

ELEKTRONIKA
WYKŁAD 01

PÓŁPRZEWODNIKI

PROGRAM PRZEDMIOTU

1. Podstawy fizyki półprzewodników. Złącze p-n
2. Dioda półprzewodnikowa. Charakterystyka prądowo-napięciowa diody. Zastosowanie diod półprzewodnikowych w układach elektronicznych
3. Tranzystor bipolarny. Stany pracy i układy pracy tranzystora. Charakterystyki prądowo-napięciowe.
4. Analiza stałoprądowych układów tranzystorowych.
5. Analiza układów tranzystorowych przy pobudzeniu sinusoidalnym. Model czwórnikowy tranzystora.
6. Wzmacniacz tranzystorowy. Analiza wzmacniacza w układzie wspólnego emitera.
7. Wzmacniacz operacyjny idealny i rzeczywisty.
8. Aplikacje liniowe wzmacniacza operacyjnego
9. Aplikacje nieliniowe wzmacniacza tranzystorowego
10. Układy zasilania układów elektronicznych.

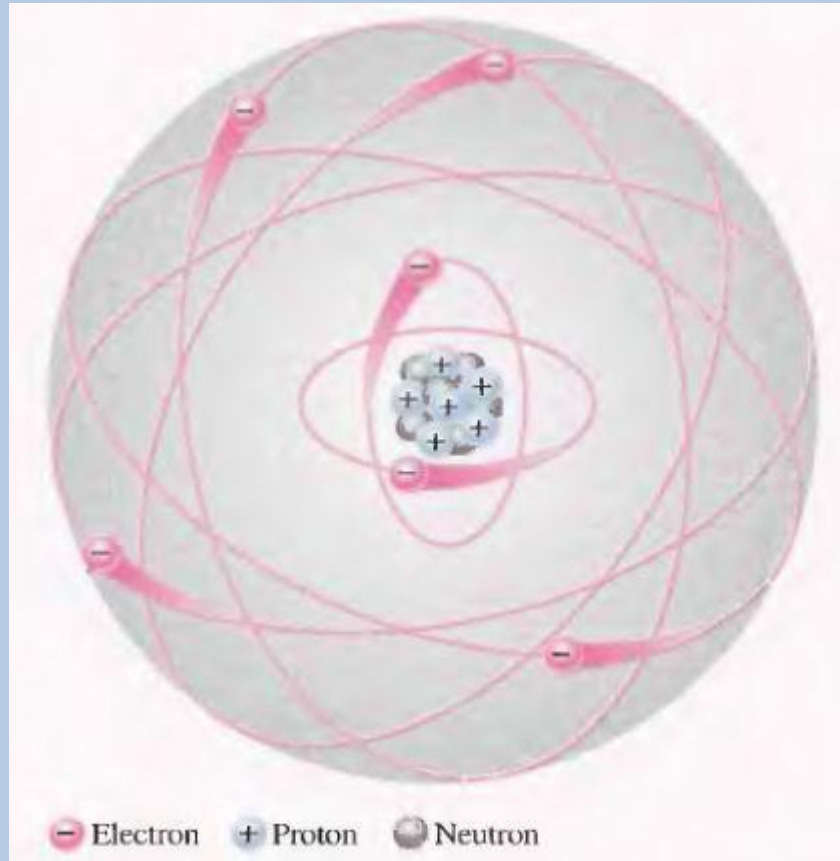
WARUNKI ZALICZENIA PRZEDMIOTU

- Przedmiot składa się z dwóch form : wykładu i laboratorium
- Obecność na laboratorium jest **OBOWIĄZKOWA**
- Każda z form jest oceniana niezależnie, przy czym warunkiem przystąpienia do zaliczenia wykładu jest zaliczenie laboratorium
- Ocena z przedmiotu jest ważona : 60 % oceny z wykładów + 40 % oceny z laboratorium, przy czym każda z form **MUSI** być zaliczona na co najmniej ocenę dostateczną

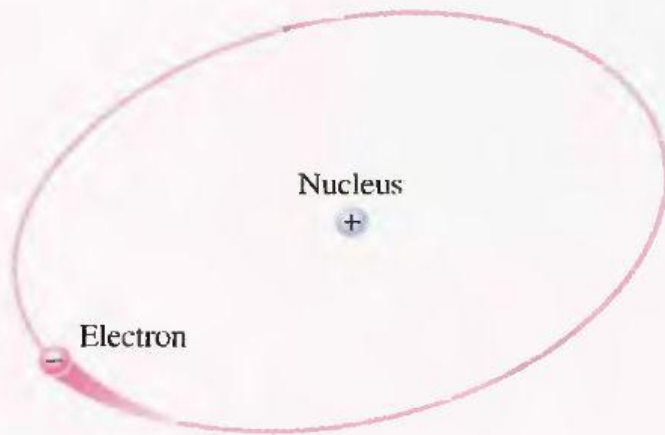
LITERATURA

- Horowitz P., Hil W. - Sztuka elektroniki
- Tietze U., Schenk C. - Układy półprzewodnikowe
- Watson J. - Elektronika
- Carter B., Mancini R. - Wzmacniacze operacyjne teoria i praktyka
- Górecki P. – Wzmacniacze operacyjne
- Dobrowolski A. – Projektowanie i analiza wzmacniaczy małosygnalowych

MODEL ATOMU BOHRA



Liczba atomowa określa ilość protonów w jądrze atomu i ilość elektronów na krążących na orbitach wokół jądra



