



W jaki sposób półprzewodniki przewodzą prąd elektryczny?

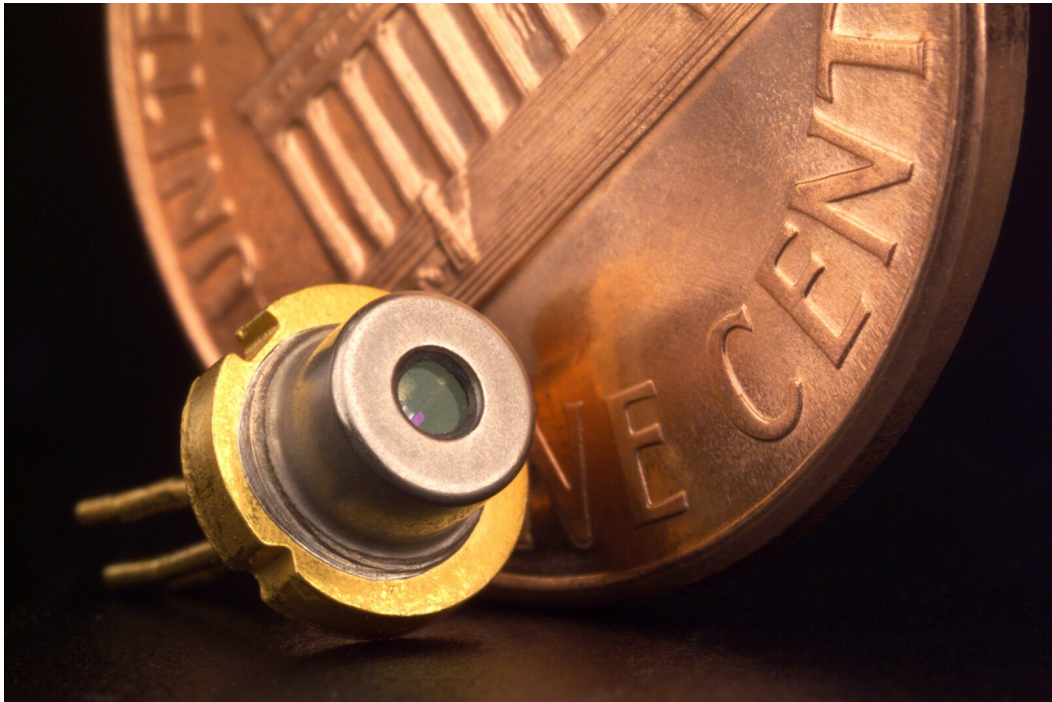
- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



W jaki sposób półprzewodniki przewodzą prąd elektryczny?

Czy to nie ciekawe ?

Półprzewodniki są materiałami o szerokim zastosowaniu w elektronice. Możliwości różnorodnych zastosowań tych materiałów wynikają ze sposobu przewodzenia przez nie prądu elektrycznego, a w szczególności możliwości modyfikowania przewodzenia. W półprzewodnikach istnieją dwa rodzaje nośników prądu: elektrony i tzw. dziury. Wprowadzając w sposób kontrolowany domieszki można regulować liczbę nośników, a przez to sposób przewodzenia prądu przez półprzewodnik (Rys. a.).



Rys. a. Laser półprzewodnikowy to najbardziej perspektywiczny laser z punktu widzenia zastosowań w fotonice ze względu na małe wymiary, dość wysokie moce, łatwość modulacji prądem sterującym o wysokiej częstotliwości.

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diode_laser.jpg [dostęp 8.07.2022], domena publiczna.

Twoje cele

Pracując z tym e-materiałem:

