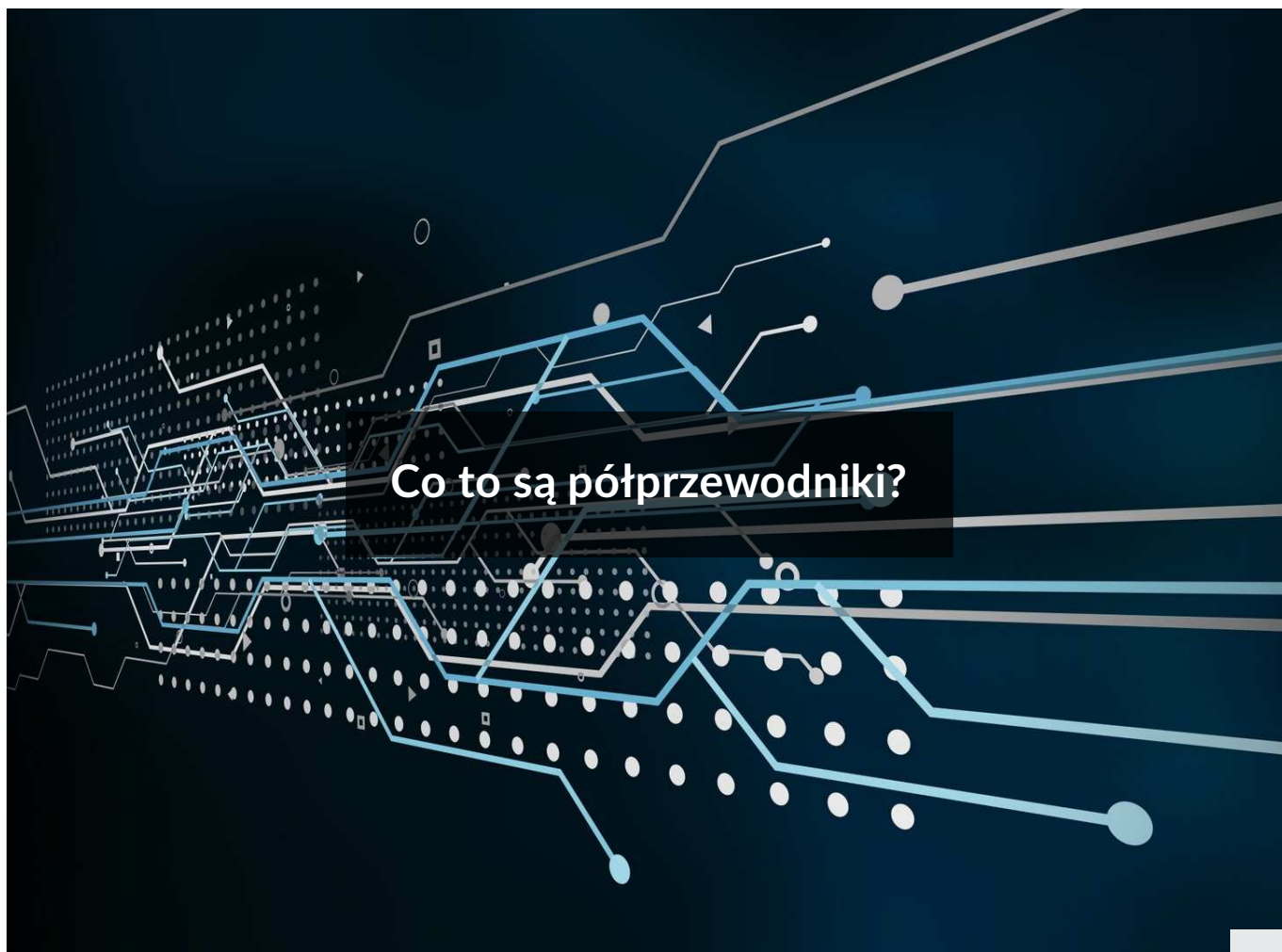




## Co to są półprzewodniki?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



## Co to są półprzewodniki?

### Czy to nie ciekawe?

Półprzewodniki to materiały bez których nie istniałaby współczesna elektronika. O ich zastosowaniu nie decyduje samo przewodzenie przez nie prądu elektrycznego, ale możliwość modyfikowania ich właściwości elektrycznych, w szczególności oporu elektrycznego. Co z kolei pozwala na zastosowanie tych materiałów w urządzeniach przetwarzających prąd elektryczny i zawarte w nim informacje.

