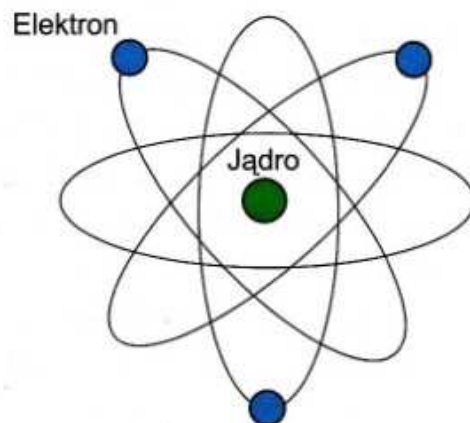


1.1. Przewodnictwo elektryczne środowiska

Naturę przewodnictwa elektrycznego środowiska warunkuje budowa jego molekuł (cząsteczek). Molekuła jest najmniejszym elementem każdej substancji charakteryzującym się zdolnością zachowania cech tej substancji i składającym się z jednego lub kilku atomów. Atom jest najmniejszym niepodzielnym elementem każdej substancji zdolnym do samodzielnego istnienia. W każdym atomie wokół jądra po zamkniętych orbitach krążą ujemnie naładowane elektrony (rys. 1.1). Elektrony obracają się także wokół własnej osi.

Jądro atomu ma ładunek dodatni i zawiera dodatnio naładowane protony oraz obojętne elektrycznie neutrony. Ładunki protonu i elektronu mają taką samą wartość bezwzględną, a liczba protonów jest taka sama jak liczba elektronów na orbitach. Wartość ładunku elektronu (wyrażona w kulombach) oraz jego masa (w kilogramach) odpowiednio wynoszą $e = 1,60210 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ i $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. Natomiast masa protonu i neutronu jest ok. 1840 razy większa od masy elektronu.



Rys. 1.1. Budowa atomu

Liczba elektronów i liczba orbit, po których one krążą, w atomie każdego pierwiastka jest inna. O przewodnictwie elektrycznym decyduje liczba elektronów znajdujących się na zewnętrznej orbicie, którą nazywa się orbitą walencyjną. Na orbicie walencyjnej może się znajdować nie więcej niż 8 elektronów.

Utrata jednego lub kilku elektronów walencyjnych powoduje uaktywnienie elektryczne atomu, który staje się naładowany dodatnio. Zmianę ładunku atomu na ujemny spowoduje wprowadzenie jednego lub kilku dodatkowych elektronów. Takimi samymi właściwościami elektrycznymi jak atomy charakteryzują się cząstki, składające się z grupy atomów. Cząstki o dodatnim lub ujemnym ładunku elektrycznym nazywamy **jonami**. Cząstki naładowane dodatnio nazywamy **kationami**, a cząstki o ładunku ujemnym – **anionami**.

Przewodnictwo elektryczne różnych substancji zależy od liczby elektronów znajdujących się na orbitach walencyjnych ich atomów oraz od siły, z którą te elektrony są przyciągane przez jądro atomu. W atomach metali elektrony walencyjne są słabo związane z jądrem i dlatego przechodzą z jednego atomu do drugiego. Elektrony te nazywają się **elektronami swobodnymi**. Ciała, w których występują elektrony swobodne, nazywa się **przewodnikami**.

Oprócz przewodników w przyrodzie występują **dielektryki** oraz **półprzewodniki**. Dielektryki nie mają nośników ładunku elektrycznego i z tego względu nie przewodzą również prądu elektrycznego. Miejsce pośrednie między dielektrykami i przewodnikami zajmują **półprzewodniki**, których właściwości zależą od warunków otoczenia. Aktywność elektryczną półprzewodników może zainicjować zewnętrzne pole elektryczne, temperatura, oświetlenie itp.

Ciała przewodzące, odpowiednio do przemieszczających się w ich wnętrzach cząstek, dzielimy na przewodniki pierwszego i drugiego rodzaju.

Przewodniki pierwszego rodzaju to ciała, których właściwości chemiczne nie zmieniają się podczas przepływu prądu elektrycznego. W tego rodzaju ciałach przepływ prądu elektrycznego wynika z ruchu elektronów swobodnych. Przewodnikami pierwszego rodzaju są metale i ich stopy oraz węgiel.

Przewodniki drugiego rodzaju są elektrolitami, tzn. roztworami kwasów, zasad i soli. Właściwości chemiczne takich przewodników zmieniają się podczas przepływu prądu elektrycznego, którego nośnikami są jony dodatnie (kationy) oraz jony ujemne (aniony).

Uporządkowany ruch elektronów w przewodnikach może być spowodowany zewnętrznym polem elektrycznym. Taki ruch nazywa się **prądem elektrycznym**. Po usunięciu zewnętrznego pola elektrycznego przepływ prądu elektrycznego w przewodniku ustaje, a elektrony swobodne przemieszczają się chaotycznie.

