



Dioda elektroluminescencyjna – LED

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

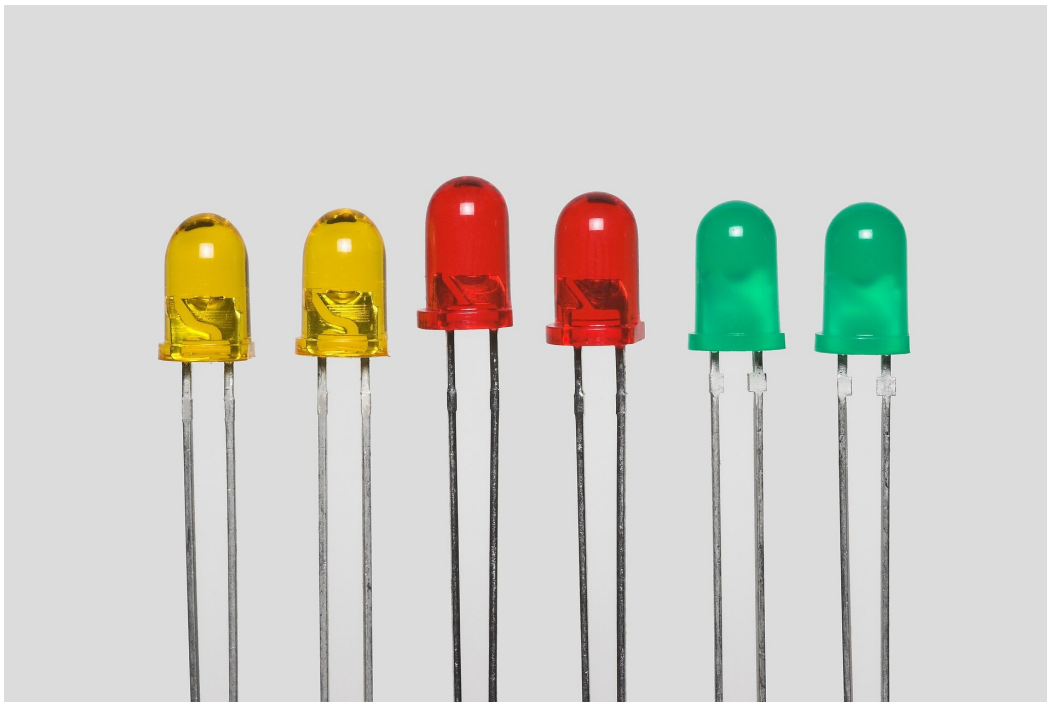


Dioda elektroluminescencyjna – LED

Źródło: dostępny w internecie: <https://lovepik.com/image-605724391/blue-big-data-internet-banner-poster-background.html> [dostęp 13.07.2022].

Czy to nie ciekawe ?

Dioda elektroluminescencyjna, nazywana w skrócie diodą LED (od ang. *light-emitting diode*), podobnie jak dioda prostownicza, wykorzystuje zjawiska zachodzące na złączu $p-n$. Odpowiedni dobór materiału pozwala jednak nie tyle na dobre przewodzenie prądu w jednym kierunku, ale na zamianę energii prądu w energię światła. Zjawisko zamiany energii prądu w energię światła nazywa się **elektroluminescencją**.



Rys. a. Diody elektroluminescencyjne - żółte, czerwone i zielone.

Źródło: Afrank99, dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LEDs.jpg> [dostęp 13.07.2022], licencja: CC BY-SA 2.0. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/deed.en>.