#### Twoje cele

- dowiesz się, jakie właściwości półprzewodników decydują o ich szerokich zastosowaniach,
- poznasz wielkości fizyczne charakteryzujące właściwości elektryczne materiałów,
- zrozumiesz różnice między przewodnikami, półprzewodnikami i izolatorami,
- zastosujesz zdobyte wiadomości do rozwiązywania zadań.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

Ze względu na właściwości elektryczne i możliwości zastosowania w elektrotechnice i elektronice materiały dzieli się na trzy podstawowe rodzaje: przewodniki, półprzewodniki i izolatory. Półprzewodniki to materiały, których właściwości elektryczne, w szczególności opór elektryczny, można zmieniać w dosyć szerokim zakresie, przede wszystkim poprzez wprowadzenie domieszek, także przez ogrzewanie, oświetlanie itd. Możliwość modyfikowania właściwości pozwala na bardzo szerokie zastosowanie półprzewodników do przetwarzania sygnałów elektrycznych. Na przykład: do „prostowania” prądu, do wzmacniania sygnałów elektrycznych, sterowania prądami, do zamiany prądu na światło i światła na prąd elektryczny. Także działanie wszelkiego typu procesorów komputerowych, mikroprocesorów, chipów, pamięci półprzewodnikowych wynika z właściwości półprzewodników.

Wielkościami fizycznymi, które pozwalają zakwalifikować dany materiał do półprzewodników, są opór elektryczny właściwy i szerokość energetycznej przerwy wzbronionej.

**Opór elektryczny właściwy** jest miarą zdolności materiału do stawiania oporu przepływającemu prądowi elektrycznemu, oznacza się go literą  $\rho$  i możemy opisać ją wzorem:

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

gdzie:  $R$  – opór elektryczny materiału,  $S$  – pole przekroju poprzecznego elementu,  $l$  – długość elementu. Jednostką oporu właściwego jest  $\Omega\text{m}$ .

Podział materiałów ze względu na opór elektryczny właściwy:

Materiały	metale	półprzewodniki	izolatory
Typowy opór elektryczny właściwy ( $\Omega\text{m}$ )	$10^{-6}$ - $10^{-8}$	$1$ - $10^4$	$10^8$ - $10^{23}$

Tab. 1. Opór elektryczny właściwy metali, półprzewodników i izolatorów

Jak widać (Tab. 1.) opór właściwy materiałów leży w bardzo szerokim zakresie – różnica między metalami a izolatorami przekracza 30 rzędów wielkości. Nawet opór właściwy danego materiału może zawierać się w dosyć szerokim zakresie (np. dla diamentu jest

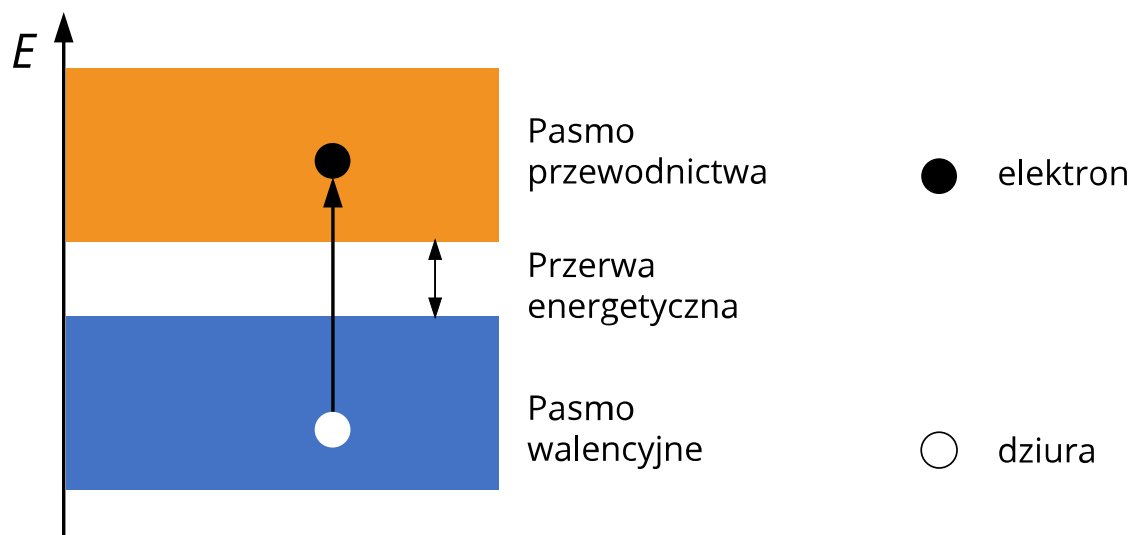
podawany w zakresie od  $10^{11} \Omega\text{m}$  do  $10^{18} \Omega\text{m}$ ). Różnice te wynikają ze sposobu otrzymywania materiału, powstałych defektów struktury krystalicznej, stopnia zanieczyszczenia itp.