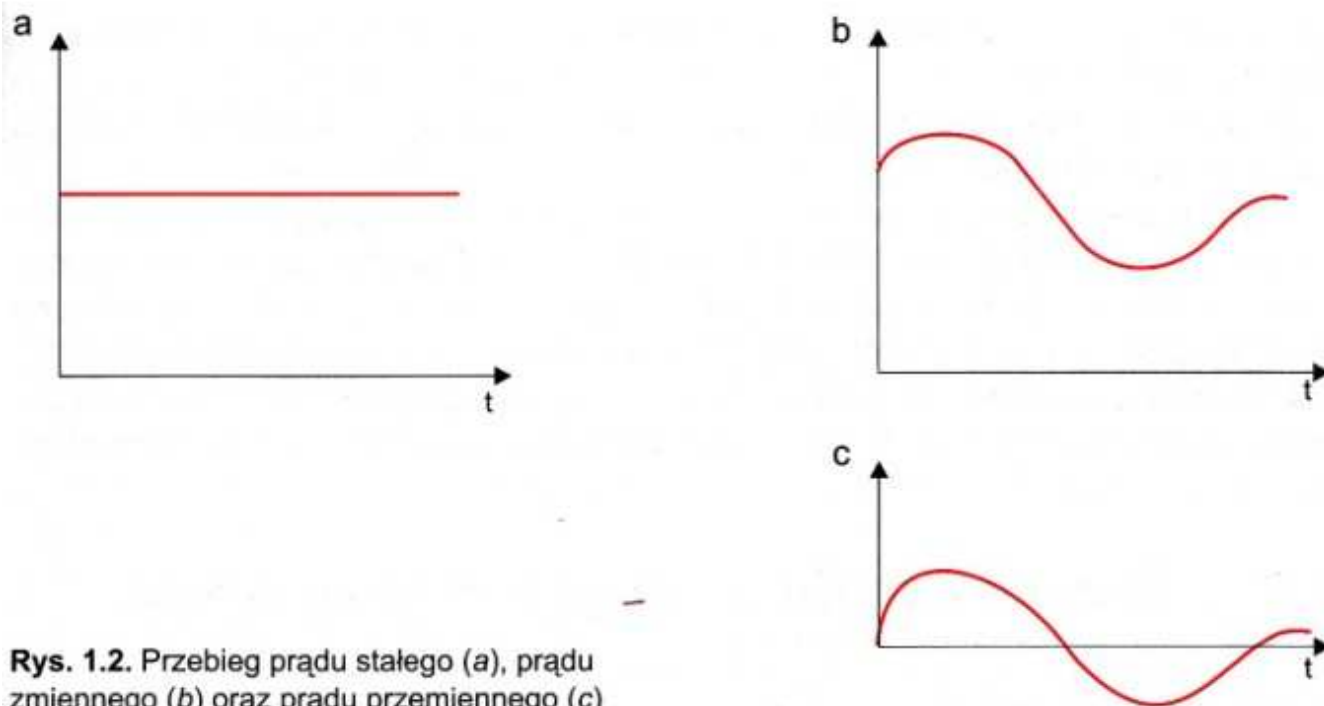
Miarą przepływu prądu elektrycznego jest jego natężenie. Natężenie prądu jest stosunkiem wartości ładunku elektrycznego Δq przenieszonego przez naładowane cząsteczki, przez dowolnie wybrany przekrój poprzeczny przewodnika, do czasu przepływu tego ładunku Δt :

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Natężenie prądu jest wielkością skalarną. W układzie SI jednostką natężenia prądu elektrycznego jest **amper** (A). Natężenie prądu ma wartość 1 A, jeśli przez dowolny przekrój przewodnika w czasie 1 s przepłynie ładunek 1 C.

$$[i] = \frac{[q]}{[t]} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ A} \quad (1.2)$$

Prądem stałym nazywamy prąd, którego natężenie nie ulega zmianie w funkcji czasu. Oznaczeniem natężenia takiego prądu jest litera I (literą i oznaczamy natężenie prądu będące funkcją czasu). Przebieg prądu stałego przedstawiono na rys. 1.2a. Prąd stały jest oznaczany symbolem DC (ang. *Direct Current* – prąd stały).



Rys. 1.2. Przebieg prądu stałego (a), prądu zmiennego (b) oraz prądu przemiennego (c)

Natężenie **prądu zmiennego** (rys. 1.2b) oraz **prądu przemiennego** (rys. 1.2c) ma zmienną wartość w funkcji czasu. W przypadku prądu przemiennego kierunek jego przepływu jest dodatni oraz ujemny. Prąd taki oznacza się symbolem AC (ang. *Alternating Current* – prąd przemienny). W odróżnieniu od prądu przemiennego, kierunek przepływu prądu zmiennego nie ulega zmianie w czasie. Podobnie jak prąd stały, prąd zmienny może mieć dodatni lub ujemny kierunek przepływu. Prąd zmienny jest oznaczany symbolem UC (*Universal Current* – prąd nieokreślony).