- dowiesz się, jakie rodzaje nośników prądu występują w półprzewodnikach,
- zrozumiesz, jak powstają nośniki prądu w półprzewodnikach,
- zrozumiesz wpływ budowy wewnętrznej półprzewodników na przewodzenie prądu,
- zastosujesz zdobytą wiedzę o półprzewodnikach w analizie zadań,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz interaktywną animację ilustrującą ruch nośników prądu w półprzewodnikach.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Półprzewodniki to materiały, które powszechnie stosuje się w elektronice, dzięki możliwości modyfikowania ich właściwości elektrycznych, w szczególności oporu elektrycznego. Modyfikowanie przeprowadza się przede wszystkim poprzez wprowadzanie w sposób kontrolowany domieszek. Domieszki mają na celu zmianę koncentracji jednego z rodzaju nośników prądu, którymi w półprzewodnikach są elektrony i tzw. dziury. Półprzewodniki, do których nie wprowadzono domieszek nazywa się **samoistnymi**. Natomiast półprzewodniki, do których wprowadzono celowo domieszki, nazywa się **domieszkowymi**. O tym, jakimi pierwiastkami domieszkuje się półprzewodniki i jak domieszki wpływają na przewodzenie półprzewodników przeczytasz w e-materiałach: „Półprzewodniki typu n” i „Półprzewodniki typu p”.

Wielkościami fizycznymi, od których zależy możliwość przewodzenia prądu przez materiały są: koncentracja nośników prądu i ich ruchliwość.

Koncentrację nośników prądu oznacza się literą **n** . Jest to liczba nośników w jednostce objętości.

Ruchliwość nośników oznacza się literą **μ** i wyrażamy wzorem:

$$\mu = \frac{u}{E}$$

gdzie u - średnia prędkość **dryfu** nośników, jaką uzyskują pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego, E - natężenie zewnętrznego pola elektrycznego.

Ruchliwość nośników łączy zatem średnią prędkość dryfu z przyczyną tego dryfu – zewnętrznym polem elektrycznym.

Skąd biorą się nośniki prądu w półprzewodnikach i czym są dziury?

W typowym dla półprzewodników **wiązaniu kowalencyjnym**, każdy atom wiąże się z czterema sąsiadami. W wyniku uzyskania energii od drgających atomów mogą się urywać elektrony z wiązań międzyatomowych i stać się elektronami swobodnymi.

W temperaturach wyższych niż 0 K istnieje pewna równowagowa liczba swobodnych elektronów, które mogą przewodzić prąd elektryczny. Im wyższa temperatura, tym swobodnych elektronów jest więcej.

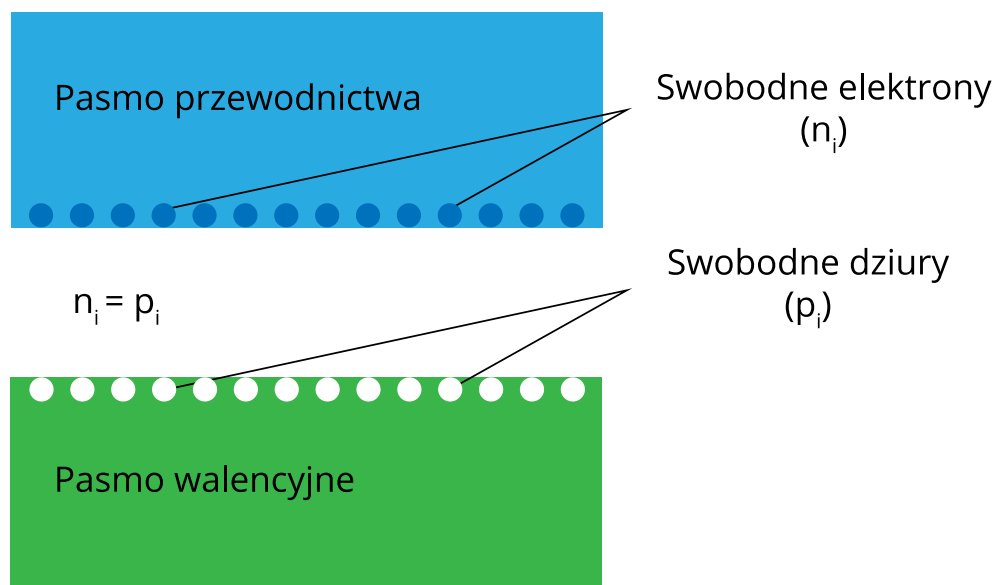
Na przykład, w krzemie w temperaturze 300 K koncentracja swobodnych elektronów wynosi około $1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, natomiast w temperaturze 310 K jest już ponad dwukrotnie większa.

