



## Budowa diody półprzewodnikowej

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Animacja
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

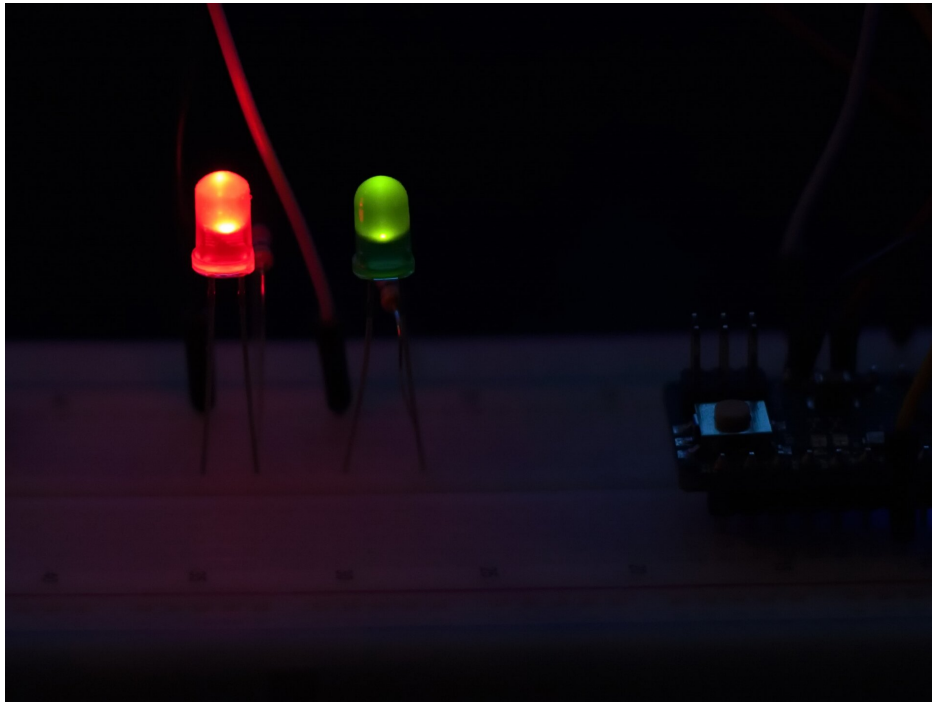


## Budowa diody półprzewodnikowej

Źródło: dostępny w internecie: <https://lovepik.com/image-605724391/blue-big-data-internet-banner-poster-background.html> [dostęp 7.03.2022 r.].

### Czy to nie ciekawe ?

Zasadniczymi częściami diody półprzewodnikowej są dwa elementy wykonane zazwyczaj z tego samego materiału, ale inaczej domieszkowane – jeden typu  $n$ , drugi typu  $p$ . Powoduje to, że w inny sposób przewodzą prąd elektryczny – dominują w nich inne nośniki prądu elektrycznego. Ta możliwość modyfikowania materiałów półprzewodnikowych jest podstawą działania praktycznie całej współczesnej elektroniki.



Rys. a. Diody półprzewodnikowe

Źródło: Maciej J. Mrowiński, licencja: CC BY 4.0.

### Twoje cele

- dowiesz się, z jakich elementów składa się dioda,
- poznasz zjawiska zachodzące na złączu  $p-n$ ,
- zrozumiesz, w jaki sposób powstają bariery ładunku i napięcia elektrycznego na złączu  $p-n$ ,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do analizowania zadań i problemów.