Przepływ prądu elektrycznego, traktowanego jako uporządkowany ruch elektronów, wywołuje pole elektryczne. Przyczyną powstania tego pola jest **napięcie elektryczne** występujące między oddzielonymi przestrzennie punktami ośrodka przewodzącego prąd. Istota powstania napięcia elektrycznego będzie wyjaśniona w dalszej części podręcznika.

Różnoimienne ładunki elektryczne się przyciągają. Zwiększenie odległości między tymi ładunkami wymaga wykonania pracy przeciw siłom przyciągania. Po wykonaniu tej pracy zostanie ona zmagazynowana w ładunkach jako energia. Praca W włożona w rozdzielenie ładunków elektrycznych Q , odniesiona do ich wielkości, jest napięciem elektrycznym U :

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1.3)$$

Jednostką napięcia elektrycznego jest wolt (V). Napięcie określane względem wybranego punktu odniesienia nazywamy **potencjałem**. Biorąc to pod uwagę, napięcie możemy traktować jako różnicę dwóch potencjałów.

Urządzenia wyposażone w dwa zaciski, między którymi występuje napięcie elektryczne, nazywamy źródłami napięcia. Źródło napięcia ma biegun dodatni

(+), na którym występuje niedobór elektronów, oraz biegun ujemny (–) z nadmiarem elektronów.

Ze względu na przebieg czasowy rozróżniamy napięcie stałe (DC), zmienne (UC) oraz przemienne (AC).

Współczesne urządzenia przemysłowe oraz sprzęty gospodarstwa domowego wykorzystują w swym działaniu przemiany energetyczne występujące podczas przepływu prądu elektrycznego. Zrozumienie istoty zjawisk fizycznych towarzyszących przepływowi prądu w różnych ośrodkach pozwoli na prawidłową eksploatację, obsługę i konserwację nie tylko urządzeń przemysłowych i domowych, ale również elektrycznych i elektronicznych podzespołów samochodów.

1.2. Przepływ prądu w różnych środowiskach

1.2.1. Przepływ prądu w próżni oraz w gazach

Próżnia jest pozbawiona wolnych nośników ładunku elektrycznego i dlatego jest doskonałym izolatorem. Jedynym sposobem elektrycznego uaktywnienia próżni jest wprowadzenie do niej swobodnych elektronów, których ruch jest inicjowany przez pole elektryczne. Takie zjawisko wykorzystuje się w lampach elektronowych, gdzie źródłem elektronów swobodnych jest podgrzewana lub oświetlona katoda. W pierwszym przypadku przyczyną uwalniania elektronów jest termemisja, w drugim zaś fotoemisja.

Gazy, podobnie jak próżnia, w normalnych warunkach są elektrycznie obojętne. Uaktywnienie elektryczne gazu wymaga zewnętrznego oddziaływania, którego skutkiem jest podział atomów, spowodowany oderwaniem elektronów lub rozerwaniem wiązań. Rozpad atomów lub cząsteczek gazów wywołany czynnikami zewnętrznymi nazywamy **jonizacją**.

Rozróżniamy kilka rodzajów jonizacji.

1. **Jonizacja termiczna**, podczas której w wyniku podgrzania następuje zwiększenie energii kinetycznej elektronów do poziomu pozwalającego na opuszczenie przez te elektrony powłoki walencyjnej.
2. **Jonizacja zderzeniowa**, spowodowana napromieniowaniem cząsteczek gazu strumieniem elektronów lub strumieniem cząsteczek o dużej energii kinetycznej. Skutkiem takiego napromieniowania jest wybijanie elektronów z orbit walencyjnych atomów gazu, które przez to stają się jonami dodatnimi.
3. **Fotojonizacja**, podczas której jony powstają w wyniku napromieniowania cząsteczek gazu strumieniem świetlnym (falą elektromagnetyczną) o dużej energii. W praktyce do fotojonizacji gazu wykorzystuje się promieniowanie laserowe i kosmiczne oraz mikrofały.

Zjonizowany gaz umożliwia przepływ prądu w postaci wyładowania elektrycznego. Takie wyładowanie może mieć charakter **samoistny** lub **niesamoistny**. Przy wyładowaniu samoistnym zewnętrzny czynnik jonizujący jest niezbędny je-

dynie do zapoczątkowania wyładowania, podczas którego następuje jonizacja zderzeniowa cząsteczek gazu. Możemy wyodrębnić kilka rodzajów wyładowań samoistnych: jarzeniowe, iskrowe, ulotowe i łukowe. Wyładowanie niesamoistne występuje tylko w obecności czynnika zewnętrznego jonizującego gaz.

1.2.2. Przepływ prądu w elektrolitach

Elektrolitami nazywamy wodne roztwory kwasów, zasad i soli. Są to przewodniki drugiego rodzaju, w których przewodnictwo elektryczne ma charakter jonowy. Przyczyną powstawania jonów w elektrolitach jest dysocjacja, polegająca na rozpadzie cząsteczek pod wpływem wody. Dysocjację roztworu określa jej stopień zależny od stężenia i temperatury roztworu.