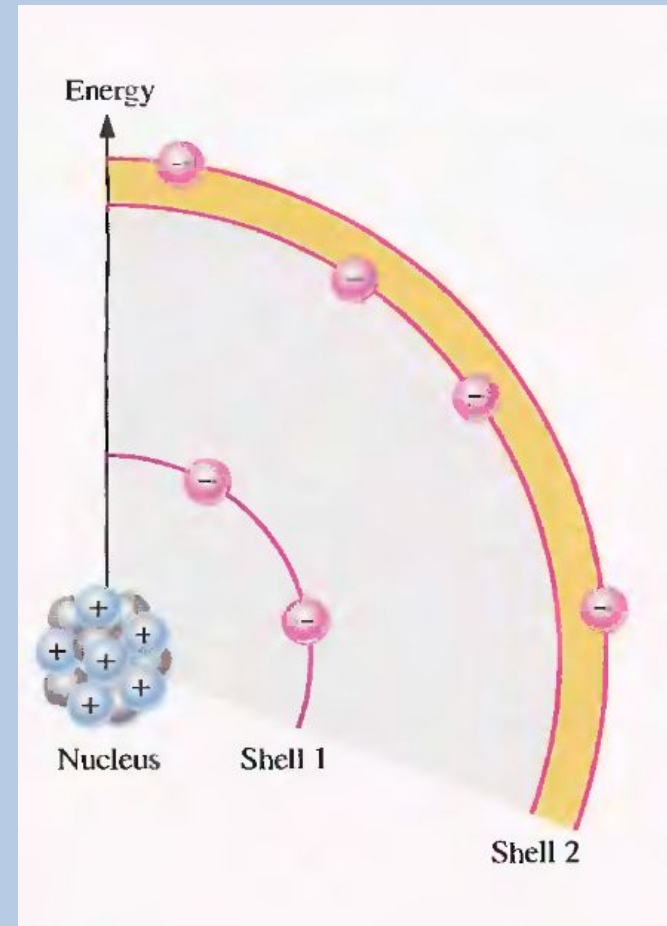
(a) Hydrogen atom



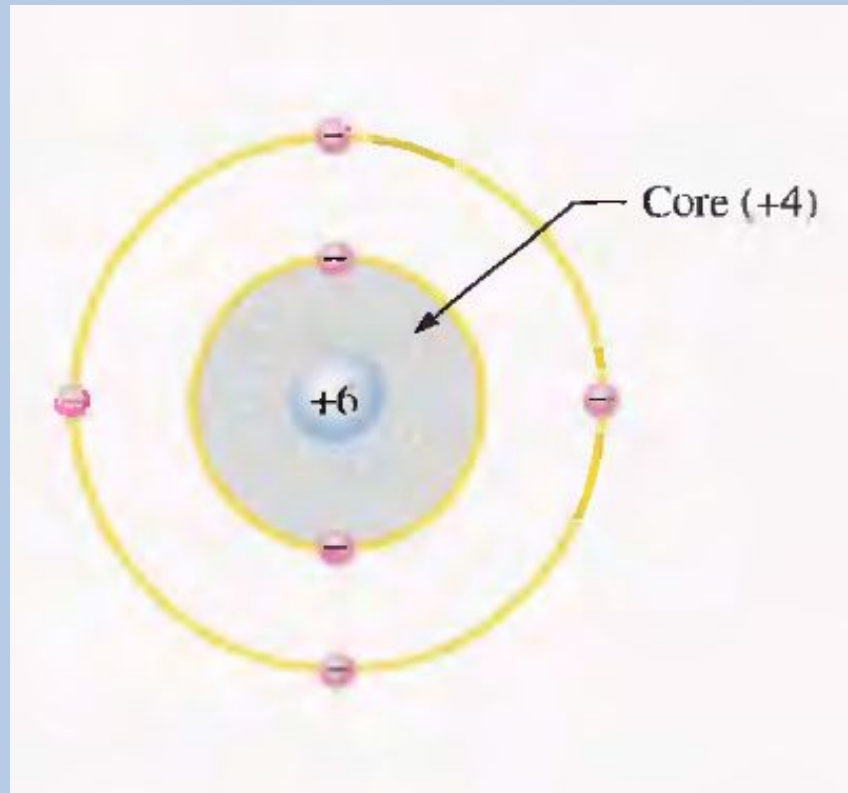
(b) Helium atom

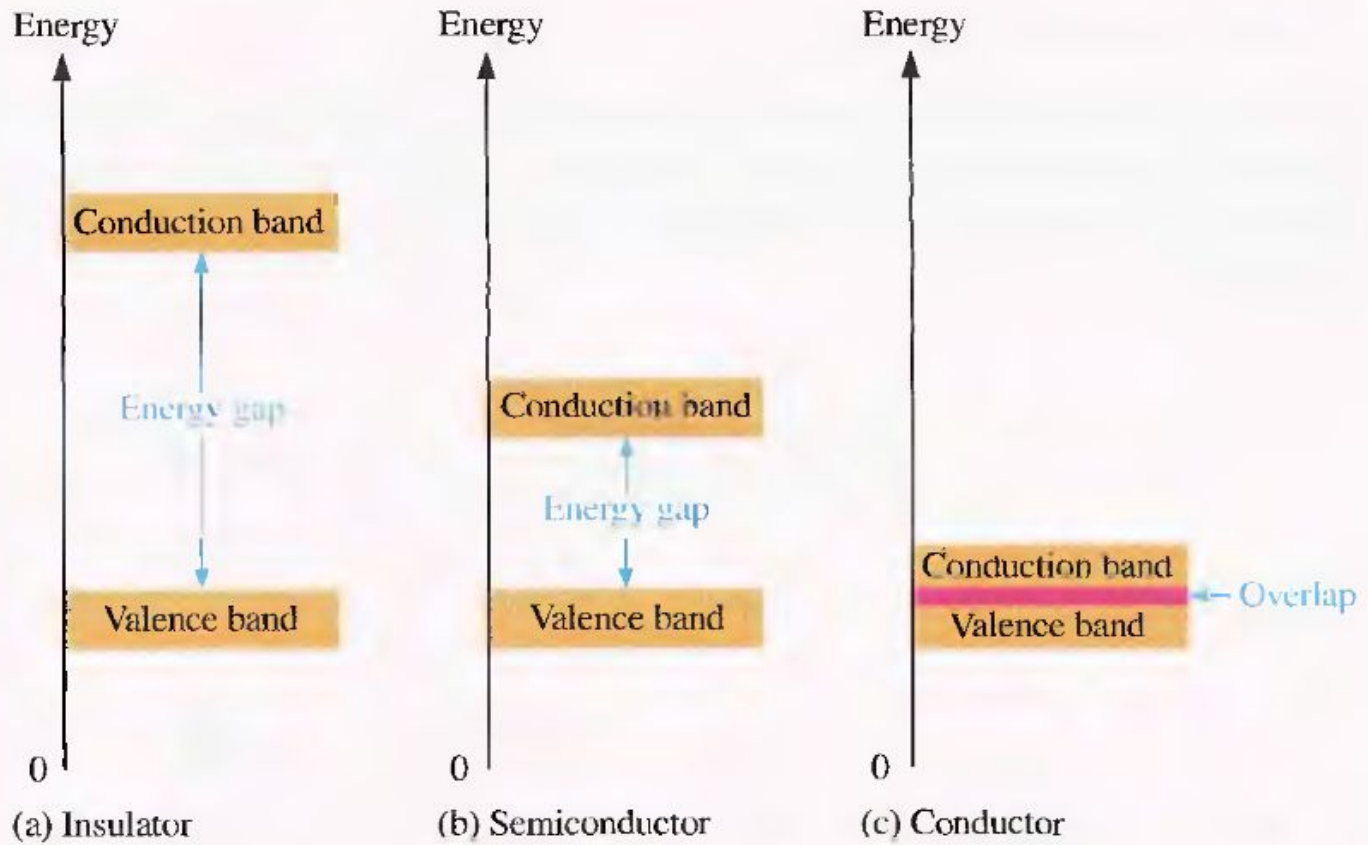
- Elektrony mogą krążyć na ściśle określonych orbitach. Orbitcie o mniejszej średnicy odpowiada mniejsza energia a zarazem większa siła oddziaływania jądra.

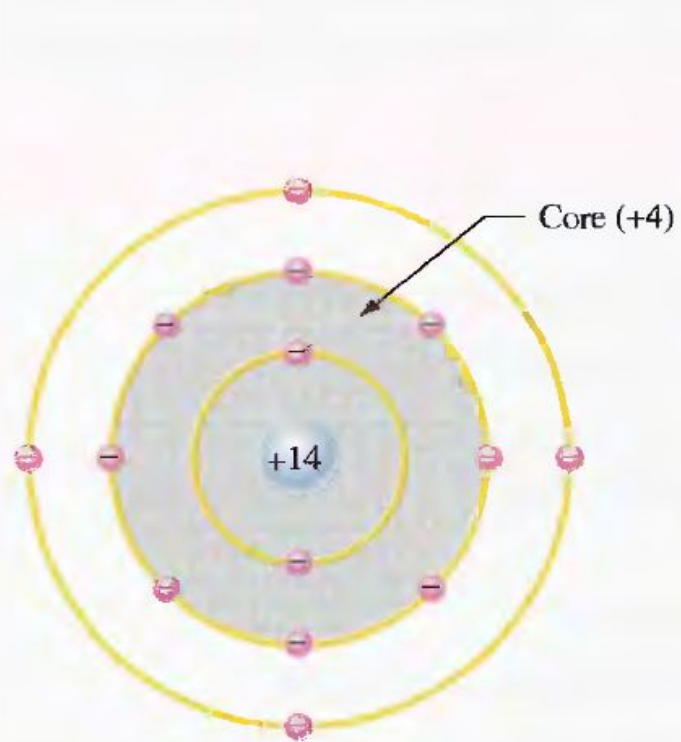
Elektrony krążące po orbitach mogą mieć tylko określone, dyskretne wartości energii. Kolejnym orbitom przypisanych jest określona ilość poziomów energetycznych. Poziomy te tworzą pasma energetyczne przypisane orbitom i nazwane tak jak orbity (pasmo 1 lub K , pasmo 2 lub L itd.) . Elektrony krążące po zewnętrznej orbicie są nazywane elektronami walencyjnymi. Decydują one o właściwościach elektrycznych pierwiastka. Na n-tej orbicie może krążyć co najwyżej $2n^2$ elektronów.



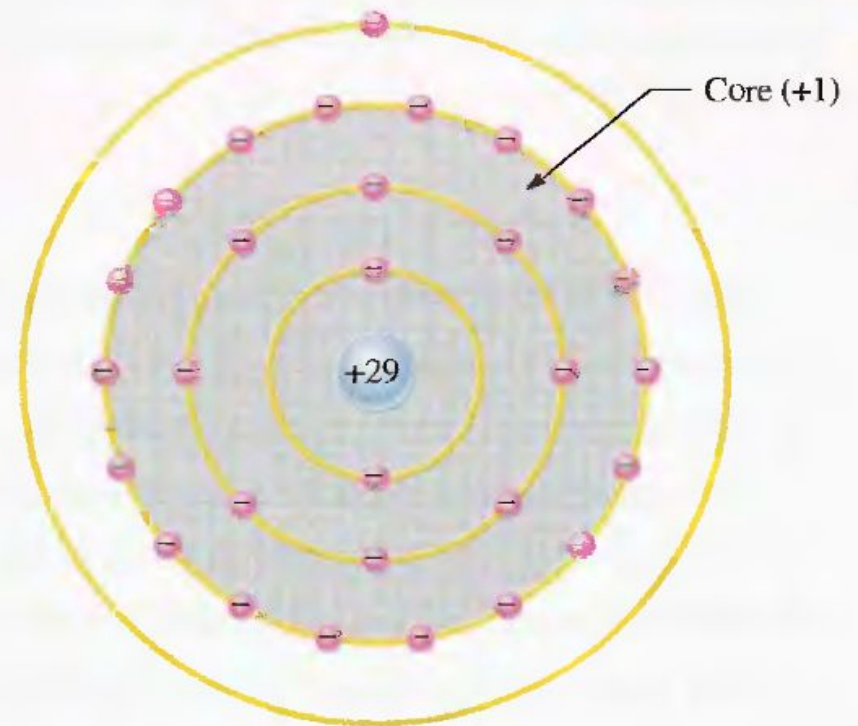
Rdzeń atomu tworzy jądro i te orbity, które są całkowicie wypełnione elektronami. Dla atomu węgla rdzeń tworzą sześć protonów jądra i dwa elektrony pierwszej orbity. Rdzeń oddziaływuje na elektrony walencyjne ładunkiem $+4e$.