# Przeczytaj

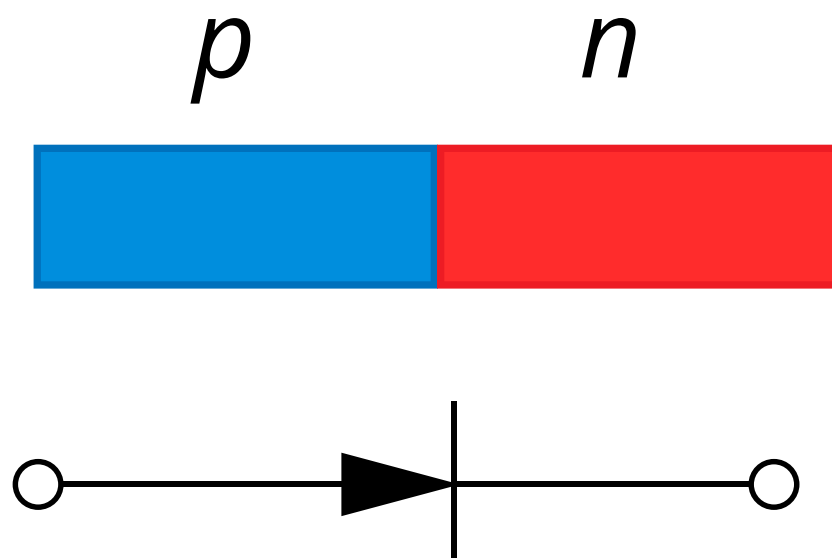
---

## Warto przeczytać

Dioda jest elementem elektronicznym, którego istotną właściwością jest niejednakowe przewodzenie prądu w dwóch kierunkach. W kierunku przewodzenia przy [napięciu](#) o tej samej wartości natężenie prądu może być około 1000 razy większe niż w kierunku przeciwnym – nazywanym zaporowym. Właściwość ta jest wykorzystywana w różnorodnych urządzeniach elektronicznych na wiele różnych sposobów. Między innymi:

- do „prostowania prądu” (diody prostownicze),
- zamiany prądu w światło (diody Led),
- dioda może działać jak kondensator (diody pojemnościowe),
- może stabilizować napięcie (dioda Zenera),
- może wzmacniać i generować sygnały mikrofalowe (diody tunelowe),
- ponadto dioda może działać jak laser,
- a także zamieniać światło w prąd elektryczny.

Nazwa dioda pochodzi od dwóch elektrod doprowadzających [napięcie elektryczne](#) do diody.



Rys. 1. Układ półprzewodników  $p$  i  $n$  w diodzie i symbol graficzny diody prostowniczej. Grot strzałki wskazuje kierunek przewodzenia prądu przez diodę

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

Zasadniczym elementem diod półprzewodnikowych jest złącze pomiędzy dwoma półprzewodnikami (typu  $n$  i typu  $p$ ) wykonanymi zazwyczaj z tego samego materiału, ale różniącymi się rodzajem dominujących nośników prądu.

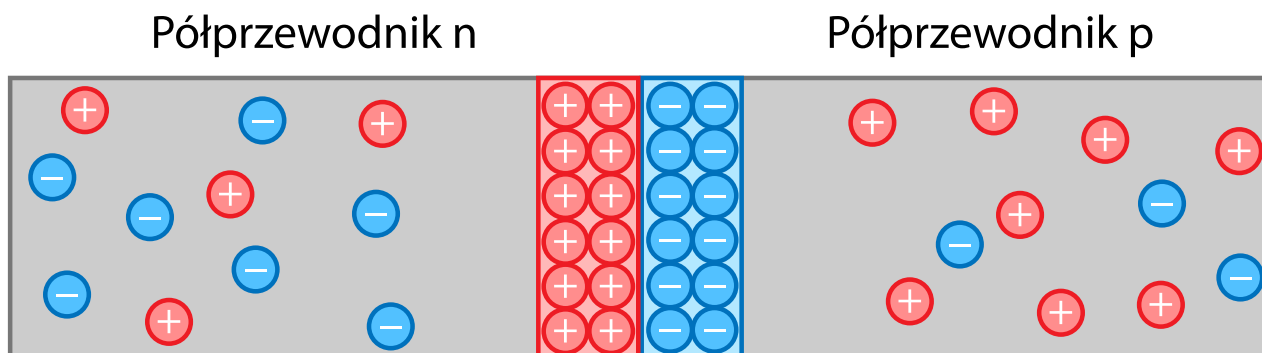
Jako półprzewodniki stosuje się najczęściej krzem i german leżące w XIV grupie układu okresowego i związki między pierwiastkami z XIII i XV grupy układu okresowego, tworzącymi podobne wiązania chemiczne, jak krzem i german. Opór elektryczny półprzewodników można zmienić przez wprowadzenie w sposób kontrolowany domieszek. Stosuje się dwa typy domieszek: typ  $n$  (negatywne – ujemne) – zwiększających ilość elektronów swobodnych – ujemnych nośników prądu i typ  $p$  (pozytywne – dodatnie) – zwiększających ilość dziur – dodatnich nośników prądu. Więcej o domieszkowaniu możesz przeczytać w e-materiałach: „Półprzewodniki typu  $n$ ” i „Półprzewodniki typu  $p$ ”.