Źródłem pola elektrycznego w elektrolitach są dwie elektrody: anoda, dołączona do zacisku dodatniego (+) źródła napięcia, oraz katoda, dołączona do zacisku ujemnego (–) tego źródła (rys. 1.3).

Pole elektryczne skierowane od anody do katody jest przyczyną ruchu jonów w elektrolicie. Podczas tego ruchu jony nie wchodzi w reakcje chemiczne i dopiero po dotarciu do elektrod tracą swój ładunek. Jony ujemne (aniony) podążają do anody i oddają jej nadmiar elektronów, a jony dodatnie (kationy) po osiągnięciu katody łączą się z jej elektronami swobodnymi. W zależności od składników elektrolitu na katodzie wydzielą się wodór lub metal, na anodzie zaś zachodzi proces utleniania lub wydzielanie niemetalu.

Zgodnie z prawem Faradaya, masa m substancji wydzielanej na elektrodzie podczas elektrolizy jest proporcjonalna do ładunku elektrycznego Q przepływającego przez elektrolit:

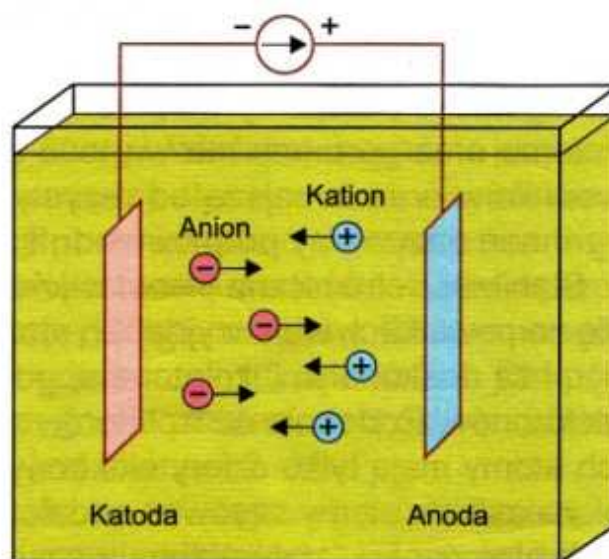
$$m = k Q = k I t \quad (1.4)$$

We wzorze tym Q jest całkowitym ładunkiem elektrycznym, który przepłynął przez elektrolit. Ładunek ten został przeniesiony przez prąd o natężeniu równym I płynący przez elektrolit w czasie t .

Występujący w zależności (1.4) współczynnik proporcjonalności k jest tzw. równoważnikiem elektrochemicznym, określającym masę substancji wydzielanej podczas elektrolizy, gdy przez elektrolit przepłynął ładunek 1 C. Współczynnik

ten jest mierzony w $\frac{\text{mg}}{\text{C}}$ i jest zróżnicowany dla różnych substancji, np. dla miedzi

ma wartość $0,329 \frac{\text{mg}}{\text{C}}$, dla srebra $1,118 \frac{\text{mg}}{\text{C}}$, a dla cynku $0,339 \frac{\text{mg}}{\text{C}}$.



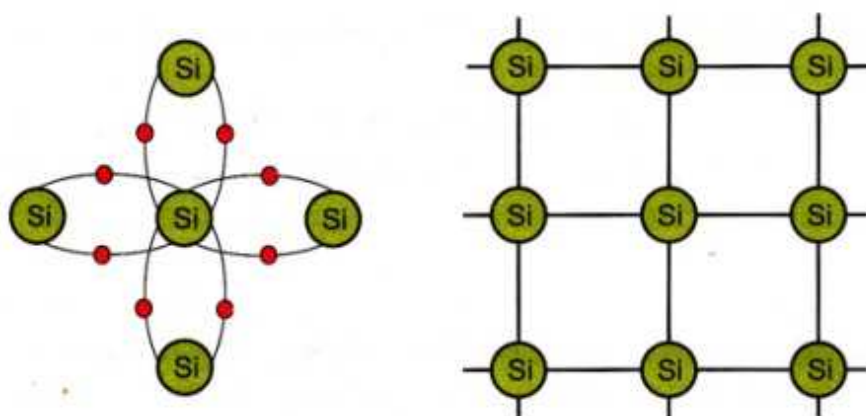
Rys. 1.3. Ruch nośników prądu w trakcie elektrolizy

Elektroliza ma szerokie zastosowanie w przemyśle. Za pomocą elektrolizy w wannach elektrolitycznych produkuje się czystą miedź, zwaną elektrolityczną. Elektrolizę stosuje się również do nanoszenia powłok antykorozyjnych i dekoracyjnych. Ponadto elektroliza stanowi podstawę działania elektrochemicznych źródeł napięcia elektrycznego.