Twoje cele

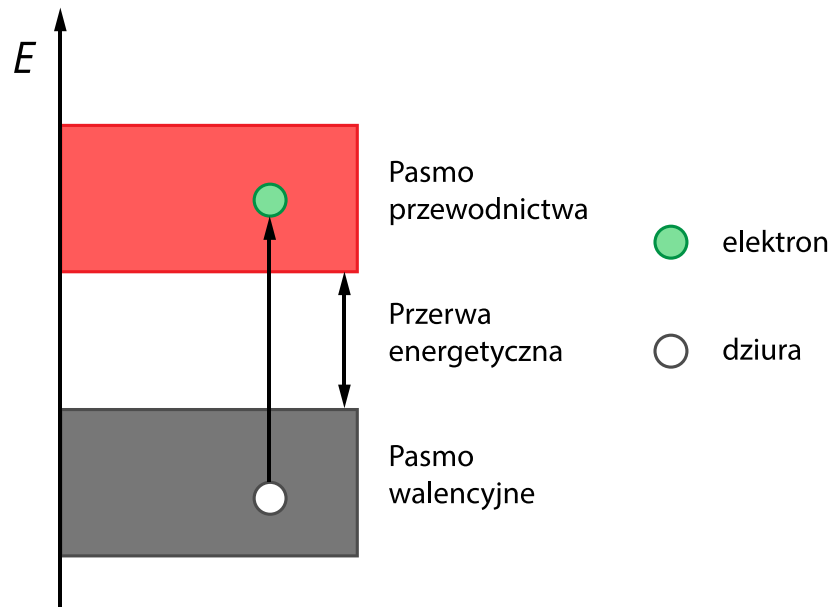
- dowiesz się, jak jest zbudowana dioda LED,
- poznasz zasadę działania diody LED,
- zrozumiesz, dlaczego diody mogą emitować światło o różnych barwach i od czego zależy barwa emitowanego światła,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz animację ilustrującą zasadę działania diody LED.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Diody LED, tak jak wszystkie diody półprzewodnikowe, składają 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?*) stwierdza, 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.).

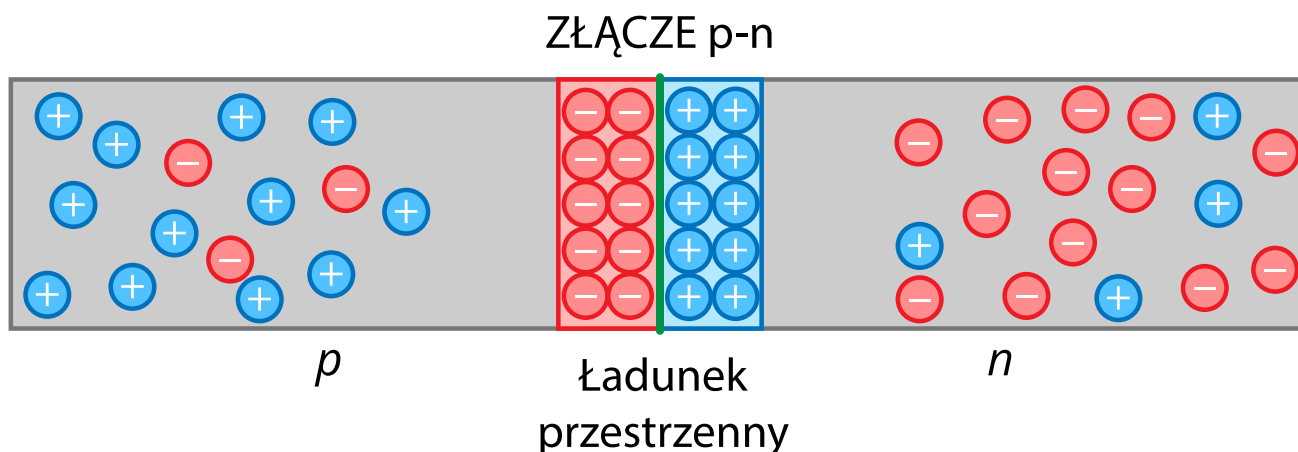


Rys. 1. Schemat powstawania pary elektron swobodny – dziura.

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

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.).