W półprzewodnikach opór elektryczny zmienia się przede wszystkim przez wprowadzanie domieszek, które zwiększają ilość nośników prądu elektrycznego. Wprowadzenie w sposób kontrolowany domieszek zmienia opór elektryczny półprzewodnika o kilka rzędów wielkości.

**Energetyczna przerwa wzbroniona** określa energię, jaką muszą uzyskać elektrony związane z atomem, aby stały się elektronami swobodnymi i stały się nośnikami prądu. Zgodnie z **pasnową teorią przewodnictwa** jest to energia, jaką muszą uzyskać elektrony mające energię odpowiadającą pasmu walencyjnemu, aby uzyskać energię odpowiadającą pasmu przewodnictwa. Jest to również minimalna energia, jaką wyemituje elektron, najczęściej w formie promieniowania elektromagnetycznego, przechodząc ze stanu energetycznego z zakresu pasma przewodnictwa do stanu energetycznego z zakresu pasma walencyjnego. Wartość przerwy wzbronionej decyduje o ilości nośników swobodnych, a zatem istotnie wpływa na opór elektryczny właściwy. Koncentracja nośników w metalach jest rzędu  $10^{22}$  w centymetrze sześciennym, w **półprzewodnikach samoistnych** w temperaturze pokojowej w zależności od materiału wynosi od  $10^6$  do  $10^{10}$  w jednym centymetrze sześciennym, w **domieszkowanych** uzyskuje się od  $10^{12}$  aż do  $10^{20}$  w centymetrze sześciennym.

Z **teorii pasmowej przewodnictwa** wynika, że elektrony walencyjne, które zyskały energię odpowiadającą pasmu przewodnictwa – „przechodząc” do pasma przewodnictwa, pozostawiają w pasmie walencyjnym wolny stan energetyczny. 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 (Rys. 1.).