1.2.3. Przepływ prądu w półprzewodnikach

Półprzewodniki są stosowane do budowy scalonych i dyskretnych podzespołów elektronicznych. Materiałami takimi są krystaliczne postacie krzemu lub germanu. Cechą charakterystyczną obu wymienionych materiałów półprzewodnikowych jest ich duża rezystywność, która w temperaturze pokojowej przyjmuje wartości od 10^{-4} do $10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$. Z fizycznego punktu widzenia rezystywność określa zdolność substancji do przewodzenia prądu elektrycznego. Rezystywność krzemu oraz germanu ma wartość większą od rezystywności typowych przewodników oraz mniejszą od rezystywności typowych izolatorów. Stąd krzem i german nazywamy **półprzewodnikami**.

Stabilność chemiczna pierwiastków zależy od liczby elektronów znajdujących się na powłokach walencyjnej ich atomów. Pierwiastki z 8 elektronami walencyjnymi są doskonałymi izolatorami, gdyż ich atomy nie oddają ani nie przyjmują elektronów. Podobnie do izolatorów zachowują się krzem i german, pomimo że ich atomy mają tylko cztery elektrony walencyjne. W czystych kryształach tych pierwiastków atomy są równo oddalone od siebie. Elektrony walencyjne wszystkich atomów kryształu obiegają sąsiednie jądra w taki sposób, że na powłoce walencyjnej każdego atomu krąży osiem elektronów, stabilizując chemicznie kryształ (rys. 1.4).

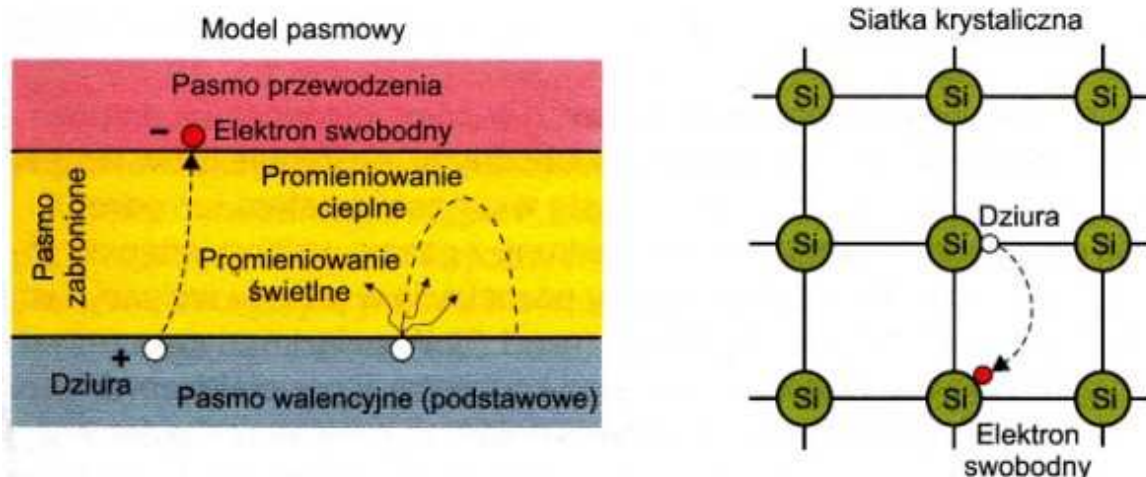


Atomy przedstawione w jednej płaszczyźnie

Uproszczony układ sieci elektronowej

Rys. 1.4. Schemat wiązań chemicznych w krzemie

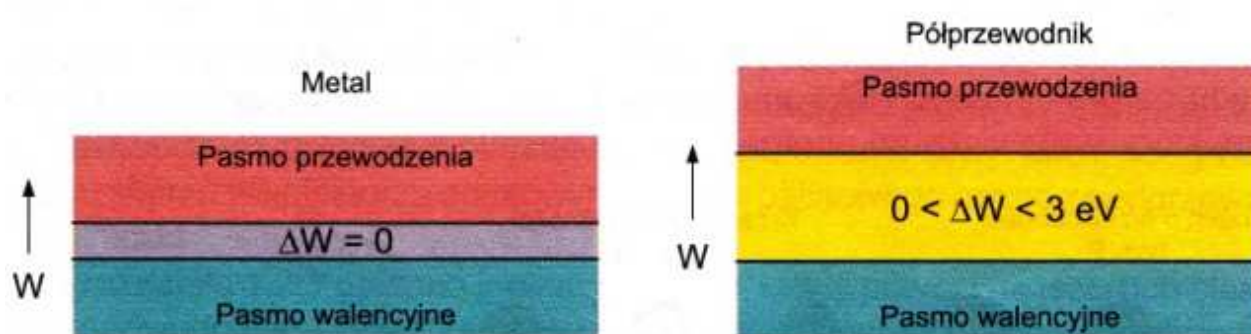
Do wyjaśnienia przewodnictwa elektrycznego ciał stałych, a tym samym i półprzewodników, bardzo przydatny jest energetyczny pasmowy model atomu (rys. 1.5). Model ten odwzorowuje poziomy energii elektronów w postaci pasma podstawowego (walencyjnego), pasma zabronionego oraz pasma przewodzenia.