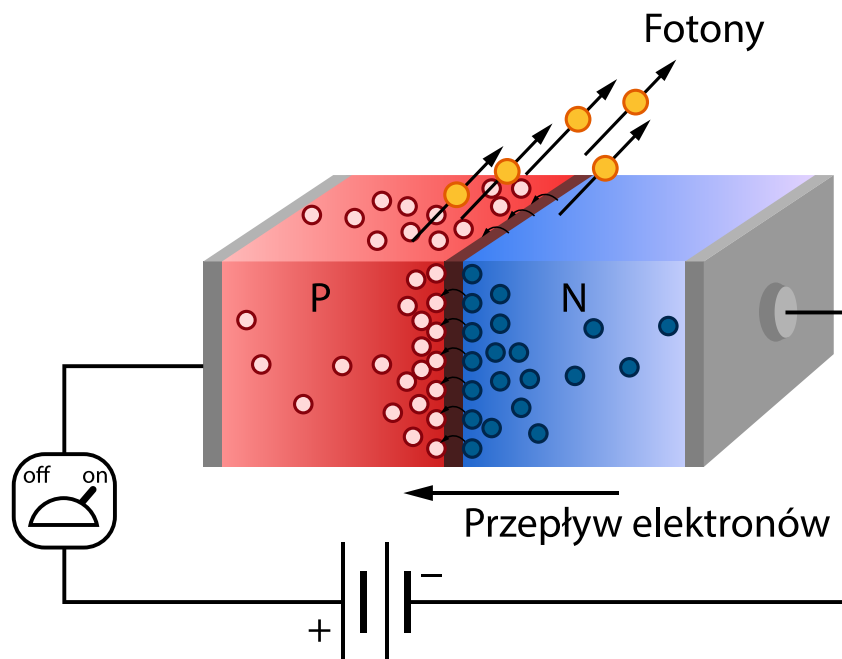


Rys. 2. Schemat rozkładu ładunków elektrycznych na złączu p-n w diodzie.

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

Jeżeli od strony półprzewodnika n przyłożymy biegun ujemny napięcia, a po stronie p dodatni, 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 dochodzi do połączenia się elektronów z dziurami – elektrony o energiach z zakresu **pasma przewodnictwa** przechodzą w zakres energii **pasma walencyjnego**, emitując przy tym nadmiar energii w formie promieniowania elektromagnetycznego. Zjawisko to nazywa się **rekombinacją promienistą**.

Emisję światła przez diodę LED można przedstawić, jak na Rys. 3.



Rys. 3. Schemat działania diody LED. Białe kropki symbolizują dziury a czarne elektrony. Połączenie elektronów z dziurami na złączu powoduje emisję fotonów.

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

Odległość energetyczna między **pasmem walencyjnym** i **pasmem przewodnictwa** nazywa się energetyczną przerwą wzbronioną i oznacza się ją zazwyczaj symbolem E_g . Elektron przechodząc do stanu o niższej energii, nadwyżkę energii może emitować w postaci promieniowania elektromagnetycznego, może też część tej energii przekazywać sieci krystalicznej zwiększając drgania termiczne. Do wykonania diod LED wykorzystuje się półprzewodniki, w których elektrony praktycznie całą nadwyżkę energii emitują w postaci promieniowania elektromagnetycznego.

Elektrony emitują promieniowanie elektromagnetyczne w porcjach nazywanych **fotonami**. Energia **fotonów** zależy od częstotliwości promieniowania elektromagnetycznego. Związek między energią fotonu a częstotliwością wyraża wzór Plancka:

$$E_f = hf,$$

gdzie E_f to energia **fotonu**, h – **stała Plancka**, f – częstotliwość **fotonu**.

Przy emisji światła w wyniku rekombinacji promienistej energia **fotonu** jest w przybliżeniu równa energii przerwy wzbronionej E_g .

Barwa obserwowanego przez nas światła zależy bezpośrednio od częstotliwości **fotonu**. Zatem barwa światła emitowanego przez diodę zależy od wartości energii przerwy wzbronionej E_g materiału diody.