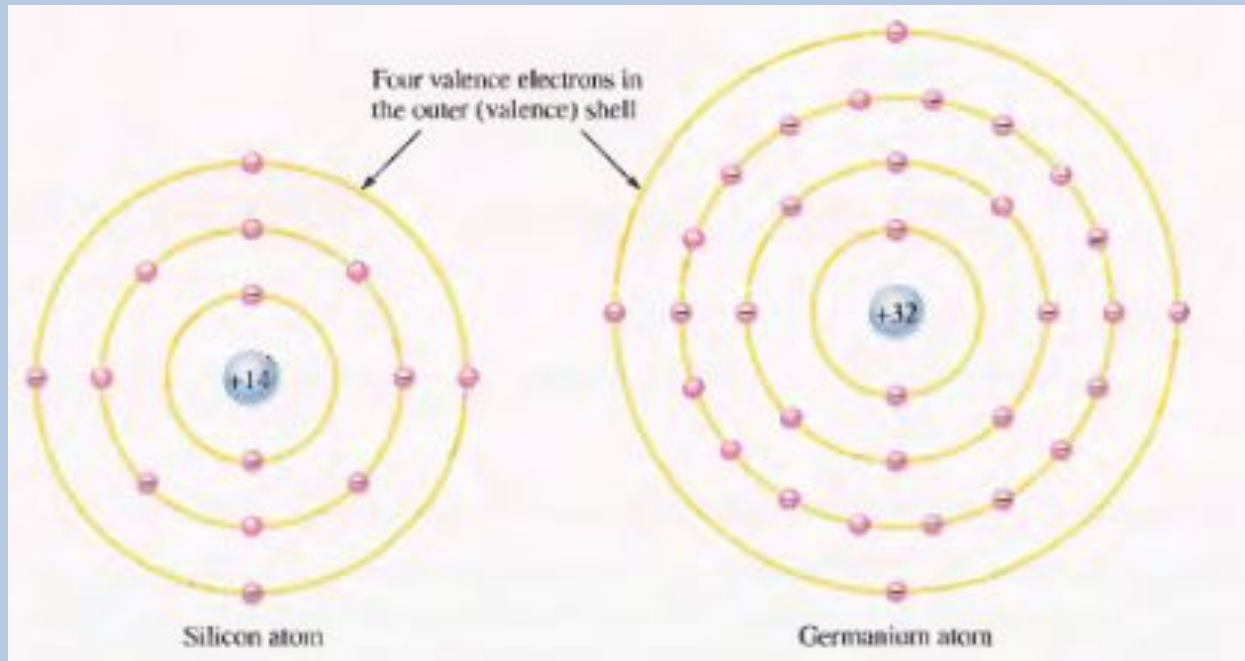


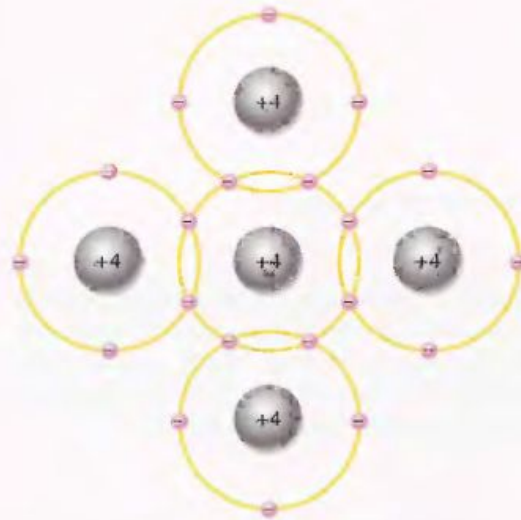


(a) Silicon atom

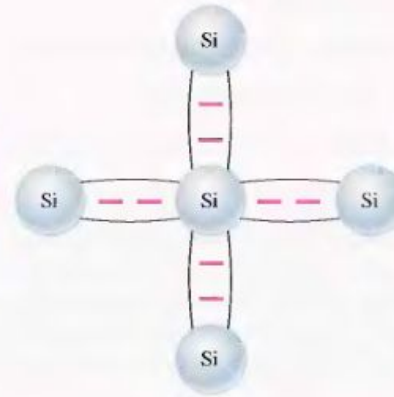


(b) Copper atom

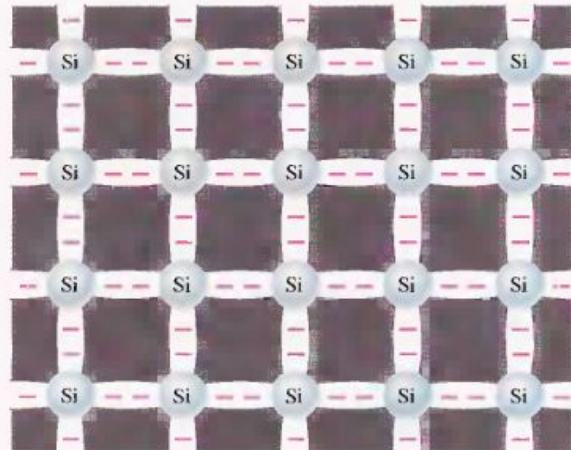




(a) The center silicon atom shares an electron with each of the four surrounding silicon atoms, creating a covalent bond with each. The surrounding atoms are in turn bonded to other atoms, and so on.

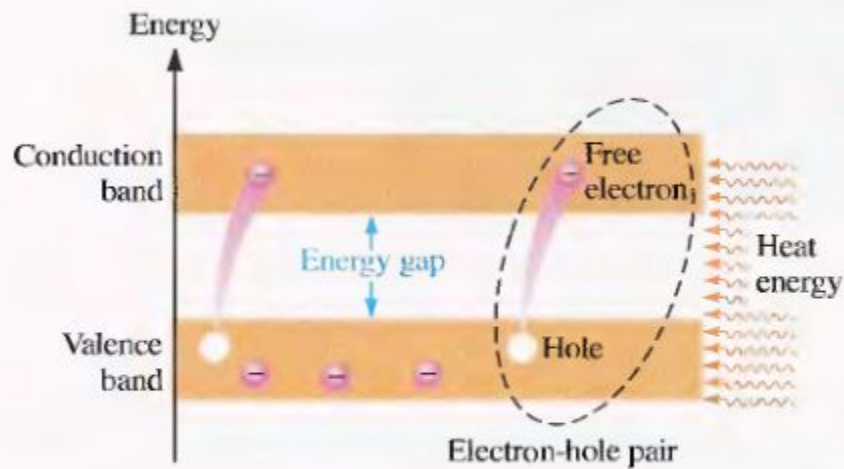


(b) Bonding diagram. The red negative signs represent the shared valence electrons.