Rys. 1.5. Pasmowy model elektrycznego przewodnictwa ciał stałych

Elektrony, których energia ma wartość należącą do pasma podstawowego, są związane z atomami. Natomiast elektrony o energii należącej do pasma przewodzenia mogą swobodnie przemieszczać się między atomami ciała. Aby elektron znajdujący się na powłoce walencyjnej mógł przemieszczać się swobodnie między atomami ciała, jego energia musi być zwiększona o wartość ΔW , równą szerokości pasma zabronionego i określoną liczbą elektronowoltów. **Elektronowolt** (eV) jest miarą energii elektronów i odpowiada energii $1,602 \cdot 10^{-19}$ J. Dla półprzewodników szerokość pasma zabronionego nie przekracza 3 eV, np. szerokość pasma zabronionego ΔW dla krzemu jest równa 1,2 eV.

W odróżnieniu od półprzewodników, elektrony zewnętrznej powłoki atomów metali dobrze przewodzących prąd elektryczny mają tak dużą energię, że są jednocześnie elektronami walencyjnymi oraz elektronami swobodnymi. Z tego względu w modelu pasmowym metali nie występuje pasmo zabronione, a pasma podstawowe i przewodzenia zachodzą na siebie (rys. 1.6).



Rys. 1.6. Model pasmowy metalu i półprzewodnika

W półprzewodnikach, podobnie jak w metalach, przewodzenie prądu elektrycznego jest uwarunkowane występowaniem swobodnych elektronów. Pierwszym sposobem uzyskania takiego stanu jest dostarczenie z zewnątrz do półprzewodnika energii aktywacji, przenoszącej elektrony z pasma podstawowego do pasma przewodzenia. Energii takiej może dostarczyć zwiększenie temperatury otoczenia, odpowiednie oświetlenie oraz promieniowanie elektromagnetyczne. Po usunięciu źródła energii aktywacji elektrony, powracając do pasma

podstawowego, oddają pobraną wcześniej energię w postaci promieniowania elektromagnetycznego.

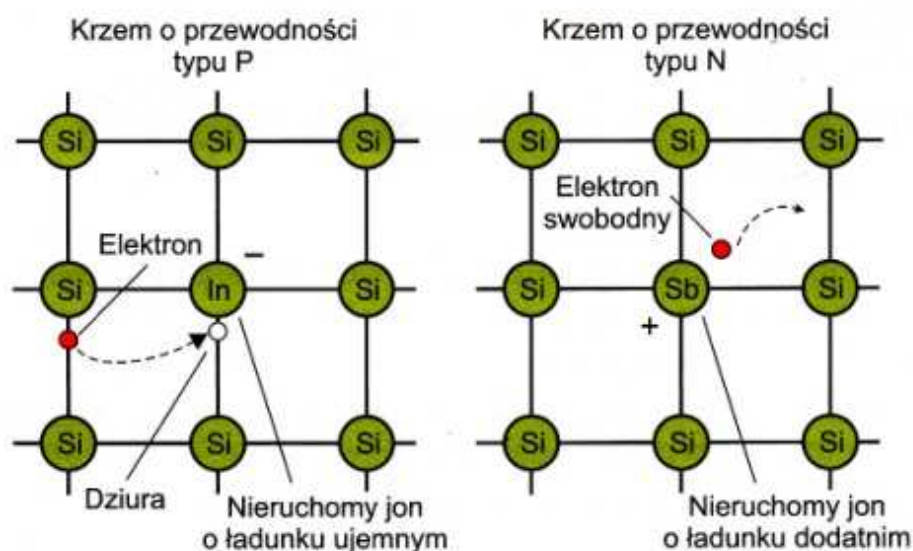
Zwiększenie energii elektronów walencyjnych w półprzewodnikach do poziomu, przy którym stają się one elektronami swobodnymi, następuje już w temperaturze 20°C , a liczba tych elektronów wzrasta wraz ze wzrostem temperatury.

Niezależnie od przyczyny przeniesienia elektronu z pasma walencyjnego do pasma przewodzenia, każdy elektron swobodny pozostawia w paśmie walencyjnym ubytek o ładunku dodatnim nazywany **dziurą** (rys. 1.5). W związku z tym przewodnictwo elektryczne półprzewodników zależy od koncentracji par **elektron-dziura**. Istnieją półprzewodniki, w których do wygenerowania tych par jest niezbędna energia aktywacji o wartości $0,25 \dots 0,4 \text{ eV}$. Takie półprzewodniki przewodzą prąd elektryczny w temperaturze pokojowej i nazywamy je **samoistnymi**. Do grupy takich półprzewodników należą np. dwutlenek uranu (UO_2) oraz tlenek cynku (ZnO).

Oprócz półprzewodników samoistnych, w których do elektrycznego uaktywnienia wystarczy zwiększenie temperatury otoczenia, w technice stosuje się półprzewodniki **niesamoistne**. W takich półprzewodnikach liczba nośników ładunku elektrycznego jest zwiększona sztucznie przez wprowadzenie obcych atomów (tzw. domieszek) do sieci krystalicznej. Ze względu na sposób domieszkowania wyodrębniamy dwa rodzaje półprzewodników niesamoistnych: półprzewodniki typu **N** oraz półprzewodniki typu **P**.

