




Zasada działania diody półprzewodnikowej

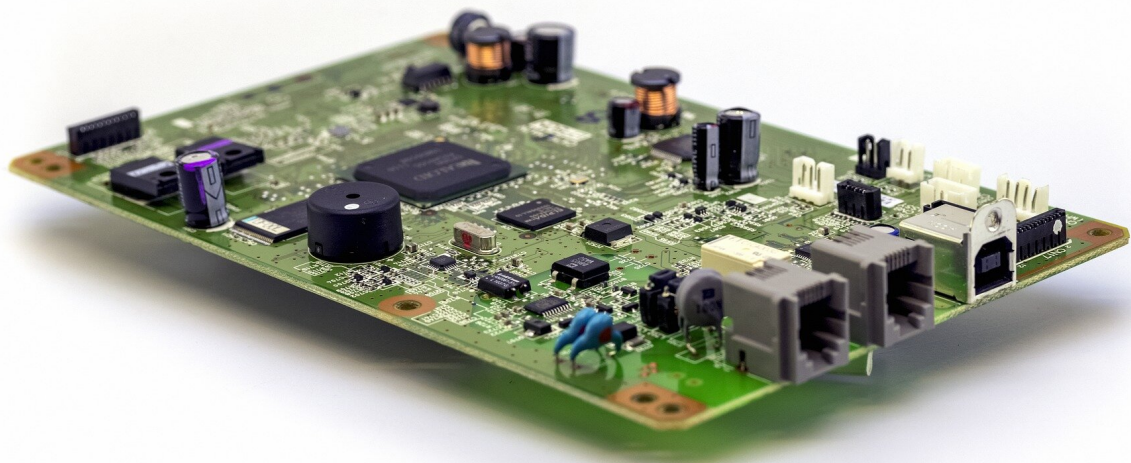
- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Zasada działania diody półprzewodnikowej

Czy to nie ciekawe ?

Zasadniczym elementem diody jest złącze między dwoma półprzewodnikami, w których za przewodzenie prądu odpowiadają różnego rodzaju nośniki prądu. W jednym są to elektrony, które są nośnikami ładunku ujemnego w drugim są to dziury, które są nośnikami ładunku dodatniego. Zjawiska zachodzące na złączu powodują, że w zależności od tego, w jakim kierunku przyłożymy napięcie elektryczne do diody, uzyskujemy zupełnie inne natężenie prądu płynącego przez diodę.



Rys. a. Półprzewodniki (w tym diody) są jednymi z ważnych budulców układów elektronicznych.

Twoje cele

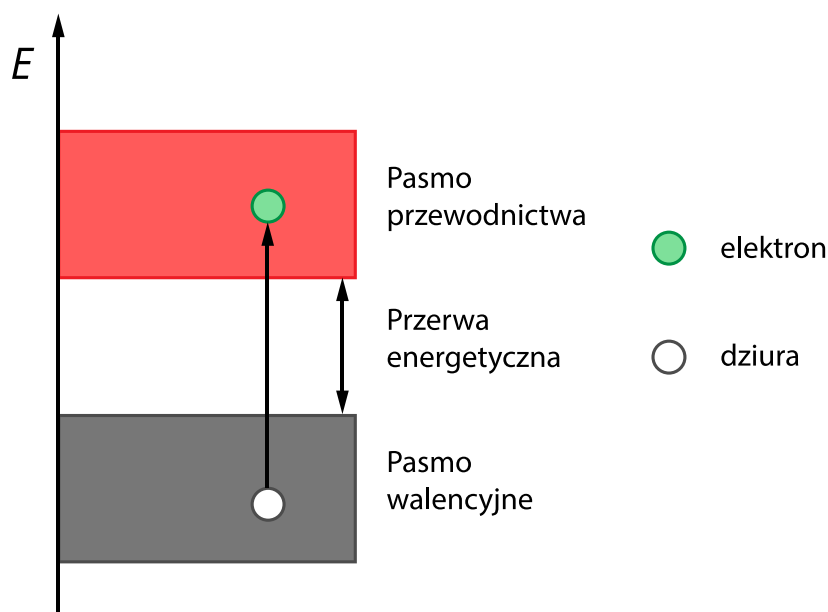
- wyjaśnisz mechanizm działania diody półprzewodnikowej,
- zauważysz wpływ przyłożonego napięcia na natężenie prądu płynącego przez diodę,
- uzasadnisz, dlaczego prąd płynie przez diodę tylko w jedną stronę,
- zastosujesz zdobytą wiedzę o rozwiązywania zadań,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz zależność natężenia prądu płynącego przez diodę od przyłożonego napięcia.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Dioda półprzewodnikowa składa się z połączonych ze sobą półprzewodników typu p i typu n . Nazwy materiałów półprzewodnikowych pochodzą od dominujących w danym typie materiału nośników prądu. W typie n dominującymi nośnikami prądu są elektrony, które są nośnikami ładunku ujemnego – negatywnego, stąd nazwa typ n . W typie p dominującymi nośnikami są dziury, które są nośnikami ładunku dodatniego – pozytywnego, stąd nazwa p .