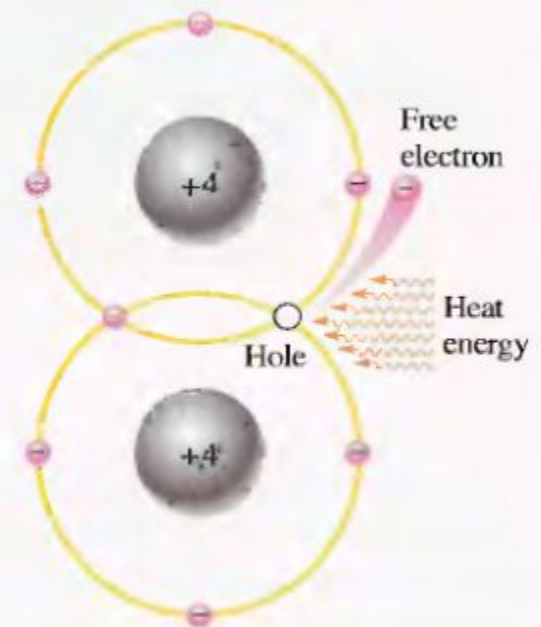


▶ **FIGURE 1-9**

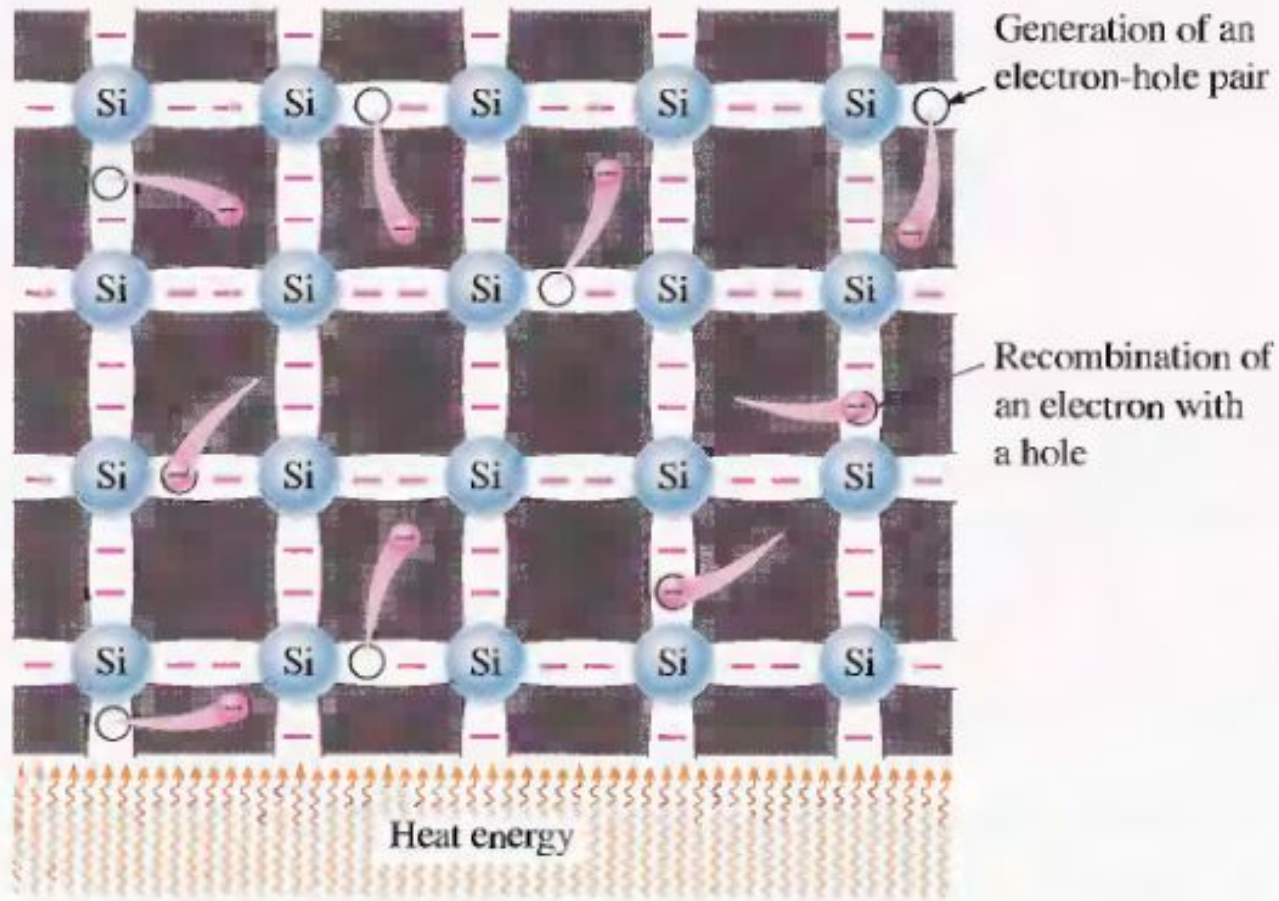
Covalent bonds in a silicon crystal.