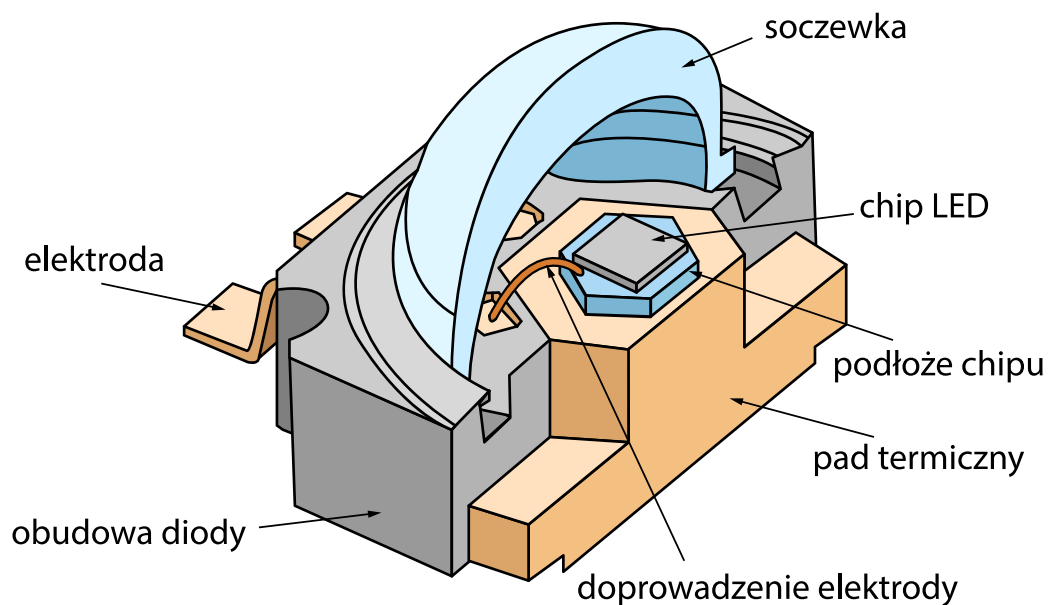
Do wykonania diod LED stosuje się inne materiały niż do wykonania diod prostowniczych. Krzem i german mają zbyt niską wartość E_g , a ponadto część energii traconej przy przejściu w zakres **pasma walencyjnego** przekazują sieci krystalicznej.

Przykłady materiałów stosowanych na diody LED i barwę emitowanego przez nie światła zawiera tabela:

Związek półprzewodnikowy	Barwa emitowanego promieniowania
AlGaAs	czerwona, podczerwień
AlGaP	zielona
AlGaInP	pomarańczowo-czerwona, pomarańczowa, żółta, zielona
GaAsP	czerwona, czerwono –pomarańczowa, żółta
GaP	czerwona, żółta, zielona
GaN	zielona, niebieska
InGaN	zielona, niebieska, bliski ultrafiolet
SiC	niebieska
Al ₂ O ₃	niebieska
ZnSe	niebieska

Źródło: <http://www.if.pwr.wroc.pl/~popko/w4/Lab/1>

Schemat konstrukcji diody LED przedstawia Rys.4.



Rys. 4. Schemat konstrukcji diody LED.

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

Elementem emitującym światło jest chip LED – czyli dioda LED, zadaniem padu termicznego jest odprowadzenie wydzielającego się ciepła, a soczewka ma za zadanie odpowiednie skupienie światła emitowanego przez diodę.