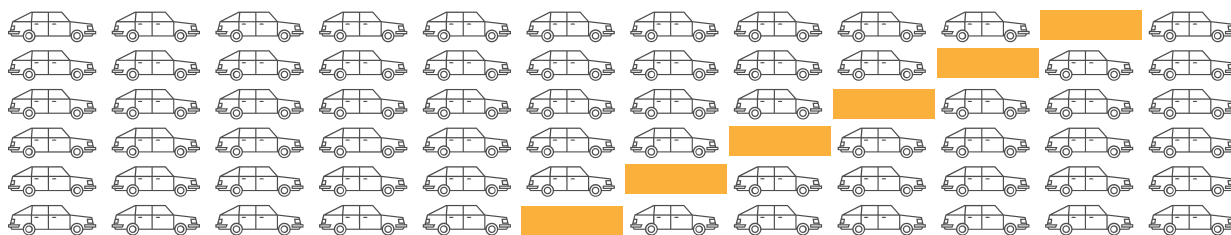
Dla porównania, koncentracja swobodnych elektronów w metalach jest rzędu 10^{22} cm^{-3} i praktycznie nie zależy od temperatury. Wzrost liczby swobodnych nośników prądu powoduje spadek oporu elektrycznego. Dlatego wraz ze wzrostem temperatury następuje spadek oporu elektrycznego półprzewodników samoistnych.


Miejsce po elektronie, który oderwał się z wiązania międzyatomowego może być zajęte przez inny elektron, z sąsiednich wiązań. Elektron ten także pozostawi lukę, która z kolei także może być zajęta przez elektron z sąsiedniego wiązania. Powstaje efekt przemieszczania się pustego miejsca po uwolnionych elektronach. Dla uproszczenia opisu takiego ruchu elektronów wprowadza się pojęcie dziury, czyli braku elektronu w wiązaniu kowalencyjnym.

Dziura jest nośnikiem ładunku dodatniego o wielkości bezwzględnej równej ładunkowi elektronu. Jest ona wygodnym sposobem opisu ruchu luki po uwolnionym elektronie, nie jest jednak cząstką taką jak elektron – nie da jej się zaobserwować jako samodzielnej cząstki poza materiałem, jest jednak wygodnym modelem przewodzenia prądu przez półprzewodniki. Nazywa się ją niekiedy quasi-cząstką.

Teoria pasmowa ciał stałych, o której możesz przeczytać w e-materiale: „Jak zbudowane są metale?” powstawanie dziur tłumaczy tym, że elektrony walencyjne, które osiągnęły energię z zakresu pasmu przewodnictwa, pozostawiają w pasmie walencyjnym wolny stan energetyczny (Rys. 1.). Umożliwia to zajęcie tego stanu przez inne elektrony o energii z zakresu poziomu walencyjnego. Zjawisko to może być opisane jako ruch dodatnich nośników prądu, czyli dziur.





 Luka między samochodami poruszająca się przeciwnie do ruchu samochodów, modelująca ruch dziury.

Rys. 3. Model ruchu dziur jako ruchu luki między samochodami.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Sumaryczne natężenie prądu płynącego przez półprzewodnik to suma natężenia prądu przenieszonego przez elektrony i przenieszonego przez dziury. W półprzewodnikach samoistnych, ze względu na większą ruchliwość elektronów, większy wpływ na natężenie prądu mają swobodne elektrony.

Typowe, kontrolowane domieszkowanie półprzewodników powoduje wzrost koncentracji jednego rodzaju nośników około tysiąckrotnie – nośniki te stają się nośnikami większościowymi i decydują o rodzaju przewodnictwa półprzewodnika. Z tego powodu półprzewodniki domieszkowe dzieli się na dwa typy: półprzewodniki typu n - gdzie dominującymi nośnikami prądu są elektrony i typu p, w których przeważa przewodnictwo dziur.