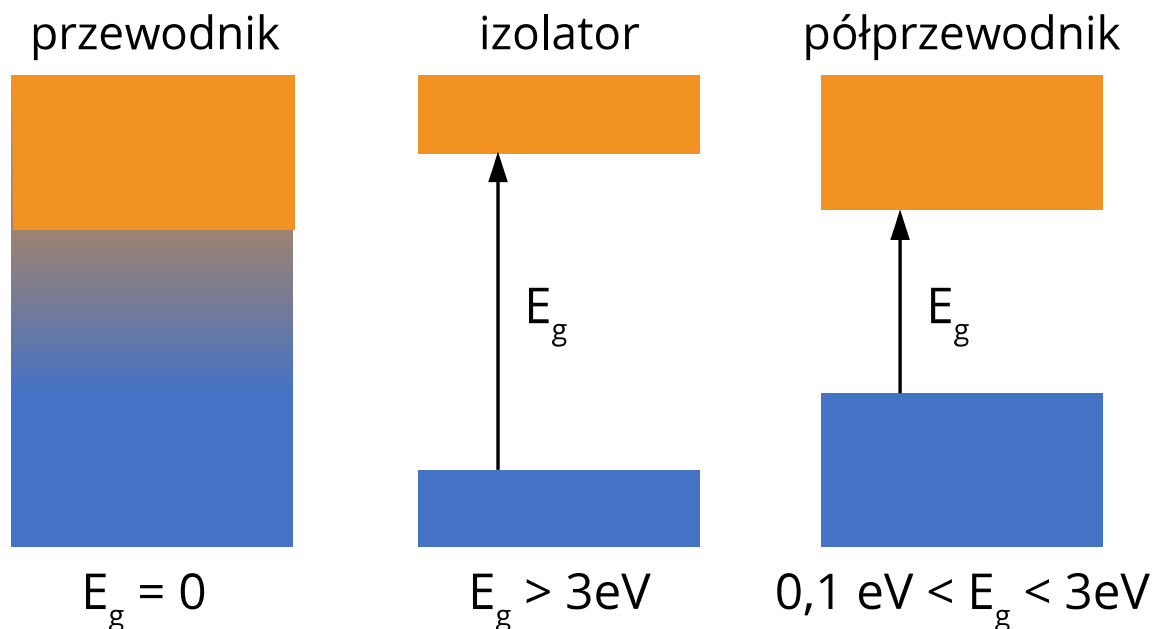
W półprzewodnikach istnieją zatem dwa rodzaje nośników prądu: elektrony i dziury mające właściwości nośników o dodatnim ładunku elektrycznym.



Rys. 1. Powstanie pary elektron swobodny – dziura w półprzewodnikach samoistnych

Podział materiałów ze względu na energetyczną przerwę wzbronioną:

Materiały	metale	półprzewodniki	izolatory
Typowa przerwa wzbroniona (eV)	nie występuje	0,1-3 eV	większa niż 3 eV



Rys. 2. Podział materiałów w zależności od wartości energetycznej przerwy wzbronionej  $E_g$

Dla najczęściej stosowanych półprzewodników szerokość przerwy wzbronionej wynosi około 1 eV:

- german – 0,67 eV,
- krzem – 1,12 eV,
- arsenek galu 1,43 eV.

W praktyce jako półprzewodnik stosuje się materiały o szerokości przerwy wzbronionej od ułamka elektronowolta do kilku elektronowoltów.

Jako półprzewodniki stosuje się również materiały o przerwie wzbronionej i oporze elektrycznym właściwym wykraczającymi poza umownie przyjęte granice. Między innymi diament, o przerwie wzbronionej około 5 eV i oporze elektrycznym właściwym około  $10^{11}$ - $10^{13} \Omega m$ , dzięki odporności termicznej i cieplnej jest stosowany w tranzystorach, licznikach krystalicznych oraz **tyrystorach** pracujących w wysokiej temperaturze – do 500°C. Azotek glinu, o szerokości przerwy wzbronionej 6,2 eV i oporze właściwym około  $10^{11}$ - $10^{13} \Omega m$ , znalazł zastosowanie w optoelektronice nadfioletu.

## Słowniczek

Półprzewodnik samoistny

(*ang.: intrinsic semiconductor*) półprzewodnik, którego materiał jest idealnie czysty, bez żadnych zanieczyszczeń struktury krystalicznej. W przypadku pierwiastków występuje tylko jeden rodzaj atomów, a w przypadku związków półprzewodnikowych – liczba łączących się atomów dwóch pierwiastków jest jednakowa.

### **Półprzewodniki domieszkowe (niesamoistne)**

(*ang.: doped semiconductors*) są materiałami, do których zostały wprowadzone atomy pierwiastków, różniących się wartościowością od atomów budujących półprzewodnik samoistny. Zamiana atomu półprzewodnika na odpowiedni atom domieszki powoduje pojawienie się nadmiaru bądź niedoboru elektronów, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu liczby nośników prądu elektrycznego (elektronów lub dziur) i tym samym spadku oporu właściwego półprzewodnika w danej temperaturze. W związkach półprzewodnikowych efekt domieszkowania można osiągnąć poprzez niejednakową ilość atomów łączących się pierwiastków. <https://eszkola.pl/fizyka/polprzewodniki-domieszkowe-3841.html>

### **Teoria pasmowa przewodnictwa**

(*ang.: electronic band structure, band structure*) teoria kwantowa, stosowana do opisu struktury elektronowej w ciele stałym. Model pasmowy przedstawia graficznie zakresy stanów dozwolonych i wzbronionych elektronowych pasm energetycznych w materiale (Encyklopedia szkolna fizyka, wyd. Zielona Sowa 2006).