(a) Energy diagram

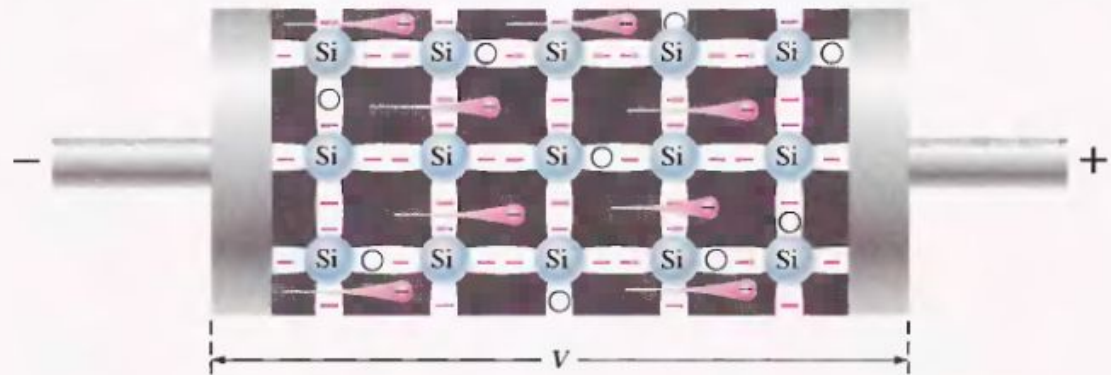


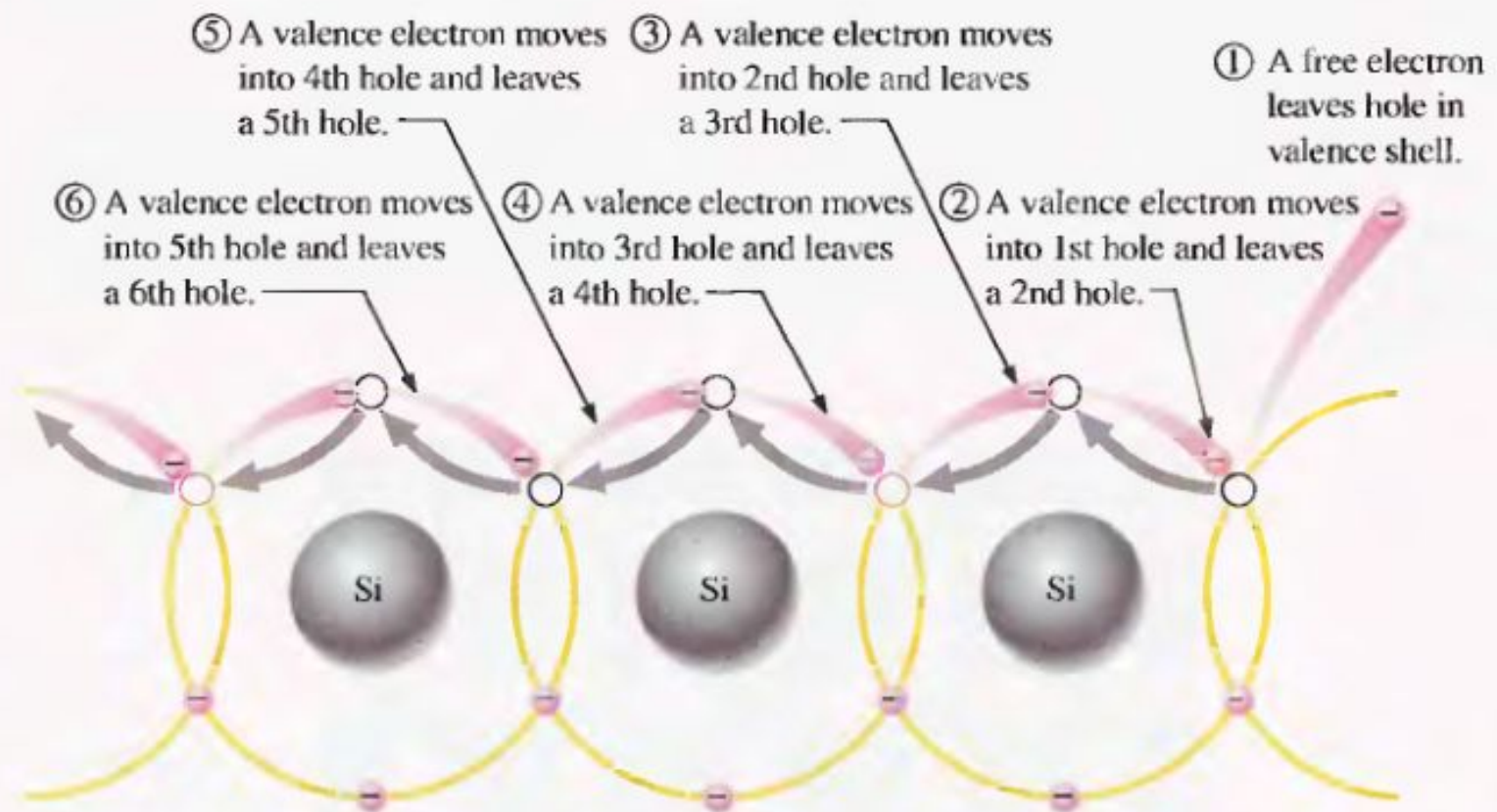
(b) Bonding diagram



► **FIGURE 1-13**

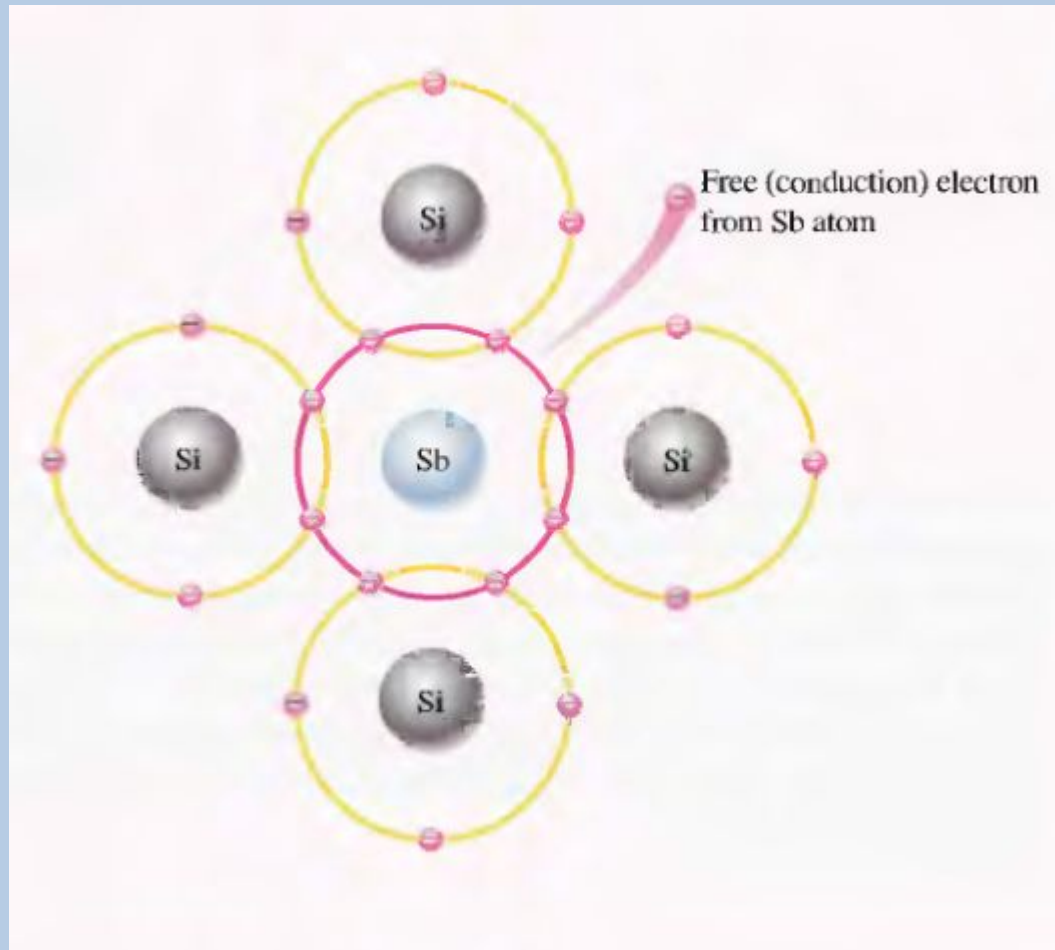
Electron current in intrinsic silicon is produced by the movement of thermally generated free electrons.



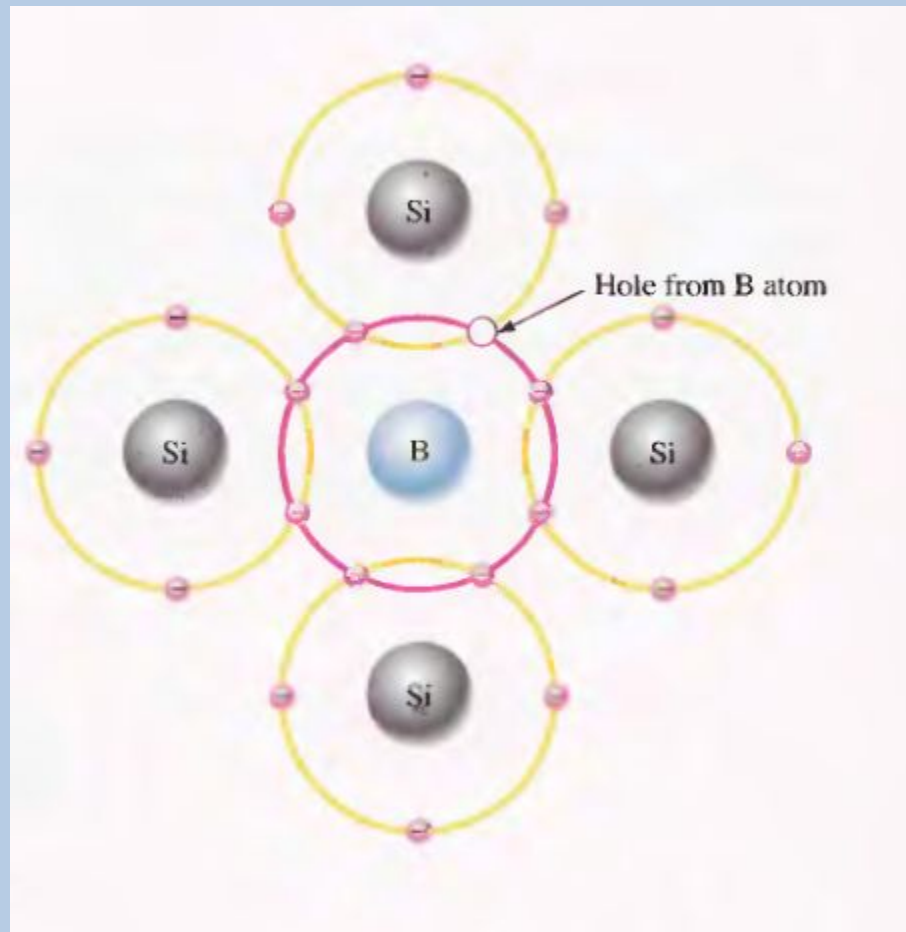


When a valence electron moves left to right to fill a hole while leaving another hole behind, the hole has effectively moved from right to left. Gray arrows indicate effective movement of a hole.

PÓŁPRZEWODNIK TYPU N



PÓŁPRZEWODNIK TYPU P



DOMIESZKI W KRZEMIE

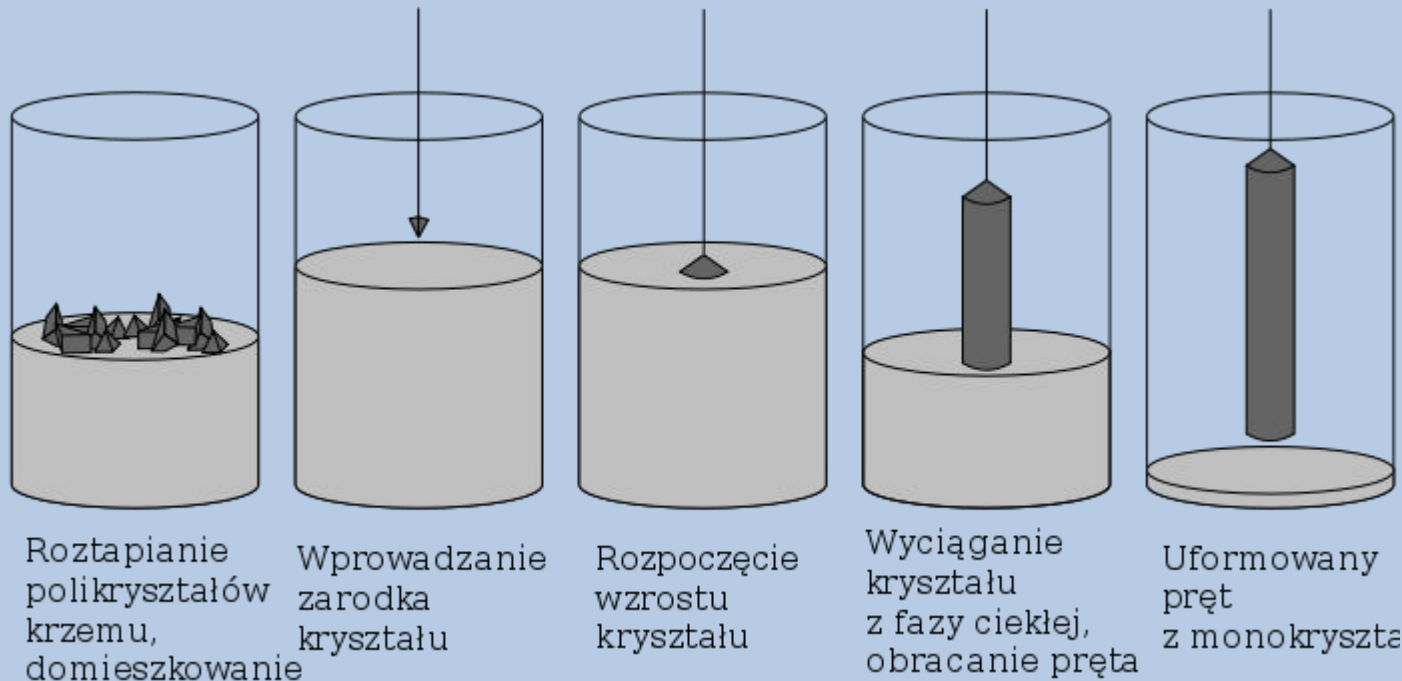
akceptory	półprzewodniki	donory
grupa III	grupa IV	grupa V
<u>bor 5</u>	Węgiel 6	azot 7
aluminium 13	<u>krzem 14</u>	<u>fosfor 15</u>
gal 31	german 32	<u>arsen 33</u>
ind 49	węglik krzemu (SiC)	antymon 51
	krzemogerman (SiGe)	