Słowniczek

dryf elektronów

przemieszczanie się elektronów w sposób uporządkowany pod wpływem zewnętrznego czynnika wymuszającego np. pola elektrycznego.

ruchy termiczne

nieustanne, chaotyczne ruchy cząstek, atomów, jonów i elektronów swobodnych tworzących każde ciało, o energii kinetycznej zależnej od temperatury.

wiązanie kowalencyjne

powstaje w wyniku uwspólnienia jednej lub kilku par elektronowych wiążących się atomów, w wyniku czego każdy z nich zachowuje się tak, jakby miał trwałą konfigurację gazu szlachetnego.

teoria pasmowa przewodnictwa

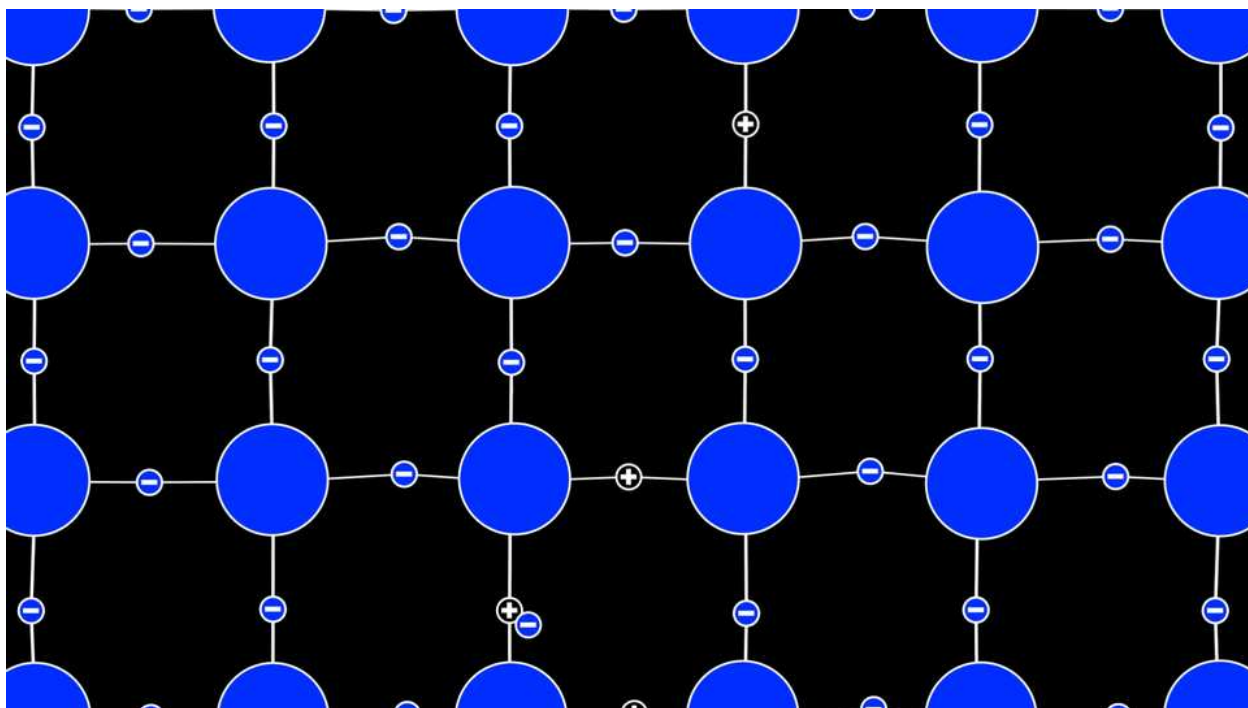
teoria opiera się na założeniu, że podczas powstawania struktury krystalicznej ciała stałego, dozwolone dla elektronów poziomy energetyczne swobodnych atomów rozszczepiają się tworząc pasma poziomów leżących blisko siebie; poszczególne pasma są od siebie oddzielone pasmem wzbronionym (przerwą energetyczną); najwyższe,

całkowicie lub częściowo wypełnione elektronami pasmo jest nazywane pasmem walencyjnym, a kolejne wyższe, całkowicie lub prawie całkowicie puste – pasmem przewodnictwa. W niecałkowicie zapełnionym pasmie pole elektryczne może spowodować przeniesienie elektronu na sąsiedni poziom energetycznych, czyli wywołać przepływ prądu; w całkowicie zapełnionym pasmie nie może ono zmieniać ani położenia, ani pędu elektronu, a więc nie wywołuje przepływu prądu. Ze względu na wzajemne położenie pasma walencyjnego oraz pasma przewodnictwa i stopień zapełnienia ich elektronami, ciała stałe dzieli się na: metale, półprzewodniki i dielektryki.