Półprzewodniki typu N powstają przez wprowadzenie do sieci krystalicznej, utworzonej przez atomy np. krzemu (Si) z czterema elektronami walencyjnymi, tzw. **domieszki donorowe** w postaci atomów pięciowartościowych, np. arsenu (As) lub antymonu (Sb) – rys. 1.7. Cztery elektrony walencyjne tej domieszki są stabilnie związane z siecią krystaliczną, piąty zaś jest słabo związany. W związku z tym niewielki zastrzyk energetyczny powoduje, że elektron ten przechodzi z pasma walencyjnego do pasma przewodzenia i porusza się swobodnie w sieci krystalicznej krzemu.

Zamocowany stabilnie w sieci krystalicznej atom domieszki donorowej, ze względu na brak piątego elektronu walencyjnego, jest naładowany dodatnio jodem, który stanowi dziurę energetyczną w paśmie walencyjnym czterowarto-



Rys. 1.7. Defekty struktury krystalicznej krzemu

ściowego kryształu półprzewodnika. Dziury, ze względu na małą liczbę atomów donorowych, są mniejszościowymi nośnikami ładunku elektrycznego półprzewodnika typu N, elektrony swobodne zaś, których jest nadmiar, są w tym półprzewodniku większościowymi nośnikami ładunku.

W **półprzewodnikach typu P** większościowymi nośnikami ładunku elektrycznego są dziury. Taki stan fizyczny można uzyskać, wprowadzając do czterowartościowej struktury kryształu krzemu atomy z trzema elektronami walencyjnymi, np. indu lub baru. Domieszki takie nazywamy **akceptorowymi**. Trzy elektrony walencyjne domieszki tworzą trwałe wiązania kowalencyjne z sąsiednimi atomami kryształu krzemu, a brak czwartego elektronu tworzy wiązanie zdegenerowane (rys. 1.7) z jednym elektronem i jedną dziurą. Dziury występujące w pobliżu atomów domieszki akceptorowej przechwytyują elektrony walencyjne innych atomów struktury krzemowej, tworząc dziury w innym miejscu tej struktury, i w ten sposób przemieszczają się w całej przestrzeni czterowartościowej krzemowej struktury krystalicznej. Z tego względu w półprzewodniku typu P większościowymi nośnikami ładunku elektrycznego są dziury, a elektrony są mniejszościowymi nośnikami tego ładunku.

Wywołane domieszkowaniem przewodnictwo niesamoistne zwiększa się wraz ze wzrostem koncentracji domieszek i nie zależy od temperatury.

1.3. Skutki przepływu prądu elektrycznego

Przepływowi prądu elektrycznego towarzyszą skutki uzależnione od rodzaju ośrodka przewodzącego ten prąd. Każdy użytkownik urządzeń elektrycznych stwierdził niejednokrotnie, że po długim okresie eksploatacji większość odbiorników energii elektrycznej się nagrzewa. Przyczyną tego zjawiska jest wzajemne tarcie elektronów płynących przez elementy i podzespoły przewodzące prąd. Mamy tu do czynienia z **efektem cieplnym** przepływu prądu. W technice samochodowej efekt ten jest wykorzystywany do ogrzewania szyb i foteli, podgrzewania powietrza w kolektorze dolotowym silnika spalinowego oraz do podgrzewania zapalniczki.

W rozdziale 1.2.1 opisano jonizację gazów, której przyczyną jest ruch elektronów spowodowany przez zewnętrzne pole elektryczne. Skutkiem jonizacji jest **efekt optyczny**, który w przypadku lamp wyładowczych jest efektem o naturze pozytywnej. Oprócz skutków pozytywnych, jonizacja powietrza występująca w pobliżu elektrod spawalniczych może mieć skutki negatywne, jeśli oczy spawacza nie będą osłonięte odpowiednio przyciemnionymi szklami.

Jak już sygnalizowano w rozdziale 1.2.2, przepływowi prądu przez ciekłe substancje przewodzące towarzyszy ich rozkład, nazywany elektrolizą. Jest to **efekt chemiczny** przepływu prądu. Efekt ten wykorzystuje się w przemyśle między innymi do pokrywania metali powłokami ochronnymi (kadmowanie i chromowanie), a także do pozyskiwania aluminium.