Teoria pasmowa ciał stałych (o której możesz przeczytać w e-materiale: „Jak zbudowane są metale?”) mówi o tym, że elektrony walencyjne, które zyskały energię odpowiadającą **pasmu 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).

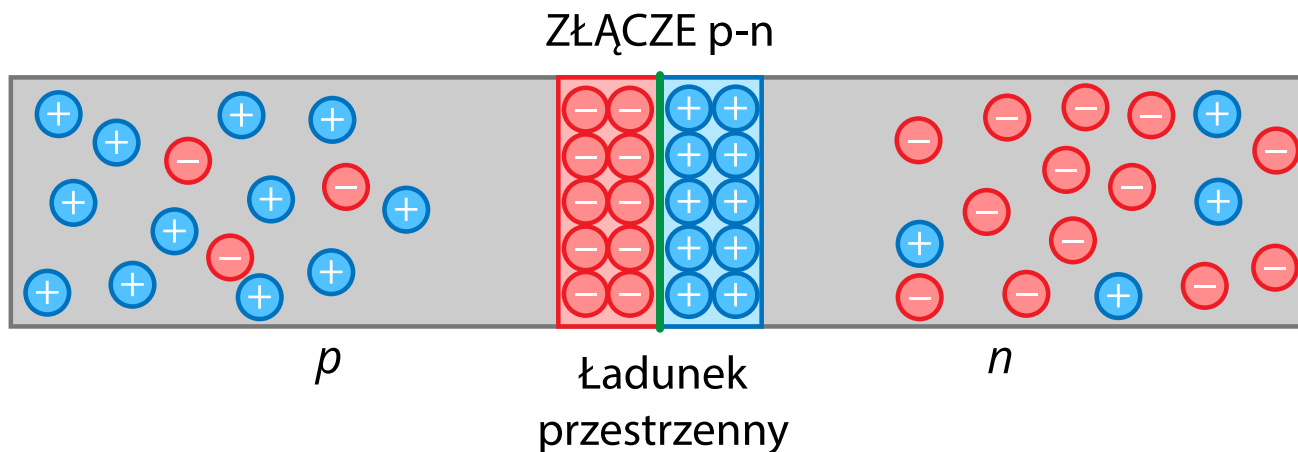


Rys. 1. Schemat powstawania pary elektron swobodny - dziura. Źródło: <https://eszkola.pl/fizyka/polprzewodniki-samoistne-3840.html>

W **półprzewodniku samoistnym** liczba elektronów i dziur jest jednakowa – każdy elektron walencyjny, który uzyskuje energię z zakresu **pasma przewodnictwa**, pozostawia dziurę w **pasmie walencyjnym**. Liczba elektronów lub dziur zwiększa się, gdy dodajemy odpowiednie domieszki „dostarczające” jeden rodzaj nośników prądu – więcej o domieszkowaniu półprzewodników możesz przeczytać w e-materiałach: „Półprzewodniki typu n ” i „Półprzewodniki typu p ”.

Jeśli połączy się półprzewodnik p i n , to w wyniku zjawiska **dyfuzji** następuje przejście elektronów z półprzewodnika n do p i dziur w przeciwną stronę. Następnie w obszarze

złącza dochodzi do połączenia elektronów z dziurami po obu stronach. Powoduje to w ostateczności powstanie przestrzennego rozkładu ładunku na złączu – ze zwiększoną koncentracją ładunku ujemnego po stronie półprzewodnika p i ładunku dodatniego po stronie półprzewodnika n – przeciwnie niż typowe nośniki w danym półprzewodniku. Ten przestrzenny rozkład ładunku osiąga stan nasycenia i tworzy barierę zapobiegając dalszemu przepływowi ładunków (Rys.2.)