Słowniczek

foton

(*ang.: photon*) cząstka elementarna nieposiadająca ładunku elektrycznego ani momentu magnetycznego, o zerowej masie spoczynkowej ($m_0 = 0$) i liczbie spinowej s o wartości równej 1. Foton jest nośnikiem oddziaływań elektromagnetycznych, jest kwantem (porcją) energii promieniowania elektromagnetycznego, np. światła widzialnego.

stała Plancka

(*ang.: Planck constant*) jedna z podstawowych stałych fizycznych. Ma wymiar działania, pojawia się w większości równań mechaniki kwantowej. Historycznie stała Plancka pojawiła się w pracy Maxa Plancka na temat wyjaśnienia przyczyn tzw. katastrofy w nadfiolecie w prawie promieniowania ciała doskonale czarnego. Planck stwierdził, że energia nie może być wypromieniowywana w dowolnych ciągłych ilościach, a jedynie w postaci „paczek” (kwantów) o wartości hf , gdzie f jest częstotliwością promieniowania.

pasmo przewodzenia

(*ang.: conduction band*) pasmo energetyczne określające zakres energii elektronów, przy której mogą przemieszczać się w całej objętości ciała.

pasmo walencyjne

pasmo podstawowe (*ang.: valence band*) – zakres energii, jaką mają elektrony walencyjne związane z jądrem atomu.

Animacja

Dioda elektroluminescencyjna - LED

W ostatnich dwóch dekadach źródła światła wykorzystujące diody świecące wypierają te, które wykorzystują klasyczne żarówki. Wykorzystaj animację do zapoznania się z budową i działaniem diody świecącej.

Zwróć uwagę na te elementy konstrukcji, które są wspólne dla takiej diody oraz dla żarówki. Staraj się także wyszukiwać podobieństwa i różnice w działaniu tych elementów.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RTeDob1wvTiH>

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

Zapoznaj się z audiodeskrypcją animacji.

W kolejnych poleceniach rozpoznaj i wskaż podobieństwa i różnice pomiędzy żarówkami a diodami elektroluminescencyjnymi LED. Te ostatnie będziemy – dla prostoty – nazywali tutaj po prostu diodami.

Polecenie 1

Elektroluminescencja jest dwuczłonowym wyrazem, w którym drugi człon oznacza świecenie. Można tworzyć analogiczne wyrazy, w których pierwszy człon będzie oznaczał **bezpośrednią** przyczynę świecenia.

Wskaż najbardziej trafną nazwę dla mechanizmu świecenia klasycznej żarówki:

☐ bioluminescencja

☐ chemoluminescencja

☐ elektroluminescencja

☐ fotoluminescencja

☐ herpetoluminescencja

☐ kinetoluminescencja

☐ termoluminescencja

Polecenie 2

Sprawność żarówki definiuje się jako stosunek energii wypromieniowywanej przez nią w postaci światła do energii elektrycznej dostarczanej żarówce. Typowe sprawności żarówek to niecałe 10%. Wskaż najbardziej trafne uzupełnienie zdania:

Dioda ma sprawność kilkakrotnie większą, gdyż

☐ obowiązuje dla niej inna definicja sprawności.

☐ jest zasilana przez obwód z mniejszą mocą.

☐ wyświetla w postaci światła widzialnego większą część pobranej z obwodu energii.

☐ wypromieniowuje więcej energii na jednostkę czasu w postaci widzialnego światła.

Polecenie 3

W animacji wskazano, jako element budowy diody, „zamkniętą obudowę, z której wyprowadzone są **dwie** elektrody łączące diodę LED ze źródłem napięcia.”

Uzupełnij poniższe zdania tak, by uzyskać poprawny opis połączenia klasycznej żarówki ze źródłem napięcia.

Żarówka, , ma ją ze źródłem napięcia.

jest podłączona do jednego z biegunów zasilania.

Przez tak zwaną stopkę żarówki (element jej obudowy, często oznaczany czarnym kolorem) prąd elektryczny doprowadzany jest do jej , powoduje jego rozgrzanie i opuszcza żarówkę przez .