Animacja

W jaki sposób półprzewodniki przewodzą prąd elektryczny

Obejrzyj animację, która pozwoli Ci zrozumieć, jak wygląda ruch dziur w półprzewodnikach. W celu lepszego zobrazowania problemu, w drugiej części pokazu zobaczysz, jak przesuwają się luki między samochodami stojącymi w korku.



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/RXkgvS7YSdc8s](https://preview/resource/RXkgvS7YSdc8s)

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Zapoznaj się z audiodeskrypcją animacji, która pozwoli Ci zrozumieć, jak wygląda ruch dziur w półprzewodnikach. W celu lepszego zobrazowania problemu, w drugiej części pokazu pokazano, jak przesuwają się luki między samochodami stojącymi w korku.

Polecenie 1

Wyjaśnij, dlaczego wzrost temperatury powoduje zwiększenie się nośników prądu w półprzewodnikach?

Polecenie 2

Czy dziura jest realną dodatnią cząstką?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Wielkość fizyczna nazywana ruchliwością nośników opisuje wpływ zewnętrznego pola elektrycznego na dryf nośników. Natężenie prądu przenoszonego przez dany rodzaj nośników przy jednakowej liczbie nośników danego rodzaju w jednostce objętości jest proporcjonalne do ruchliwości. W samoistnym krzemie ruchliwość elektronów jest około 2,5 razy większa od ruchliwości dziur.

Jakie jest natężenie prądu przenoszonego przez nośniki dodatnie, jeżeli przez element wykonany z samoistnego krzemu płynie prąd o natężeniu o wartości $1,4 \mu\text{A}$?

Ćwiczenie 6

Ćwiczenie 7



Czy dziura elektronowa, tak jak elektron, może być zaobserwowana poza materiałem? Uzasadnij odpowiedź.

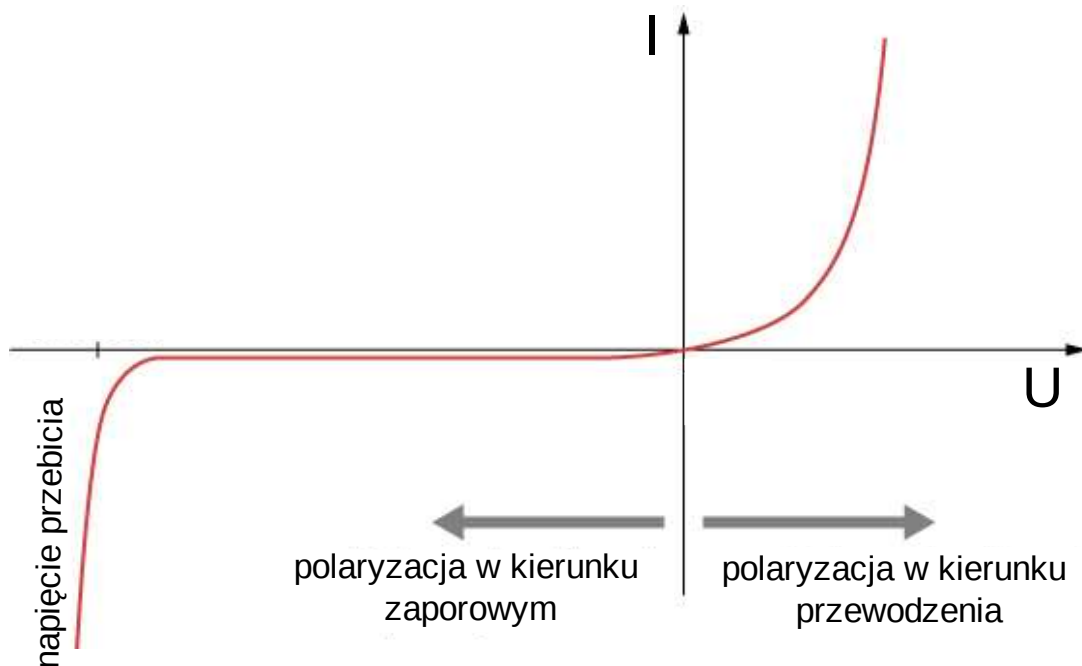
Ćwiczenie 8



Ćwiczenie 9



Przypuszczalnie najprostszym przyrządem, jaki można zbudować z półprzewodnika, jest dioda. Dioda to element obwodu, który pozwala na przepływ prądu elektrycznego tylko w jednym kierunku. Przykładowy wykres natężenia prądu I w zależności od napięcia U dla diody pokazany jest na wykresie. Jaka jest wartość prądu przy polaryzacji w kierunku przewodzenia w porównaniu z wartością prądu przy polaryzacji w kierunku zaporowym?