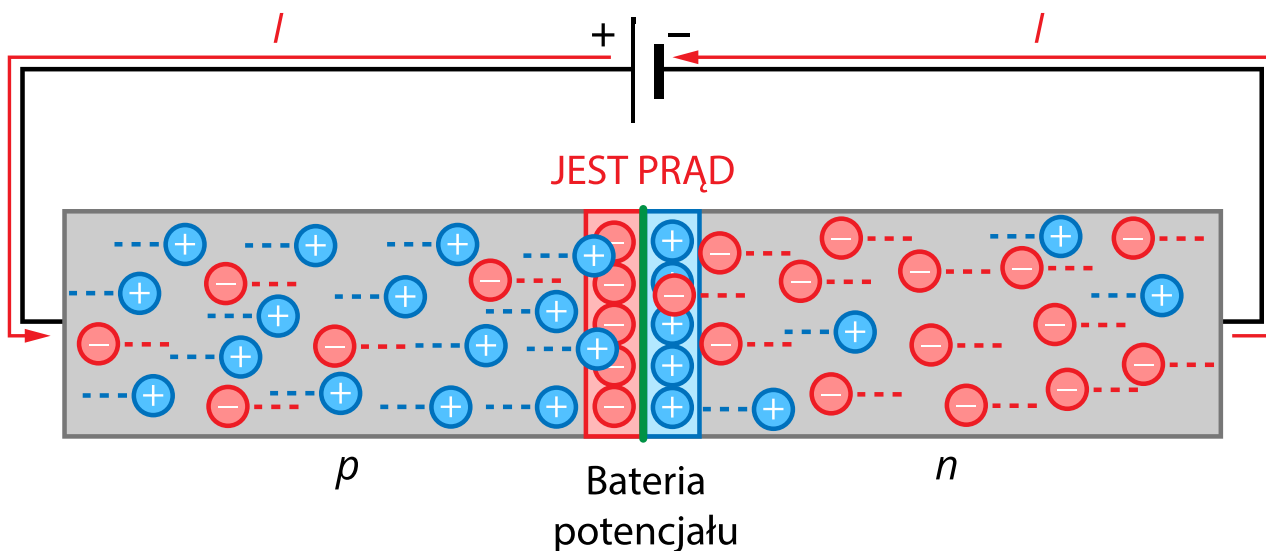


Rys. 2. Schemat rozkładu ładunków elektrycznych na złączu p-n w diodzie.

Przestrzenny rozkładu ładunku w obszarze złącza powoduje powstanie pola elektrycznego na złączu, które można opisać napięciem elektrycznym między półprzewodnikiem p i n . „Plus” napięcia powstaje po stronie półprzewodnika n , a „minus” po stronie półprzewodnika p . Napięcie to w temperaturze pokojowej osiąga wartość 0,6–0,8 V w diodach krzemowych, natomiast w diodach germanowych około 0,2–0,3 V. Napięcie to hamuje **dyfuzję** nośników przez złącze. Z powodu powstania bariery ładunku, powodującego powstanie napięcia elektrycznego na złączu, natężenie prądu płynącego przez diodę zależy od kierunku przyłożonego napięcia.