Każda elektroda

podobnie jak dioda

w odróżnieniu od diody

szklaną obudowę, już w formie promieniowania elektromagnetycznego

jedną elektrodę, łączącą

Elektroda ta

dwie elektrody, łączące

wąsa

włókna

drugą elektrodę, która jest połączona z gwintem żarówki

Polecenie 4

Wskaż najbardziej trafne uzupełnienie zdań.

Dioda powinna być zasilana napięciem stałym lub zmiennym jednokierunkowym (czyli o określonym przypisaniu biegunom roli dodatniego i ujemnego). Nie powinna natomiast być zasilana napięciem przemiennym.

Żarówka powinna być zasilana napięciem

Tak więc bezpośrednio do napięcia sieciowego podłącza się

Dioda ma wyróżniony element emitujący światło – to chip. Żarówka

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Oceń prawdziwość zdań.

Dioda LED emituje światło niezależnie od kierunku przyłożonego napięcia. ☐ PRAWDA

\ ☐ FAŁSZ

Barwa światła zależy od materiału, z którego wykonano diodę. ☐ PRAWDA \

☐ FAŁSZ

Ćwiczenie 2



Wybierz materiały, które są wykorzystywane do budowy diody LED:

german ☐ Ge

azotek galu ☐ GaN

galo-arsenek glinu ☐ GaAlAs

krzem ☐ Si

węglik krzemu ☐ SiC

chlorek sodu ☐ NaCl

Ćwiczenie 3



Stała Plancka wynosi $4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ (eV - jednostka energii stosowana w fizyce atomu, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$). Arsenek galu (GaAs) jest często stosowany do budowy diod elektroluminescencyjnych. Przerwa wzbroniona w GaAs wynosi 1,44 eV. Czy diody wykonane z GaAs mogą bezpośrednio (bez dodatkowego przetwarzania emitowanego promieniowania) emitować światło widzialne? Zakres częstotliwości światła widzialnego: od około $3,8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ do około $7,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.

Ćwiczenie 4



Foton jest porcją energii światła o wartości zależnej od częstotliwości. Częstotliwość promieniowania elektromagnetycznego z długością fali promieniowania elektromagnetycznego λ wiąże wzór: $\lambda = \frac{c}{f}$, gdzie $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ to prędkość światła w próżni, a f to częstotliwość promieniowania elektromagnetycznego. W jakim zakresie powinna się mieścić energia przerwy wzbronionej w półprzewodnikach, aby mogły emitować światło w wyniku przejścia elektronów z zakresu energii pasma przewodzenia do zakresu energii pasma walencyjnego? Zakres długości fali światła: 380-780 nm. Wyniki podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Przerwa wzbroniona powinna mieścić się w zakresie od do

eV

Ćwiczenie 5



Lp.	Materiał	Typowa emitowana długości fal światła [nm]	Barwa emitowanego światła
1	InGaP	620	pomarańczowa
2	GaAlAs	655	czerwona
3	InGaAlP	574	zielona
4	GaN	470	niebieska
5	GaP	555	zielona

Tabela przedstawia przykładowe materiały stosowane w diodach LED i typowe dla tych materiałów: długość fali emitowanego światła oraz odpowiadające im barwy. U szereguj materiały od największej do najmniejszej przerwy wzbronionej.

InGaAlP



GaP



GaAlAs



InGaP



GaN



Ćwiczenie 6



Czy dioda krzemowa może emitować światło? Przerwa wzbroniona E_g w krzemie wynosi około 1,12 eV?

TAK

☐

\

NIE

☐

Ćwiczenie 7



Stała Plancka wynosi $4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ (eV - jednostka energii stosowana w fizyce atomu, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$). Jaka musi być zmiana energii elektronu w wyniku rekombinacji z dziurą, aby wyemitował światło zielone o częstotliwości $f = 0,6 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$? Wynik podaj z dokładnością do trzech znaczących.