Podstawowe domieszki w krzemie to: bor (akceptor) i fosfor (donor)

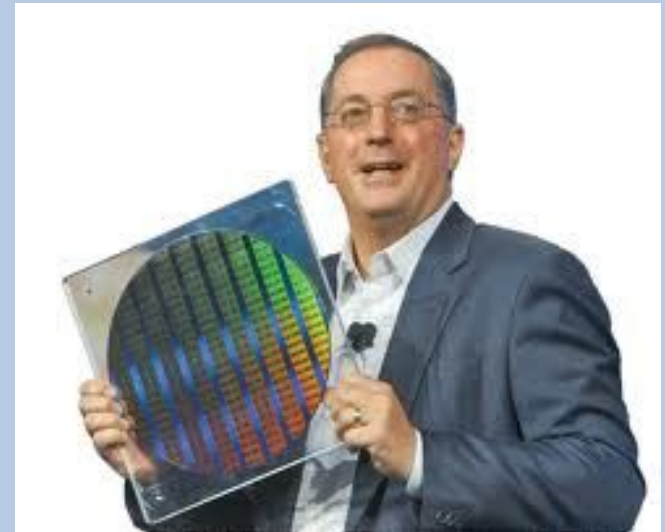
Pierwiastki zaznaczone kolorem **brązowym** wchodzą w reakcje chemiczne z krzemem i nie mogą być stosowane jako **domieszki**

PRODUKCJA PÓŁPRZEWODNIKÓW

- Materiałem wyjściowym wykorzystywanym do produkcji elementów półprzewodnikowych jest monokrystaliczny krzem. Jest on wytwarzany z wykorzystaniem metody Czochralskiego.



- Walec krzemowy jest cięty na plasterki za pomocą diamentowego ostrza, a uzyskane płytki są polerowane. Rozmiary wafli używanych jako ogniwa fotoelektryczne to kwadraty o boku 100-200 mm i grubości 200-300 μm . W przyszłości standardem mają być wafle grubości 160 μm . W elektronice używa się wafli o średnicy 100-300 mm.
- Wafle są czyszczone przy użyciu słabego kwasu w celu usunięcia zbędnych cząsteczek lub naprawienia uszkodzeń powstałych podczas przecinania. Podczas wytrawiania jest usuwane szkło fosforo-krzemowe które tworzy się na brzegach wafli podczas procesu krystalizacji.
- Tak uzyskany wafel może być następnie domieszkowany celem uzyskania pożądanych właściwości elektrycznych.

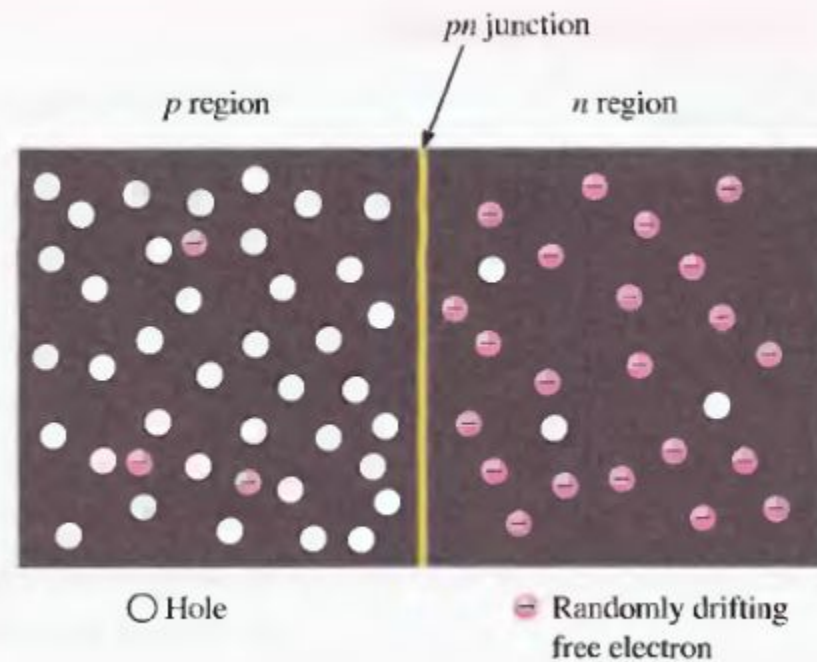


- Wafle krzemowe są dostępne w zakresie rozmiarów od 25,4 mm (jeden cal) do 300 mm (11,8 cala) .
- Fabryki półprzewodników są często charakteryzowane przez rozmiary wafli, jakie są w stanie wyprodukować. Ciągłe zwiększanie rozmiarów zwiększa efektywność i redukuje koszty produkcji.
- Obecnie jako standard przyjmuje się 300 mm (12 cali), następnym przewidywanym jest rozmiar 450 mm (18 cali).
- Obecnie istnieją trzy sposoby domieszkowania półprzewodników :
 - epitaksja;
 - dyfuzja;
 - implantacja jonów
- Obliczmy orientacyjną liczbę atomów domieszki w obszarze kanału pojedynczego tranzystora MOS we współczesnym układzie scalonym.
- Niech wymiary kanału (długość i szerokość) będą równe 0,2 mikrometra, czyli 2×10^{-5} cm. Głębokość obszaru kanału plus obszaru zubożonego pod kanałem zależy od polaryzacji tranzystora, przyjmijmy że wynosi ona 1 mikrometr. Całkowita objętość obszaru kanału wynosi więc 4×10^{-14} cm³. Jeżeli koncentracja domieszki w tym obszarze jest stała i wynosi 10^{15} cm⁻³, to w całym obszarze kanału znajduje się zaledwie 40 atomów domieszki.
- Przy tak małej ich liczbie muszą ujawnić się statystyczne cechy procesów domieszkowania - żadne dwa tranzystory w układzie nie będą miały dokładnie tej samej liczby atomów domieszki w kanale. Jest to nie dający się wyeliminować mechanizm powstawania różnic w charakterystykach pozornie identycznych tranzystorów w układzie.