Kierunek przewodzenia

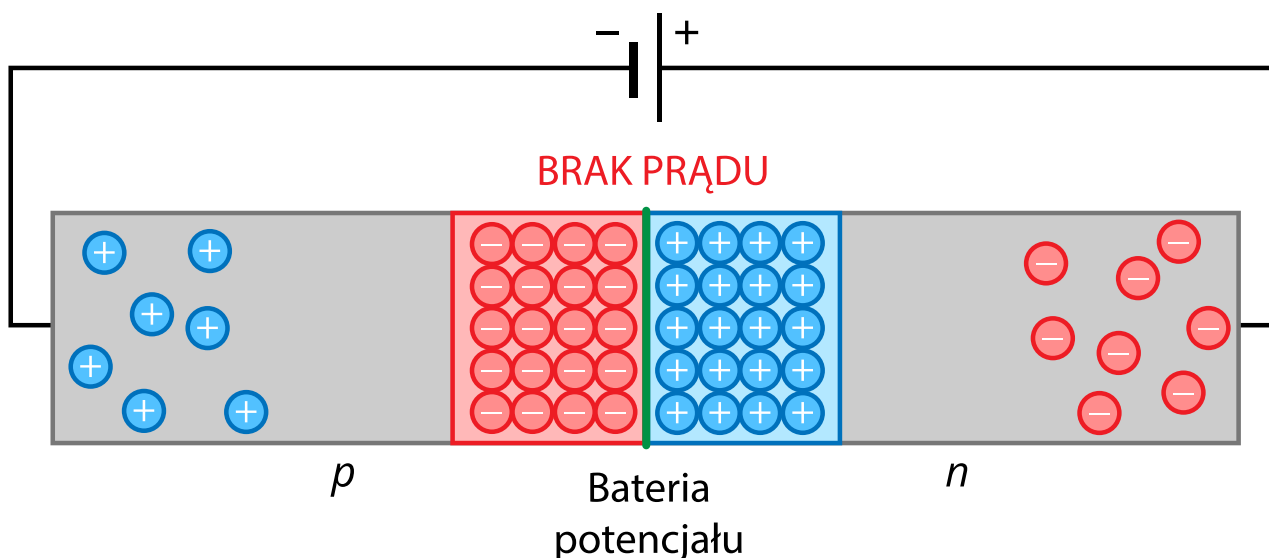
Jeżeli od strony półprzewodnika n przyłożymy „minus” napięcia, a po stronie p „plus” to zewnętrzne pole elektryczne spowoduje, że po stronie n elektrony będą poruszać się w kierunku bariery, podobnie jak dziury po stronie p . Po dotarciu do bariery nośniki te zubożają nośniki zgromadzone w barierze (Rys.3.). Powoduje to zmniejszenie bariery ładunku i, w związku z tym, zmniejszenie napięcia na złączu, które powstało w wyniku samorzutnej **dyfuzji** nośników, o wartość napięcia zewnętrznego. Gdy napięcie zewnętrzne przekroczy wartość napięcia powstałego w wyniku zjawiska **dyfuzji**, ładunek przestrzenny praktycznie znika. Umożliwia to przepływ prądu przez złącze. Prąd ten, już przy niewielkim napięciu – około 0,5 – 1V, w zależności od materiału diody, może osiągać dość duże wartości: od kilku miliamperów w diodach stosowanych w elektronice – do kiloamperów w diodach stosowanych w elektrotechnice.



Rys. 3. Dioda spolaryzowana w kierunku przewodzenia.

Kierunek zaporowy

Jeżeli przyłożymy napięcie odwrotnie, to zewnętrzne pole spowoduje ruch nośników w przeciwną stronę - po stronie n do bariery będą dopływać dziury, a po stronie p elektrony. Skutkiem takiego ruchu nośników jest zwiększenie bariery ładunku i wzrost napięcia na złączu, co spowoduje zablokowanie przepływu prądu przez diodę (Rys.4). Przy takiej polaryzacji przez złącze może płynąć tylko niewielki prąd, tak zwanych nośników mniejszościowych. Są to nośniki, które w danym półprzewodniku są w mniejszości - czyli dziury w półprzewodniku n i elektrony w półprzewodniku p . Ich źródłem są atomy macierzyste materiału półprzewodnika, a nie atomy domieszek.

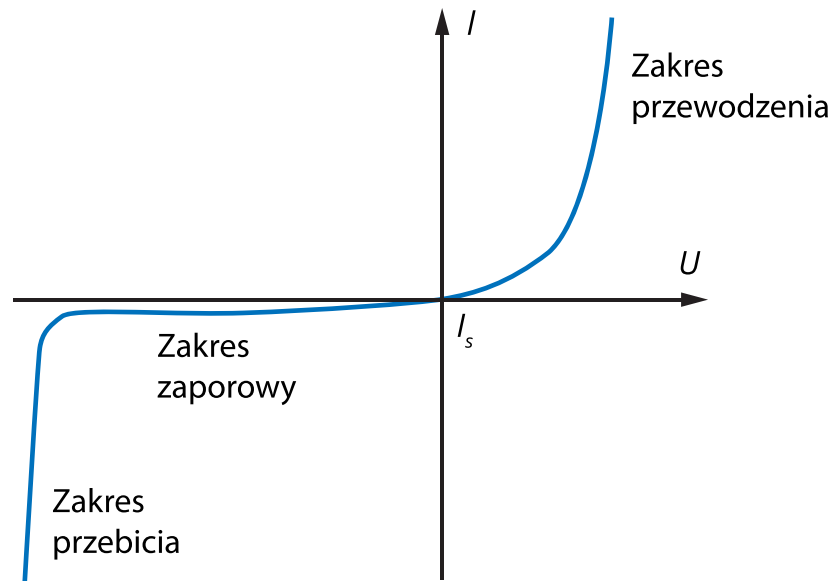


Rys. 4. Dioda spolaryzowana w kierunku zaporowym.