Kolejnym skutkiem przepływu prądu przez przewodnik jest występowanie pola magnetycznego wokół tego przewodnika. Dodatkowo w przestrzeni otaczającej przewodniki, przez które przepływa prąd przemienny, oprócz pola magnetycznego występuje również pole elektryczne. Dla urządzeń elektronicznych znajdujących się w pobliżu takie przewodniki są antenami emitującymi falę elektromagnetyczną, której właściwości propagacyjne zależą między innymi od częstotliwości prądu elektrycznego przepływającego przez przewodnik. Negatywnym skutkiem występowania fal elektromagnetycznych wokół przewodników z prądem przemiennym w pojazdach samochodowych są zakłócenia elektromagnetyczne, pochodzące między innymi z układu zapłonowego pojazdu. Zakłócenia tego rodzaju mają bardzo silny wpływ na działanie odbiorników radiowych, w których obwodzie zasilania nie zamontowano odpowiednich układów tłumiących elektryczne oraz elektromagnetyczne sygnały zakłócające.

Fale elektromagnetyczne emitowane przez układy elektrycznej instalacji samochodowej docierają nie tylko do elektronicznych podzespołów pojazdu. Na działanie takich fal są narażeni również użytkownicy samochodów oraz personel techniczny zajmujący się ich naprawą. Najnowsze badania wykazały, że instalacja zapłonowa emituje impulsowe fale elektromagnetyczne, których składowa magnetyczna ma wartość szczytową indukcji 0,5 mT. Dla porównania, maksymalna wartość indukcji pola magnetycznego Ziemi w naszej szerokości geograficznej nie przekracza $60 \mu\text{T}$. W praktyce oznacza to, że przebywanie w pobliżu nieosłoniętej instalacji zapłonowej przez dłuższy czas może spowodować negatywne zmiany w organizmie osoby narażonej na tego rodzaju promieniowanie. **Fizjologicznym efektem** tego zjawiska jest zwiększona generacja tzw. wolnych rodników w tkankach człowieka. Wolne rodniki są atomami pozbawionymi przez promieniowanie elektromagnetyczne elektronów walencyjnych. Niedobór elektronów walencyjnych sprawia, że atomy takie w sposób niekontrolowany tworzą tkankę nowotworową.

Negatywne efekty fizjologiczne może wywołać również prąd płynący bezpośrednio przez organizm człowieka. Skutki przepływu prądu przez człowieka w zależności od natężenia i przebiegu czasowego ujęto w tabeli 1.1, którą zaczerpnięto z publikacji [10].

Współczesne instalacje elektryczne, zasilane za pośrednictwem sieci energetycznej 230 V / 50 Hz, są wyposażone w zabezpieczenia różnicowo-prądowe, których prąd zadziałania ma wartość 30 mA. W przypadku nieświadomego kontaktu człowieka z przewodem fazowym L lub z przewodem neutralnym N sieci zasilającej, zabezpieczenie różnicowo-prądowe odłączy miejsce zagrożenia od tej sieci. Jeśli nie zadziała takie zabezpieczenie, ofiarę porażenia prądem elektrycznym należy odseparować od instalacji elektrycznej, wyłączając napięcie zasilające. Trzeba przy tym pamiętać, aby podczas akcji ratunkowej nie dotykać ofiary porażenia. Kolejnym krokiem, jaki należy wykonać, jest sprawdzenie oznak życia ofiary. W razie braku takich oznak należy przystąpić do reanimacji, wykonując sztuczne oddychanie i sprawdzając funkcjonowanie serca

Oddziaływanie prądu elektrycznego na człowieka

Natężenie prądu		Fizjologiczna reakcja człowieka	
Prąd przemienny	Prąd stały	Objawy widoczne	Objawy kliniczne
Do 25 mA	Do 80 mA	Reakcje mięśni palców. Przerwanie kontaktu z prądem jest jeszcze możliwe, gdy natężenie prądu ma wartość od 9 do 15 mA	Przejściowy wzrost ciśnienia krwi, bez wpływu na pracę serca i układ nerwowy
Od 25 do 80 mA	Od 80 do 300 mA	Natężenie prądu jest odczuwalne i nie powoduje utraty przytomności	Chwilowe zatrzymanie akcji serca i chwilowy wzrost ciśnienia krwi
Ponad 80 mA	Ponad 300 mA	Jeśli działanie prądu jest dłuższe niż 0,3 s, to następuje śmierć spowodowana zatrzymaniem akcji serca i oddychania	Migotanie komór serca
Ponad 3 mA (przy wysokim napięciu)	—	Poparzenia, odwodnienia	—

przez dotykanie palcami tętnicy szyjnej. Gdy zaniknie akcja serca, należy wykonywać na przemian sztuczne oddychanie i masaż serca. W trakcie akcji reanimacyjnej należy wezwać pogotowie ratunkowe za pośrednictwem osób trzecich.

Zagrożenie porażenia prądem elektrycznym występuje nie tylko w przypadku bezpośredniego kontaktu człowieka z siecią energetyczną 230 V. Porażenie prądem elektrycznym może wystąpić również na skutek kontaktu z wysokonapięciową częścią instalacji zapłonowej samochodu, gdy stanowisko pracy będzie nieodpowiednio zabezpieczone. W celu wyeliminowania takiego zagrożenia, podczas wykonywania napraw obwodów wysokonapięciowych należy stać na gumowym dywaniku, nawet gdy nasze obuwie ma gumową podeszwę.