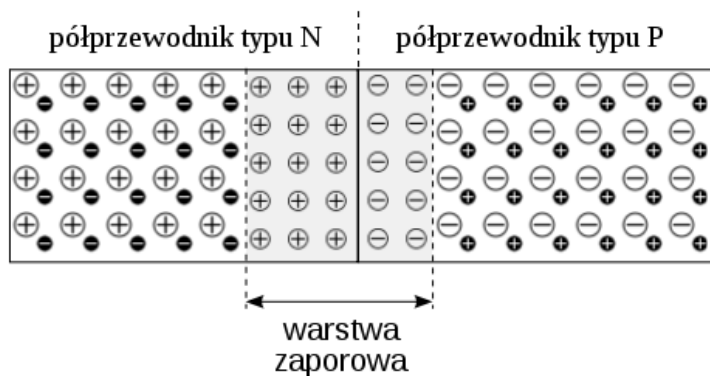
Rys. 17.3. Półprzewodnik typu n. Część atomów Ge zostaje zastąpiona przez pięciowartościowe atomy domieszki As: (a) w 0 K atom domieszki jest niezjonizowany, piąty elektron nie biorący udziału w wiązaniu ma energię wiązania wynoszącą setne części elektronowolta, a promień odbity - kilkadziesiąt Å; (b) w  $T > 0$  K następuje jonizacja atomów domieszki i powstanie swobodnych elektronów, (c) położenie poziomu donorowego  $E_d$ .

## Półprzewodnik domieszkowy typu p



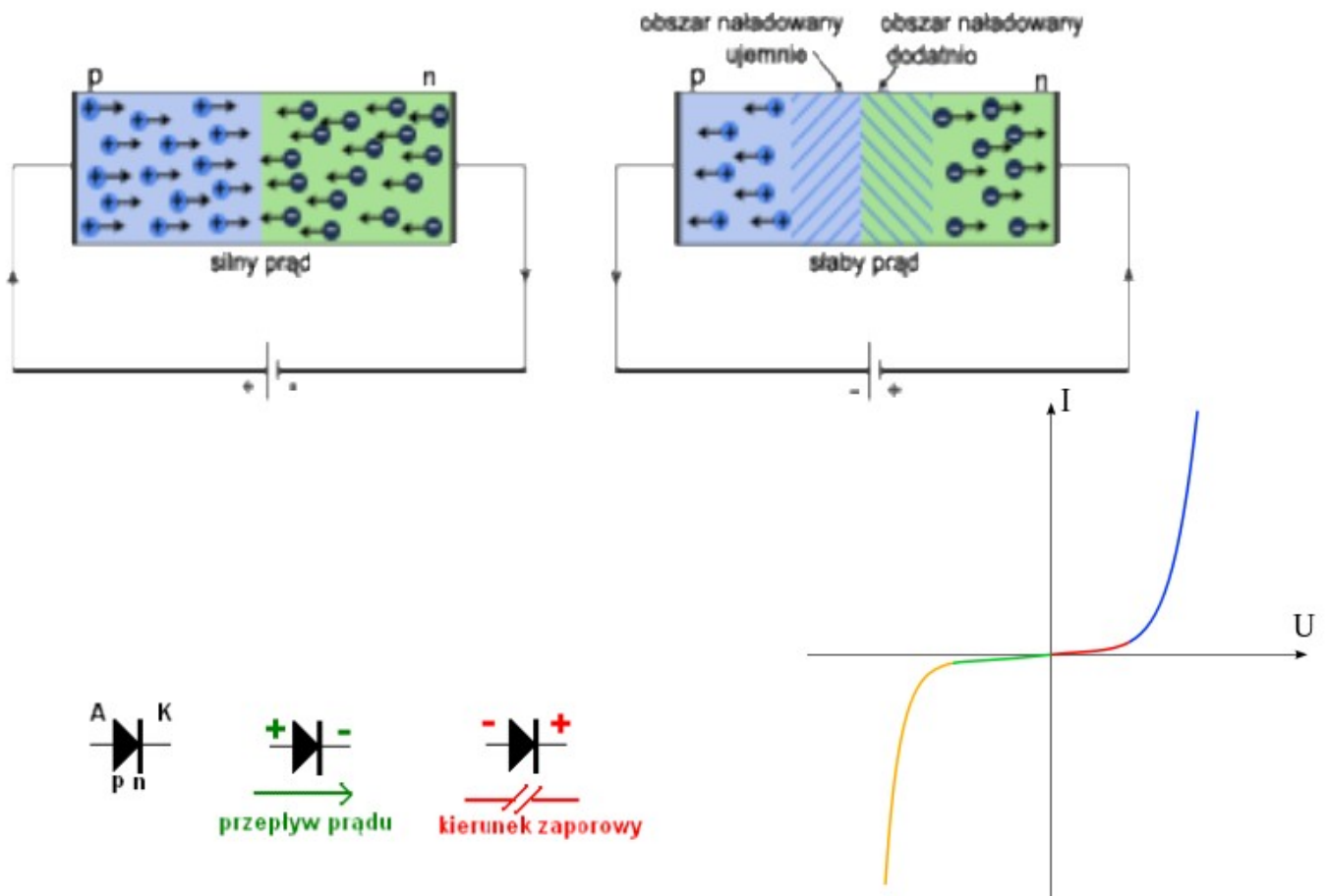
Rys. 17.4. Półprzewodnik typu p. Część atomów germanu zostaje zastąpiona przez trójwartościowe atomy domieszki In: (a) w temperaturze 0 K atom domieszki ma czwarte wiązanie niewysyczone; (b) w temperaturze  $T > 0$  K następuje wysycenie wiązania atomu domieszki i jednocześnie pojawienie się dziury; (c) położenie poziomu akceptorowego  $E_a$ .