Tak się dzieje aż do osiągnięcia dostatecznie dużego napięcia (około 7 V dla typowej diody prostowniczej stosowanej w elektronice, do kilku kilowoltów w diodach stosowanych w elektrotechnice). Napięcie to, tak zwane napięcie przebicia diody, jest na tyle duże, że

nadaje nośnikom energię kinetyczną wystarczającą na to, aby wyniku zderzeń z atomami sieci krystalicznej spowodowały przejście elektronów walencyjnych w zakres energii **pasma przewodnictwa** i związane z tym przejściem powstanie dziur w **pasmie walencyjnym**. Pojawiają się w ten sposób nowe nośniki, które również są przyspieszane i generują kolejne nośniki w wyniku zderzeń z atomami. Proces ten powoduje gwałtowny wzrost natężenia prądu. Następuje tak zwane przebicie lawinowe diody.

Działanie diody dobrze opisuje charakterystyka prądowo-napięciowa, czyli zależność natężenia prądu płynącego przez diodę od przyłożonego napięcia – Rys.5.



Rys. 5. Zależność natężenia prądu płynącego przez diodę od przyłożonego napięcia.

Jak widzimy na wykresie, w kierunku przewodzenia, już przy niewielkim napięciu, poniżej 1 V, przez diodę zaczyna płynąć duży prąd – dioda ma w tym kierunku mały opór elektryczny. Wartość napięcia, przy którym natężenie prądu płynącego przez diodę zaczyna gwałtownie rosnąć, zależy od materiału diody i jest w przybliżeniu równe wartości napięcia powstającego w wyniku samorzutnej **dyfuzji** nośników prądu przez złącze. To zewnętrzne napięcie powoduje zanik bariery ładunku i związanej z nią bariery napięcia na złączu *p-n* umożliwiając przepływ prądu przez diodę. W kierunku zaporowym płynie bardzo mały prąd o natężeniu poniżej 10^{-6} A związany z przepływem nośników mniejszościowych. Po osiągnięciu napięcia przebicia natężenie prądu gwałtownie rośnie.

Słowniczek

półprzewodnik samoistny

(ang.: *intrinsic semiconductor*) półprzewodnik „czysty” chemicznie, do którego nie wprowadzono domieszek.

pasmo przewodnictwa

(*ang.: conductivity band*) zakres energii elektronów w ciele stałym, przy której elektrony stają się swobodne w obszarze materiału i mogą przewodzić prąd elektryczny.

pasmo walencyjne

(*ang.: valence band*) zakres energii elektronów w ciele stałym związanych z atomami.

dyfuzja

(*ang.: diffusion*) proces samorzutnego rozprzestrzeniania i przenikania się cząsteczek lub energii w każdym ośrodku (o temperaturze $T > 0$ K) (np. w gazie, cieczy lub ciele stałym itd.), będący konsekwencją chaotycznych zderzeń cząsteczek dyfundującej substancji między sobą lub z cząsteczkami otaczającego ją ośrodka. Ze względu na skalę zjawiska, rozpatruje się dwa podstawowe rodzaje dyfuzji:

- *dyfuzja śledzona* (*ang.: tracer diffusion*) to proces mikroskopowy polegający na chaotycznym ruchu pojedynczej („śledzonej”) cząsteczki (przykład: ruchy Browna)
- *dyfuzja chemiczna* (*ang.: chemical diffusion*) to proces makroskopowy obejmujący makroskopowe ilości materii (lub energii), zwykle opisywany równaniem dyfuzji i prowadzący do wyrównywania stężenia (lub temperatury) każdej z dyfundujących substancji w całym układzie.