### **Tyrystor**

(*ang.: thyristor*) element półprzewodnikowy składający się z 4 warstw w układzie *p-n-p-n*. Jest on wyposażony w 3 elektrody, z których dwie są przyłączone do warstw skrajnych, a trzecia do jednej z warstw środkowych – warstwy typu *p* (Wikipedia).

# Film samouczek

---

## Co to są półprzewodniki?

Obejrzyj film, który pokazuje znaczenie wielkości energetycznej przerwy wzbronionej dla właściwości elektrycznych materiałów.




Trwa wczytywanie danych..

Polecenie 1

Polecenie 2

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Materiał	Opór elektryczny właściwy ( $\Omega\text{m}$ )
węgiel (grafit)	$3,5 \cdot 10^{-5}$
german	0,46
krzem	640
węgiel (diament)	$10^{12}$

Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Ćwiczenie 9



# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Jarosław Krakowski
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Co to są półprzewodniki</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
<b>Podstawa programowa:</b>	<p><b>Cele kształcenia - wymagania ogólne</b></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><b>Zakres podstawowy</b></p> <p><b>Treści nauczania - wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;</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>VII. Prąd elektryczny. Uczeń:</p> <p>2) rozróżnia metale i półprzewodniki: omawia zależność oporu od temperatury dla metali i półprzewodników.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania - wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p>

	<p>2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;</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>
<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<p><b>Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li> <li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li> <li>• kompetencje cyfrowe,</li> <li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li> </ul>
<b>Cele operacyjne:</b>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. poda wielkości fizyczne opisujące właściwości elektryczne materiałów.</li> <li>2. omówi różnice między przewodnikami, półprzewodnikami i izolatorami.</li> <li>3. wskaże właściwości półprzewodników, które decydują o ich szerokich zastosowaniach.</li> <li>4. zastosuje zdobytą wiedzę w rozwiązywaniu zadań.</li> <li>5. przeanalizuje dane liczbowe opisujące właściwości elektryczne materiałów i na ich podstawie dobierze zastosowania.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	<p>IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe).</p>
<b>Metody nauczania:</b>	<p>wykład informacyjny</p>
<b>Formy zajęć:</b>	<p>praca zespołowa</p>

<b>Środki dydaktyczne:</b>	tablice fizyczne, internet, zestawy zadań.
<b>Materiały pomocnicze:</b>	rzutnik
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Pytania nauczyciela: Co wiecie o półprzewodnikach?</p> <p>Jakie znacie właściwości półprzewodników i czym różnią się od przewodników prądu i izolatorów?</p> <p>Oczekiwane odpowiedzi z ewentualnym naprowadzeniem nauczyciela: różnorodne zastosowania w elektronice, gorzej przewodzą prąd elektryczny niż metale, ale lepiej niż izolatory.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	
<p>Pytanie nauczyciela: Jakie znacie wielkości fizyczne opisujące właściwości elektryczne materii?</p> <p>Uczniowie powinni wymienić opór elektryczny właściwy, a przy ewentualnej pomocy nauczyciela energetyczną przerwę wzbronioną, koncentrację nośników i ich ruchliwość.</p> <p>Nauczyciel omawia podział materiałów ze względu na opór elektryczny właściwy i energetyczną przerwę wzbronioną, zwracając uwagę, że jako półprzewodniki stosuje się materiały o dosyć szerokim zakresie tych wielkości.</p>	
<b>Faza podsumowująca:</b>	
Uczniowie rozwiązują zadania 1, 2, 4, 5 z części „Sprawdź się” w celu zweryfikowania ich wiedzy.	
<b>Praca domowa:</b>	
Zadania 3, 6, 7, 8 w celu powtórzenia i utrwalenia wiadomości.	
<b>Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:</b>	Film samouczek może być zastosowany przez uczniów przy powtórzeniu wiadomości lub na początku lekcji w celu sprowokowania uczniów do dyskusji.