## Dioda półprzewodnikowa



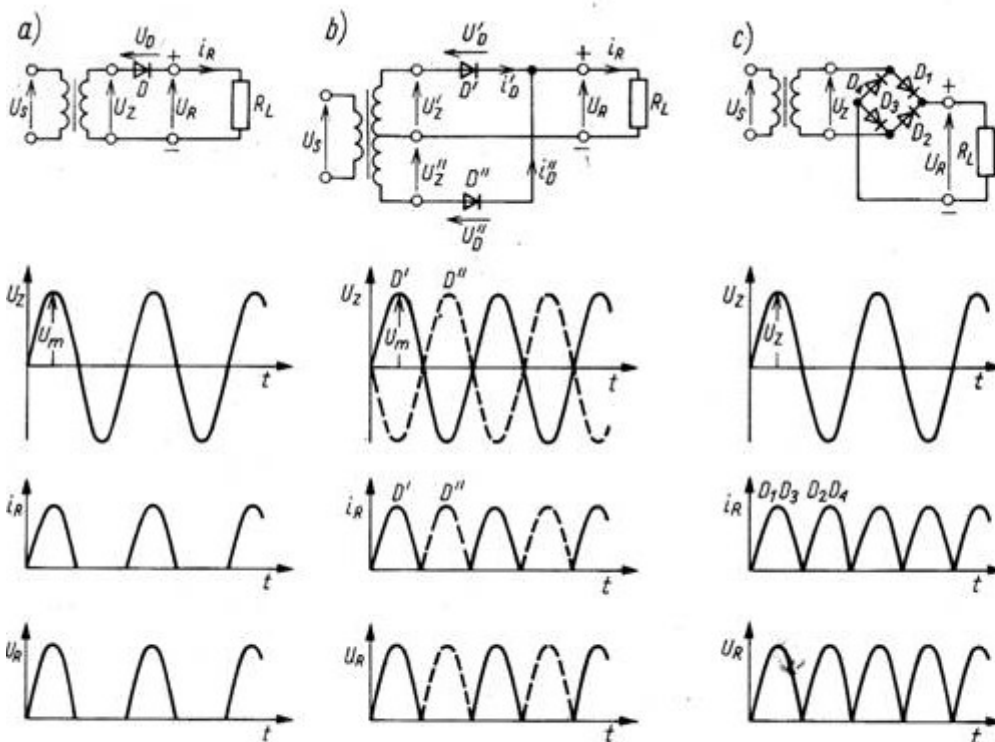
- $\oplus$  jon dodatni
- $\ominus$  jon ujemny
- $\oplus$  domieszka donorowa (jon+elektron)
- $\ominus$  domieszka akceptorowa (jon+dziura)



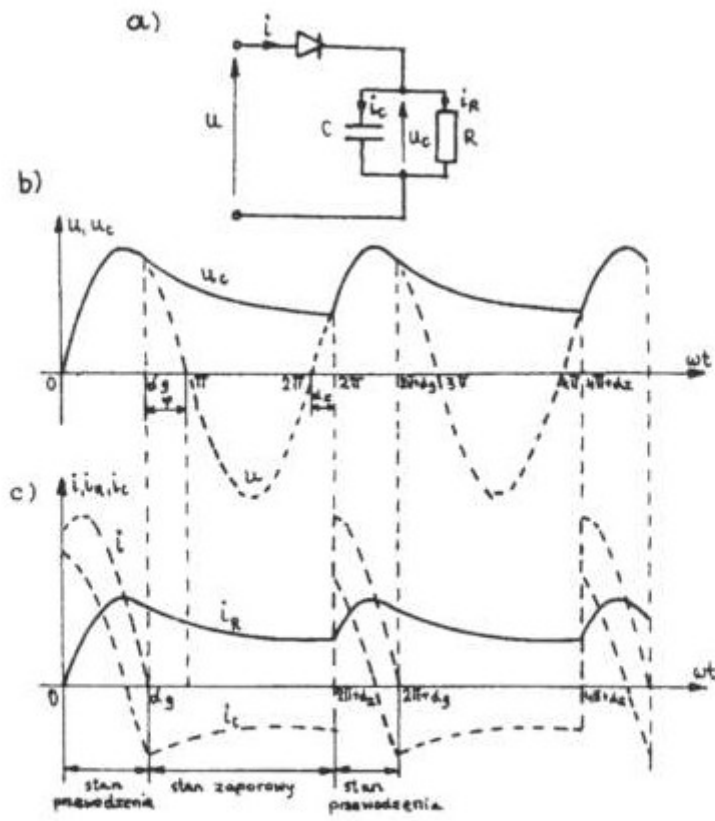


[https://pl.wikipedia.org/wiki/Z%C5%82%C4%85cze\\_p-n](https://pl.wikipedia.org/wiki/Z%C5%82%C4%85cze_p-n)

### Dioda półprzewodnikowa jako prostownik



[https://www.bryk.pl/wypracowania/pozosta%C5%82e/elektrotechnika/14664-badanie\\_uk%C5%82ad%C3%B3w\\_prostowniczych.html](https://www.bryk.pl/wypracowania/pozosta%C5%82e/elektrotechnika/14664-badanie_uk%C5%82ad%C3%B3w_prostowniczych.html)



Rys.7. Prostownik półfalowy obciążony gałęzią równoległą RC:  
a) schemat układu, b) przebiegi napięć, c) przebiegi prądów