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	fizyka
Temat zajęć:	W jaki sposób półprzewodniki przewodzą prąd elektryczny?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>VIII. Prąd elektryczny. Uczeń:</p> <p>1) opisuje przewodnictwo w metalach, elektrolitach i gazach; wyjaśnia proces jonizacji w gazach, wskazuje rolę promieniowania, wysokiej temperatury i dużego natężenia pola elektrycznego.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none">• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,• kompetencje cyfrowe,• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. uzasadnia, jak powstają nośniki prądu w półprzewodnikach; 2. określa rodzaje nośników prądu w półprzewodnikach; 3. analizuje budowę wewnętrzną półprzewodników i sposoby przewodzenia prądu przez półprzewodniki; 4. stosuje zdobytą wiedzę w analizie zadań; 5. wyjaśnia pojęcie dziury i w jaki sposób odbywa się ruch dziur; 6. analizuje symulację multimedialną ilustrującą przewodzenie prądu przez półprzewodniki.
Strategie nauczania:	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
Metody nauczania:	burza mózgów, wykład informacyjny, pokaz multimedialny
Formy zajęć:	praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	rzutnik z dostępem do Internetu, symulacja interaktywna, animacje interaktywne ilustrujące przepływ prądu w półprzewodnikach, zestaw zadań
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel prowadzi rozmowę z uczniami na temat półprzewodników. Zadaje im pytania:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Co wiecie o półprzewodnikach? Podsumowanie odpowiedzi: półprzewodniki są stosowane powszechnie w elektronice, przewodzą prąd elektryczny gorzej niż metale. • Kiedy materiały mogą przewodzić prąd elektryczny? Podsumowanie odpowiedzi: muszą mieć swobodne nośniki ładunku elektrycznego, nośnikami prądu mogą być swobodne elektrony (w metalach i półprzewodnikach), jony (w elektrolitach) i dziury (w półprzewodnikach). 	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel tłumaczy, że jeśli elektron z pasma walencyjnego wzbudzony jest do pasma przewodnictwa, to pozostawia on po sobie w pasmie walencyjnym nieobsadzony stan nazywany dziurą. Do tego stanu może łatwo przemieścić się sąsiadujący elektron, przez co przemieści się dziura. Na prąd elektryczny związany z takim przemieszczaniem się można patrzeć albo jak na ruch elektronów o ładunku ujemnym, albo ruch dziur o ładunku dodatnim. Nauczyciel objaśnia mechanizm powstawania swobodnych elektronów i dziur w półprzewodnikach, wykorzystując multimedia. Aby to zilustrować, pokazuje uczniom jednowymiarową sieć krystaliczną (https://pl.wikipedia.org/wiki/Domieszkowanie#/media/Plik:Doping_crystal_net.jpg). Uczniowie zauważają, że jeśli dziura po prawej stronie (powstała na skutek wzbudzenia elektronu do pasma przewodnictwa) zapełniona zostanie przez sąsiadujący elektron, wówczas przesunie się w lewo. Prąd zatem może być interpretowany jako ruch dodatniego ładunku w lewo. Nauczyciel objaśnia pojęcia koncentracji i ruchliwości nośników, podając różnice i podobieństwa między elektronami swobodnymi i dziurami. Uczniowie analizują symulacje ilustrujące sposób przemieszczania się dziur w półprzewodnikach. Nauczyciel objaśnia wpływ domieszek na przewodzenie prądu przez półprzewodniki.

Faza podsumowująca:

Uczniowie odpowiadają na pytania 5-9 z zestawu ćwiczeń. Nauczyciel analizuje pracę uczniów i wystawia oceny.

Praca domowa:

Uczniowie powtarzają i utrwalają wiedzę i zdobyte umiejętności przez rozwiązanie w domu zadań, których nie rozwiązyali na lekcji 1-4.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Może być wykorzystane przy powtórzeniu wiadomości i realizowaniu innych tematów z zakresu półprzewodników.