Samo zwiększenie przewodności półprzewodników w stosunku do czystych – krzemu czy germanu nie jest celem samym w sobie. Istotne właściwości półprzewodników pozwalające na ich różnorodne zastosowania związane są ze zjawiskami dziejącymi się na złączu między półprzewodnikami dwojakiemu rodzaju – tak zwanym złączu  $p$ - $n$ .

## Złącze p-n

Jeżeli połączymy półprzewodnik typu  $p$  z półprzewodnikiem typu  $n$ , uzyskamy złącze, w którym po stronie  $p$  mamy wysoką koncentrację dziur – czyli braki elektronów w wiązaniach międzyatomowych, a po stronie  $n$  wysoką koncentrację swobodnych elektronów – o energii z zakresu pasma przewodnictwa. Jedną z metod tworzenia złącza p-n jest metoda ciśnieniowa, polegająca na połączeniu kryształów o przeciwnym typie przewodnictwa w wyniku działania ciśnienia około  $10^8$  Pa.

Skutkiem nierówności w koncentracji nośników po obu stronach złącza jest samorzutny, w wyniku zjawiska dyfuzji, przepływ elektronów z półprzewodnika typu  $n$  do  $p$  i dziur z półprzewodnika typu  $p$  do  $n$ . Następnie, po obu stronach, w wyniku spotkania dziur z elektronami, dochodzi do ich połączenia – tak zwanej rekombinacji (można powiedzieć, że elektrony wpadają w dziury, w których ich brakuje). Skutkiem rekombinacji jest unieruchomienie nośników, i w efekcie wyraźne zmniejszenie liczby swobodnych nośników w obszarze złącza. Ostatecznie na złączu powstaje przestrzenny rozkład ładunku (Rys. 2.). Po stronie półprzewodnika  $p$ , atomy domieszek typu  $p$  przyłączają brakujące im do kompletu wiązań elektrony – są to elektrony, które przeszły z części półprzewodnika. Po stronie półprzewodnika  $p$  powstaje nadwyżka ładunku ujemnego. Po stronie półprzewodnika  $n$  pozostają zjonizowane atomy domieszek typu  $n$ , które pozbyły się nadmiarowych elektronów – niewykorzystywanych przy tworzeniu wiązań. W wyniku tego procesu po stronie  $n$  powstaje nadwyżka ładunku dodatniego. Ten przestrzenny rozkład ładunku (Rys. 2.) osiąga stan nasycenia i tworzy barierę blokującą dalszy przepływ ładunków przez złącze. Przepływ nośników większościowych przez złącze praktycznie ustaje.



Rys.2. Schemat rozkładu ładunków elektrycznych na złączu p-n w diodzie.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, dostępny w internecie:

[https://eduinf.waw.pl/inf/prg/009\\_kurs\\_avr/0017.php](https://eduinf.waw.pl/inf/prg/009_kurs_avr/0017.php) [dostęp 9.03.2022 r.], licencja: CC BY 4.0.