Elektron powinien zmienić energię o eV

Ćwiczenie 8



Dla jakiej długości fali światła konieczna jest większa zmiana energii elektronu przy rekombinacji, w diodzie emitującej światło czerwone o długości fali 650 nm, czy w diodzie emitującej światło niebieskie o długości fali 460 nm?

dioda czerwona o długości fali 650 nm ☐

\ dioda niebieska o długości fali 460 nm ☐

Dla nauczyciela

Konspekt (scenariusz) lekcji

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Diody LED
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres podstawowy Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 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. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 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.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: - 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:	Uczeń: - wyjaśni, jak jest zbudowana dioda LED, - omówi zasadę działania diody LED, - wytłumaczy, dlaczego diody mogą emitować światło o różnych barwach i od czego zależy barwa emitowanego światła, - zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań, - przeanalizuje i zinterpretuje animację ilustrującą zasadę działania diody LED.
Strategie nauczania:	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
Metody nauczania:	- wykład problemowy, - burza mózgów.
Formy zajęć:	praca zespołowa, praca w parach przy rozwiązywaniu zadań.
Środki dydaktyczne:	Animacja pokazująca działanie diody LED, wykres charakterystyki diody, zestawy zadań. latarka LED, żarówka LED, dowolne urządzenie elektroniczne z wyświetlaczem LED.
Materiały pomocnicze:	rzutnik multimedialny, ekran.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	

Uczniowie przypominają zasadę działania diod oraz charakterystykę prądowo – napięciową diod.

Nauczyciel zwraca uwagę na zjawisko rekombinacji elektron-dziura występujące w warstwie stykowej diody, w której płynie prąd w kierunku przewodzenia. Stawia uczniom dwa problemy:

- rozstrzygnąć, czy rekombinacja jest procesem egzo- czy endoenergetycznym;
- wskazać formy, w jakich energia może występować podczas zachodzenia procesu rekombinacji.

Uczniowie formułują hipotezy, podają argumenty. W tej fazie nauczyciel jedynie zapisuje pomysły uczniów, po nadaniu im w dyskusji właściwej, czytelnej postaci. Nie rozstrzyga, które pomysły są fałszywe a które prawdziwe.

Faza realizacyjna:

Uczniowie zapoznają się z animacją i na jej podstawie rozstrzygają, jakie przemiany energetyczne prowadzą do wytwarzania światła przez diodę LED. Formułują hipotezę o różnicy pomiędzy diodą prostowniczą a diodą LED.

Nauczyciel stawia problem sprawności procesu przekształcania energii elektrycznej w energię świetlną. Wskazuje kilkakrotnie większą sprawność diod LED w porównaniu ze źródłami żarnikowymi (dalej: żarówki).

Uczniowie rozwiązują problemy zaproponowane po animacji. Na tej podstawie konstruują uzasadnienie dla różnicy sprawności pomiędzy diodą a żarówką. W trakcie wymiany myśli nauczyciel występuje m.in. w charakterze konsultanta. Podaje – w formie popularnej – niezbędne informacje o:

- widmie światła emitowanego przez diody,
- widmie światła białego,
- promieniowaniu ciała doskonale czarnego i widmie emisyjnym żarówki,
- falowej i fotonowej interpretacji światła,
- ewentualnie o innych zjawiskach, które mogą wypłynąć w dyskusji, z którymi uczniowie nie zapoznali się jeszcze w szkolnym kursie fizyki.

Faza podsumowująca:

Uczniowie rozwiązują zadania: 1, 2, 4, 6 i 7 z zestawu ćwiczeń.

Nauczyciel pełni podobną rolę konsultanta; także obserwuje i kontroluje pracę uczniów.

Praca domowa:

Uczniowie zapoznają się z resztą e-materiału (utrwalanie wiadomości) i rozwiązują zadania 3, 5, i 8 z zestawu ćwiczeń (wykorzystanie umiejętności).

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Multimedium może być wykorzystywane przy powtarzaniu wiadomości i na lekcjach, na których są omawiane zastosowania diod LED.