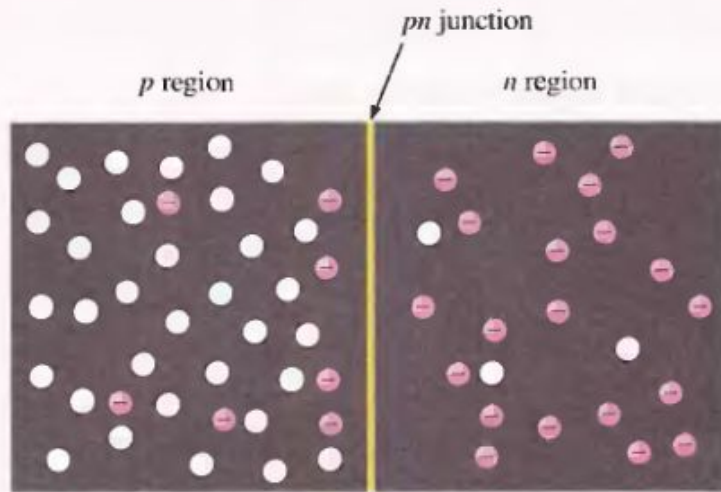
PRZED POŁĄCZENIEM PÓŁPRZEWODNIKÓW TYPU P I N

► **FIGURE 1-17**

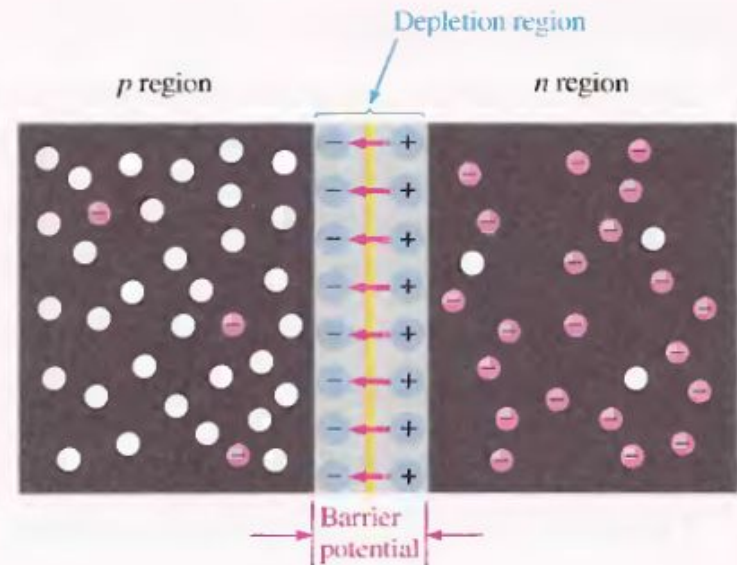
The basic diode structure at the instant of junction formation showing only the majority and minority carriers.



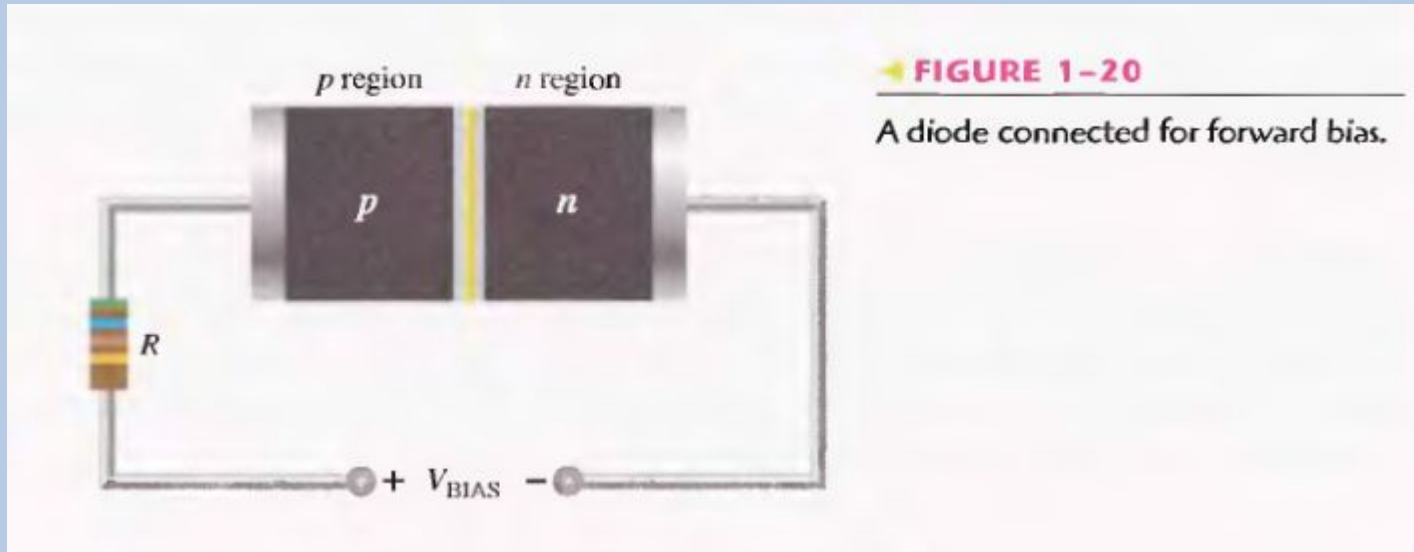
FORMOWANIE ZŁĄCZA P-N



(a) At the instant of junction formation, free electrons in the n region near the pn junction begin to diffuse across the junction and fall into holes near the junction in the p region.

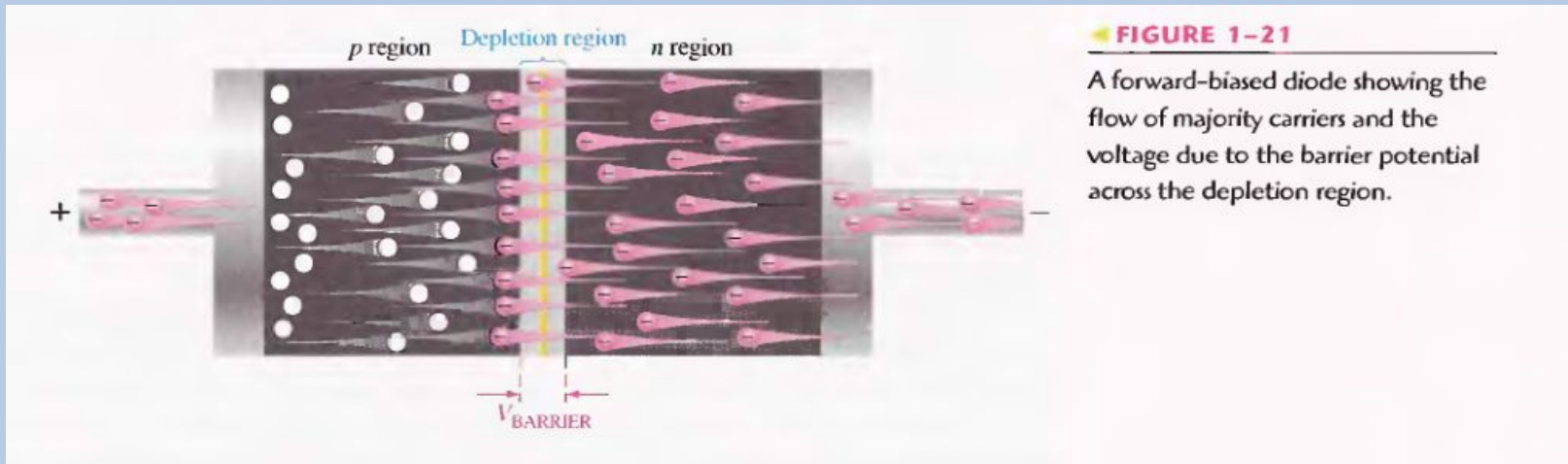


(b) For every electron that diffuses across the junction and combines with a hole, a positive charge is left in the n region and a negative charge is created in the p region, forming a barrier potential. This action continues until the voltage of the barrier repels further diffusion.



▶ **FIGURE 1-20**

A diode connected for forward bias.

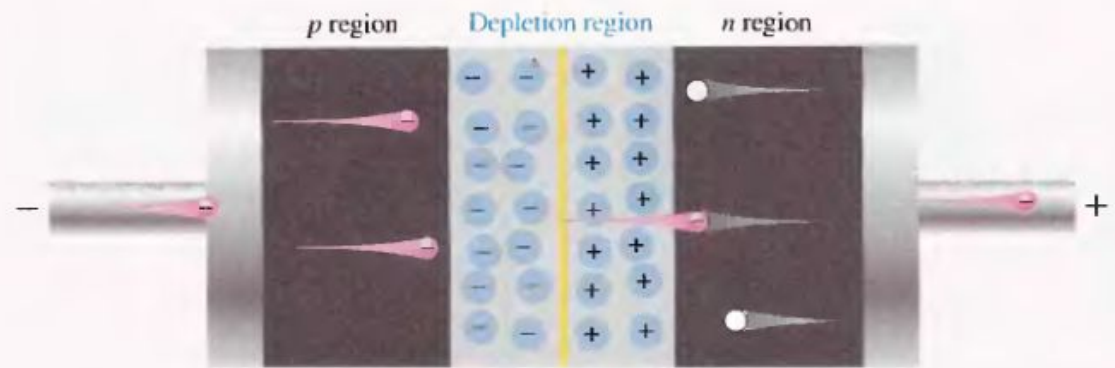


▶ **FIGURE 1-21**

A forward-biased diode showing the flow of majority carriers and the voltage due to the barrier potential across the depletion region.

▶ **FIGURE 1-25**

The extremely small reverse current in a reverse-biased diode is due to the minority carriers from thermally generated electron-hole pairs.