Przestrzenny rozkładu ładunku powoduje powstanie pola elektrycznego na złączu i [napięcia elektrycznego](#) między półprzewodnikiem *p* i *n*. Część *p*, do której przeszły elektrony staje się ujemnie naelektryzowana w stosunku do części *n* – do której przeszły dodatnie dziury. W złączu niespolaryzowanym (bez zewnętrznego pola elektrycznego) [napięcie elektryczne](#) między półprzewodnikiem typu *n* i półprzewodnikiem typu *p*, nazywane napięciem dyfuzyjnym, zależy głównie od koncentracji domieszek i temperatury. Dla złączy wykonanych z krzemu [napięcie](#) to w temperaturze pokojowej ma wartość około 0,6–0,8 V, natomiast dla złączy germanowych około 0,2–0,3 V. [Napięcie](#) to zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury o około 2,3 mV/K. Szczegółowo o zasadzie działania diody dowiesz się z e-materiału „Zasada działania diody półprzewodnikowej”, a o możliwości jej zastosowania z e-materiału „Do czego służy dioda półprzewodnikowa?”.

## Słowniczek

### Opór elektryczny właściwy

(*ang.: specific electrical resistance*) – miara zdolności materiału do stawiania oporu przepływającemu prądowi elektrycznemu. Możemy opisać ją wzorem  $\rho = \frac{RS}{l}$ , gdzie:  $\rho$  – opór elektryczny właściwy,  $R$  – opór elektryczny przewodnika,  $S$  – pole przekroju poprzecznego przewodnika,  $l$  – długość przewodnika. (Słownik fizyki, Prószyński i S-ka 1999)

### Dryf elektronów

(*ang.: electron drift*) – przemieszczanie się elektronów w sposób uporządkowany pod wpływem zewnętrznego czynnika wymuszającego – np. pola elektrycznego (Encyklopedia szkolna fizyka, wyd. Zielona Sowa 2006)

### Napięcie elektryczne

(*ang.: electric voltage*) – napięcie elektryczne między dwoma punktami pola elektrycznego jest równe różnicy energii potencjalnej, jaką ma ładunek w tych dwóch punktach, podzielonej przez wartość tego ładunku.



# Animacja

---

## Budowa diody półprzewodnikowej

Animacja pokazuje w trzech etapach powstawanie bariery ładunku na złączu p-n.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D11Y7mRL6>

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

Opis alternatywny animacji 3D.

Animacja pokazuje symbolicznie ładunki ujemne i dodatnie w obu półprzewodnikach. Są narysowane jako niebieskie kółka z minusem w środku i czerwone z plusem w środku. Ładunki drgają chaotycznie. Gdy dochodzi do ich spotkania na granicy półprzewodników, pokazany jest moment łączenia się elektronów z dziurami i tworzenie zgęszczenia ładunków ujemnych niebieskich po stronie półprzewodnika p i czerwonych po stronie półprzewodnika n. Zobrazowane jest to zgęszczenie w postaci ciasno ułożonych dwóch rzędów kółek niebieskich i przylegających do nich dwóch rzędów kółek czerwonych.

---

### Polecenie 1

Po utworzeniu złącza p-n następuje samorzutny ruch nośników:

- elektronów do półprzewodnika typu  $n$ , a dziur do półprzewodnika typu  $p$
- elektronów do półprzewodnika typu  $p$ , a dziur do półprzewodnika typu  $n$
- elektronów i dziur do półprzewodnika typu  $n$
- elektronów i dziur do półprzewodnika typu  $p$

## Polecenie 2

Uzupełnij tekst.

Po połączeniu półprzewodnika typu  $n$  z  $p$  następuje samorzutny przepływ   
z półprzewodnika typu  $n$  do  $p$  i  w przeciwną stronę. Po przepływie ładunków  
przez złącze następuje  po obu stronach elektronów z dziurami, co powoduje ich  
unieruchomienie i w ostateczności powstaje przestrzenny rozkład ładunków   
dalszy ruch  przez złącze.

umożliwiający

elektronów

nośników

połączenie

dziur

blokujący

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Złącze p-n to złącze pomiędzy:

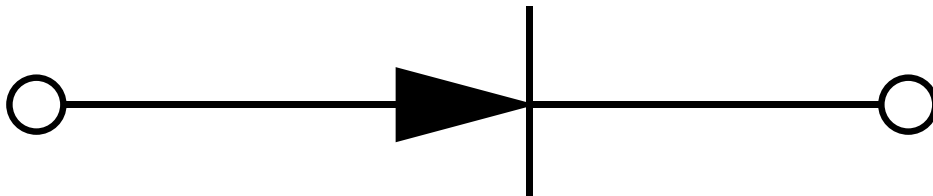
- półprzewodnikiem typu  $p$  i półprzewodnikiem typu  $n$
- półprzewodnikiem samoistnym i półprzewodnikiem domieszkowym
- półprzewodnikiem i izolatorem
- półprzewodnikiem typu  $p$  i metalem

## Ćwiczenie 2



Wskaż wszystkie poprawne odpowiedzi.

W symbolu diody:



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

grot strzałki wskazuje:

- kierunek samorzutnego ruchu nośników ujemnych na złączu p-n
- kierunek samorzutnego ruchu elektronów na złączu
- kierunek przewodzenia prądu przez diodę
- kierunek samorzutnego ruchu nośników dodatnich na złączu p-n

### Ćwiczenie 3



Wskaż wszystkie poprawne odpowiedzi.

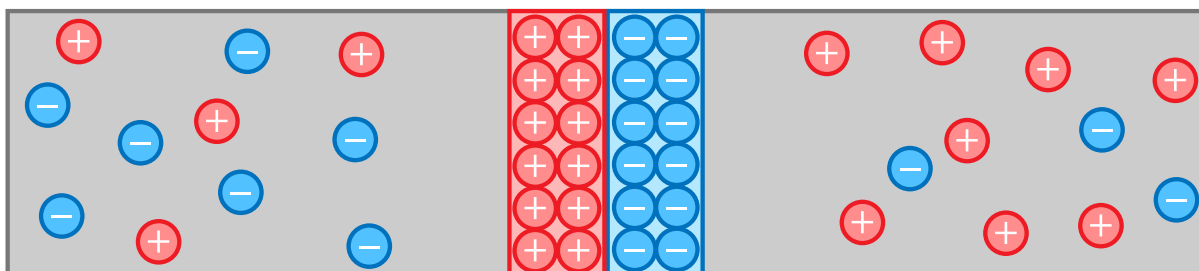
Półprzewodniki typu  $p$  od półprzewodników typu  $n$  różnią się przede wszystkim:

- oporem elektrycznym właściwym
- rodzajem dominujących nośników prądu
- rodzajem wprowadzanych domieszek
- rodzajem materiału

### Ćwiczenie 4



Rysunek przedstawia model złącza  $p$ - $n$ .



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

Po której stronie znajduje się półprzewodnik typu  $n$ , a po której typu  $p$ ? Uzasadnij odpowiedź.

## Ćwiczenie 5



Oceń prawdziwość zdań.

	Prawda	Fałsz
Po utworzeniu złącza p-n największa koncentracja swobodnych nośników występuje w pobliżu złącza.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
W wyniku samorzutnego przepływu nośników przez złącze p-n półprzewodnik typu $n$ elektryzuje się dodatnio w stosunku do półprzewodnika typu $p$ .	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Ćwiczenie 6



Oceń prawdziwość zdań podających przyczynę samorzutnego przepływu nośników prądu przez złącze p-n.

	Prawda	Fałsz
Półprzewodnik typu $n$ jest naelektryzowany dodatnio, a $p$ ujemnie, co powoduje przepływ ładunku w wyniku przyciągania się ładunków przeciwnego znaku.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Przyczyną samorzutnego przepływu nośników prądu przez złącze p-n jest różnica w koncentracji nośników różnego rodzaju w części półprzewodnika typu $p$ i $n$ .	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Ćwiczenie 7



Oceń prawdziwość zdań.