Film samouczek

Zasada działania diody półprzewodnikowej

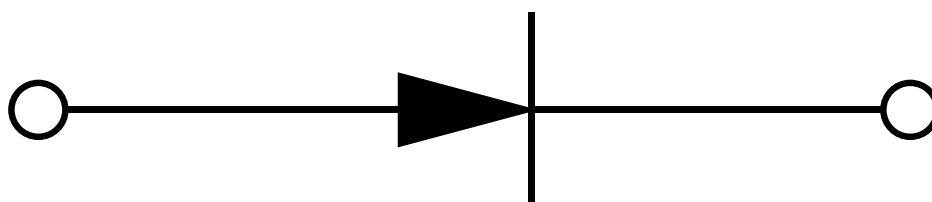
Film samouczek pokazuje wpływ napięcia zewnętrznego na przepływ prądu przez diodę.

Trwa wczytywanie danych..

[Film dostępny na portalu epodreczniki.pl](http://portal.epodreczniki.pl)

Zapoznaj się z treścią samuczka.

Polecenie 1



Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



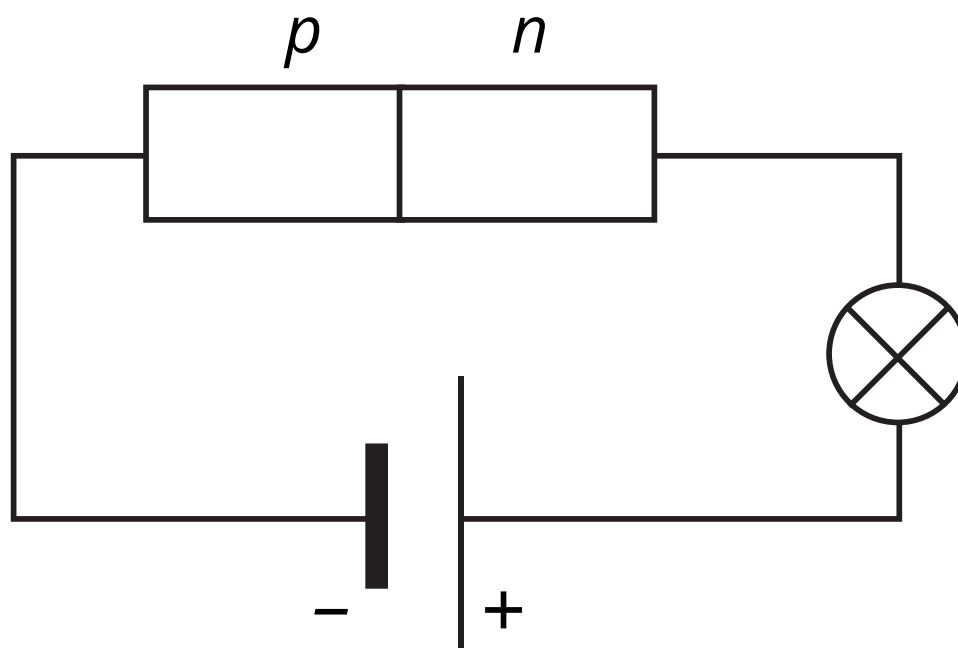
Ćwiczenie 2



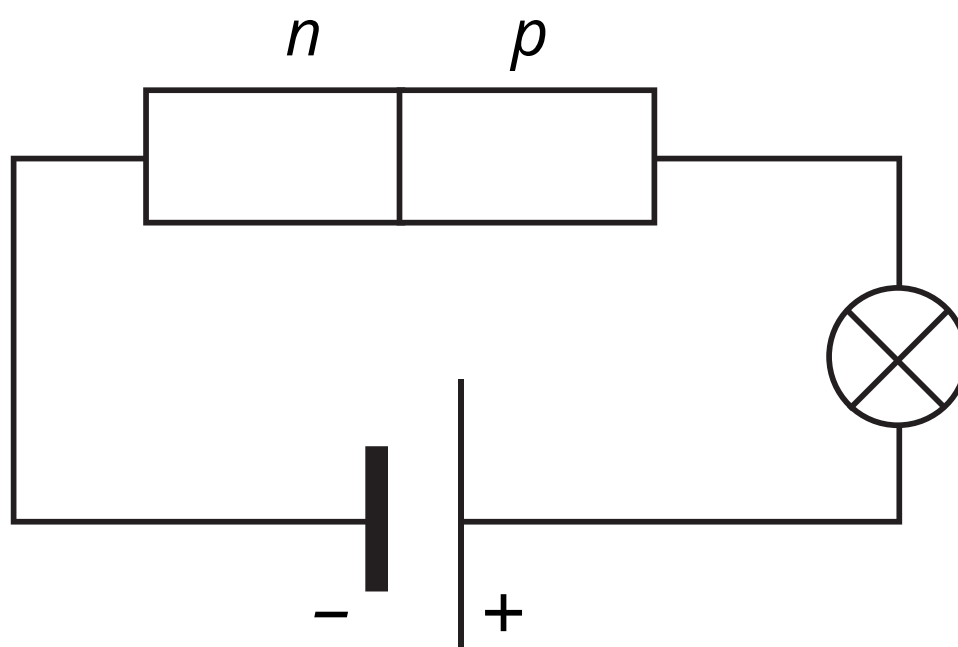
Ćwiczenie 3



W którym obwodzie żarówka będzie się świecić? Uzasadnij wybór.

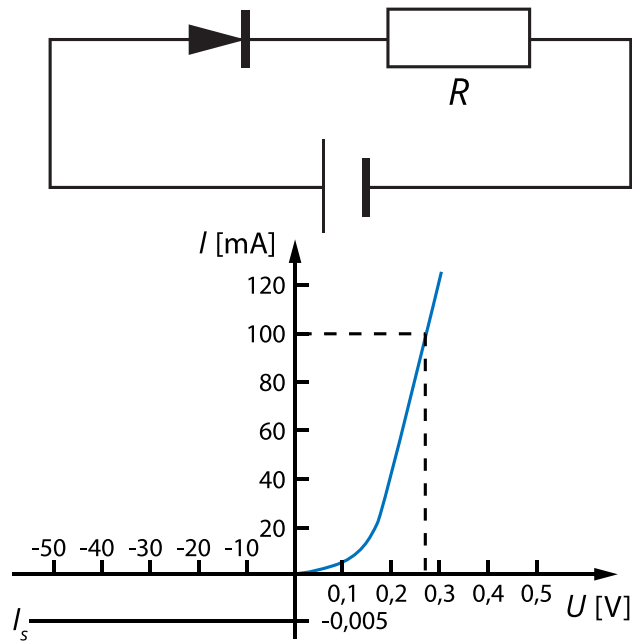


Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>

Ćwiczenie 4



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 5



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jak działa dioda?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres podstawowy Treści nauczania – wymagania szczegółowe 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; 15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu . VII. Prąd elektryczny. Uczeń: 8) opisuje funkcje diody jako elementu przewodzącego w jednym kierunku oraz jako źródła światła.</p> <p>Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe 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; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. VIII. Prąd elektryczny. Uczeń: 14) opisuje funkcje diody jako elementu przewodzącego w jednym kierunku, przedstawia jej zastosowanie w prostownikach oraz jako źródła światła.</p>