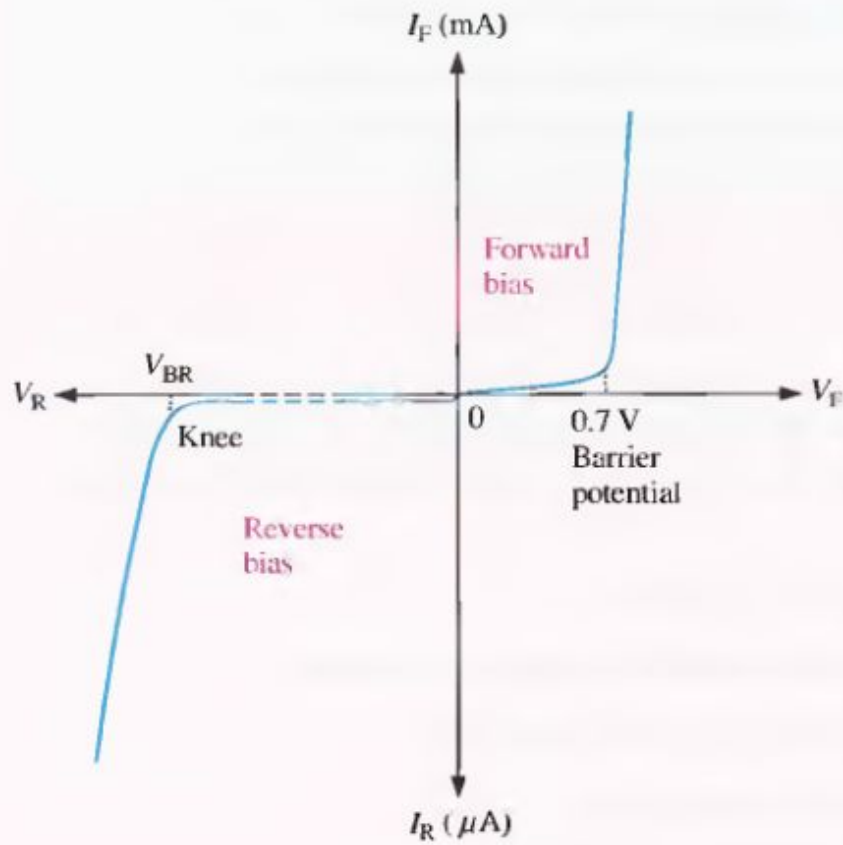
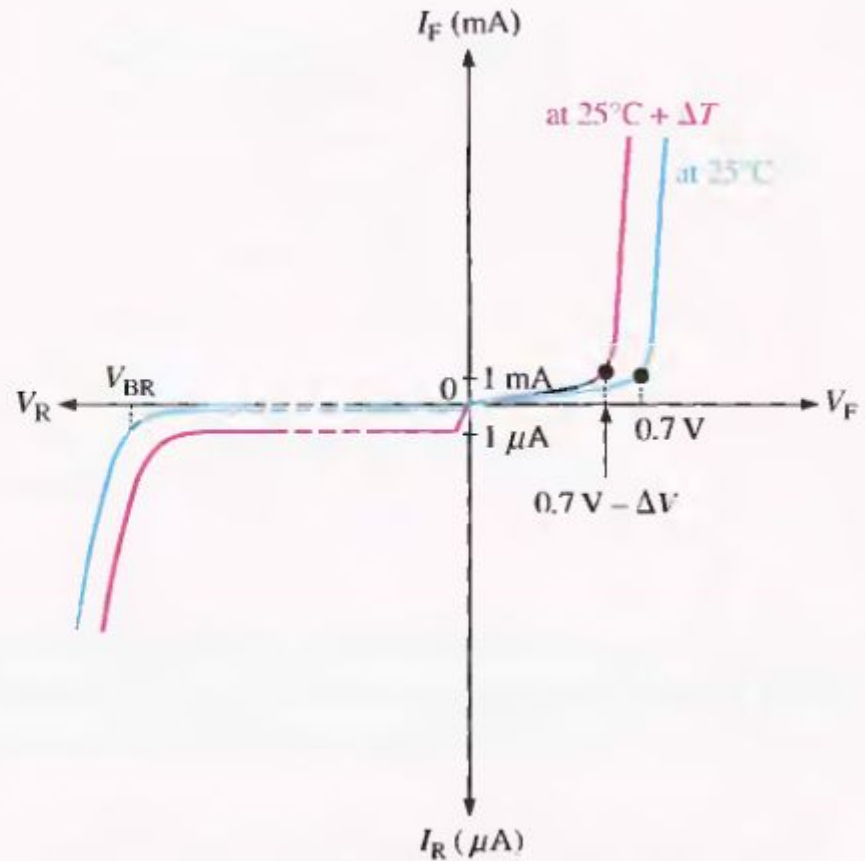


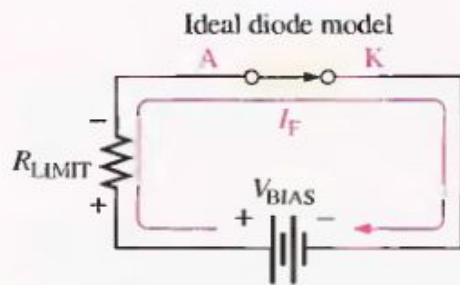
FIGURE 1-29

The complete V - I characteristic curve for a diode.

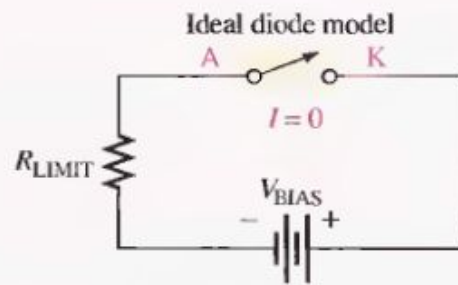
► **FIGURE 1-30**

Temperature effect on the diode V - I characteristic. The 1 mA and 1 μ A marks on the vertical axis are given as a basis for a relative comparison of the current scales.

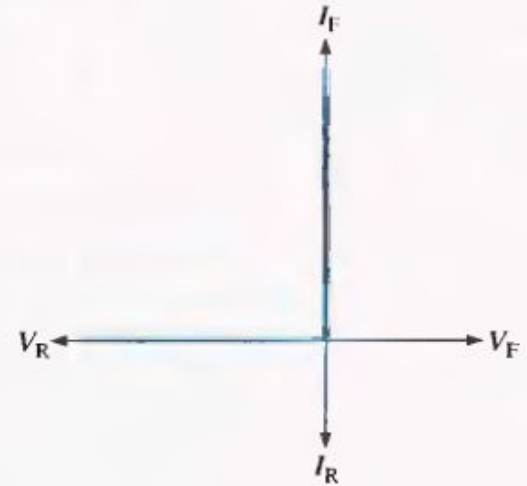




(a) Forward bias



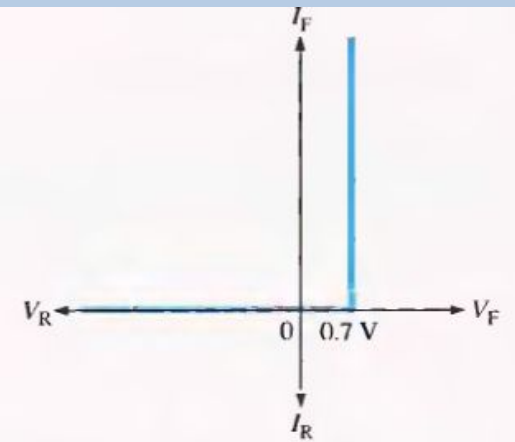
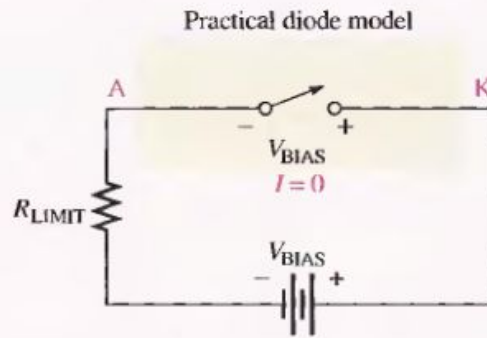
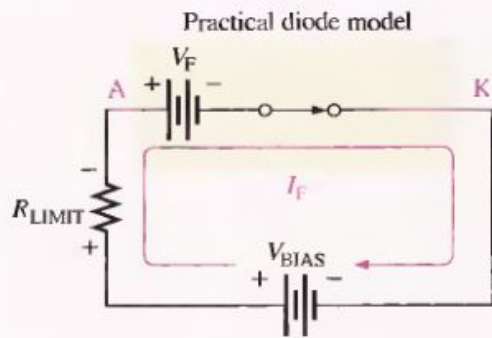
(b) Reverse bias



(c) Ideal characteristic curve (blue)

▲ FIGURE 1-33

The ideal model of a diode.



▲ FIGURE 1-34

The practical model of a diode.