	Prawda	Fałsz
Przez diodę prąd przepływa tylko w jedną stronę.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dioda jest zbudowana zawsze z dwóch różnych pierwiastków półprzewodnikowych.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dioda przewodzi prąd w obie strony, ale w jedną stronę natężenie prądu jest znacznie mniejsze.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Ćwiczenie 8



Napięcie elektryczne między obszarem  $n$  i  $p$  na złączu p-n wynosi około 0,7 V. Jaką minimalną prędkość musiałby uzyskać elektron, aby mógł przeskoczyć taką barierę potencjału? Zmianę energii potencjalnej ładunku w polu elektrycznym możemy opisać wzorem  $\Delta E = q \cdot U$ , gdzie  $\Delta E$  - zmiana energii potencjalnej ładunku,  $q$  - wartość ładunku,  $U$  - napięcie między punktami pola elektrycznego, pomiędzy którymi przemieszcza się ładunek.

Ładunek elementarny  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ , masa elektronu  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} kg$ . Wynik podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

Odpowiedź:  $v \approx$    $\cdot 10^n$  m/s, gdzie  $n =$

# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Jarosław Krakowski
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Budowa diody półprzewodnikowej</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>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: 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: 8) opisuje funkcję diody półprzewodnikowej jako elementu przewodzącego w jednym kierunku oraz jako źródła światła.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p>

	<p>I. Wymagania przekrojowe.</p> <p>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.</p> <p>Uczeń:</p> <p>14) opisuje funkcję diody półprzewodnikowej jako elementu przewodzącego w jednym kierunku; przedstawia jej zastosowanie w prostownikach oraz jako źródła światła.</p>
<p><b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b></p>	<p><b>Zalecenia 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>
<p><b>Cele operacyjne:</b></p>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. omówi budowę diody półprzewodnikowej i zjawiska zachodzące na złączu p-n.</li> <li>2. wyjaśni, w jaki sposób powstaje bariera ładunku na złączu p-n.</li> <li>3. zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań.</li> <li>4. przeanalizuje i zinterpretuje animację ilustrującą powstawanie bariery ładunku na złączu p-n.</li> </ol>

<b>Strategie nauczania:</b>	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
<b>Metody nauczania:</b>	- wykład problemowy, - burza mózgów, - pokaz multimedialny.
<b>Formy zajęć:</b>	- praca zespołowa, - praca w parach.
<b>Środki dydaktyczne:</b>	animacja pokazująca przepływ ładunku przez złącze p-n i powstanie bariery ładunku, zestawy zadań, rzutnik multimedialny
<b>Materiały pomocnicze:</b>	brak
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Nauczyciel zadaje pytania: Co wiemy o półprzewodnikach samoistnych i domieszkowanych?</p> <p>Oczekiwana odpowiedź: Półprzewodniki samoistne to substancje zbudowane z jednego typu atomów. Półprzewodniki domieszkowe są materiałami, do których zostały wprowadzone atomy pierwiastków, różniących się wartościowością od atomów budujących półprzewodnik samoistny. Ze względu na rodzaj dominujących nośników ładunku dzieli się je na półprzewodniki typu <i>n</i> (przewaga swobodnych elektronów) i typu <i>p</i> (przewaga dziur).</p> <p>W jakim celu domieszkuje się półprzewodniki?</p> <p>Oczekiwana odpowiedź: Półprzewodniki domieszkuje się w celu zmiany sposobu przewodzenia prądu.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	

Uczniowie oglądają animację. Na podstawie animacji uczniowie z pomocą nauczyciela analizują ruch ładunku na złączu p-n doprowadzający do powstania przestrzennego rozkładu ładunku blokującego dalszy przepływ ładunku.

**Faza podsumowująca:**

Uczniowie rozwiązują zadania 1, 2, 3, 4 z części „Sprawdź się” w celu sprawdzenia osiągniętych celów. Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje i kontroluje pracę uczniów.

**Praca domowa:**

Zadania z części „Sprawdź się” w celu powtórzenia i utrwalenia wiadomości: 5, 6, 7 (wszyscy uczniowie), 8 (uczniowie, którzy wybrali fizykę na poziomie rozszerzonym).

**Wskazówki  
metodyczne  
opisujące różne  
zastosowania  
danego  
multimedium:**

Animacja może być wykorzystywana przez uczniów przy powtarzaniu wiadomości.