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r. <ul style="list-style-type: none"> • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. wyjaśni mechanizm działania diody półprzewodnikowej, 2. opisuje wpływ przyłożonego napięcia na natężenie prądu płynącego przez diodę, 3. uzasadni, dlaczego prąd płynie przez diodę tylko w jedną stronę, 4. przeanalizuje i zinterpretuje zależność natężenia prądu płynącego przez diodę od przyłożonego napięcia. 5. zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań,
Strategie nauczania	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
Metody nauczania	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca zespołowa, praca w parach
Środki dydaktyczne:	animacja pokazująca przepływ prądu przez diodę w zależności od przyłożonego napięcia, wykres charakterystyki prądowo-napięciowej diody, zestawy zadań
Materiały pomocnicze:	rzutnik
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Pytanie nauczyciela: Jak zbudowana jest dioda? Oczekiwana odpowiedź: Dioda zbudowana jest z połączonych ze sobą półprzewodników typu p i n. Na złączu powstaje bariera ładunków i związana z nim bariera napięcia elektrycznego.</p>	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie pod kierunkiem nauczyciela analizują animację ilustrującą wpływ wartości i kierunku napięcia na natężenie prądu płynącego przez złącza p – n i formułują wniosek o jednokierunkowym przewodzeniu prądu przez diodę. Następnie uczniowie analizują wykres zależności natężenia od napięcia przyłożonego do diody.

Faza podsumowująca:

Uczniowie w parach rozwiązują zadania: 1-4 z zestawu ćwiczeń.
Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje i kontroluje pracę uczniów.

Praca domowa:

Zadania 5-8 z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Może być wykorzystywane w realizacji innych tematów o diodach i przy powtarzaniu wiadomości.