

SYLABUS**DOTYCZY CYKLU KSZTAŁCENIA 2020/21 – 2021/22***(skrajne daty)*

Rok akademicki 2021/2022

1. PODSTAWOWE INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

Nazwa przedmiotu	Fizyka i technologia LED
Kod przedmiotu*	
nazwa jednostki prowadzącej kierunek	Kolegium Nauk Przyrodniczych
Nazwa jednostki realizującej przedmiot	Kolegium Nauk Przyrodniczych / Instytut Nauk Fizycznych
Kierunek studiów	Fizyka
Poziom studiów	Studia drugiego stopnia, po studiach inż.
Profil	Ogólnoakademicki
Forma studiów	Studia stacjonarne
Rok i semestr/y studiów	Rok II, semestr 3
Rodzaj przedmiotu	przedmiot specjalnościowy: Fizyka laserów i optoelektronika
Język wykładowy	Polski
Koordinator	dr hab. Małgorzata Sznajder, prof. UR
Imię i nazwisko osoby prowadzącej / osób prowadzących	

* -opcjonalnie, zgodnie z ustaleniami w Jednostce

1.1. Formy zajęć dydaktycznych, wymiar godzin i punktów ECTS

Semestr (nr)	Wykł.	Ćw.	Konw.	Lab.	Sem.	ZP	Prakt.	Projekt	Liczba pkt. ECTS
3	30	15						15	5

1.2. Sposób realizacji zajęć☒ zajęcia w formie tradycyjnej☐ zajęcia realizowane z wykorzystaniem metod i technik kształcenia na odległość**1.3 Forma zaliczenia przedmiotu (z toku) (egzamin, zaliczenie z oceną, zaliczenie bez oceny)**

Wykład: Egzamin

Ćwiczenia aud.: zaliczenie z oceną

Projekt: zaliczenie z oceną

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Student ma wiedzę z zakresu studiów I stopnia fizyki obejmującą w szczególności elektryczność, optykę geometryczną i falową. Zna podstawowe pojęcia, wielkości i ich jednostki z fotometrii. Zna podstawowe zagadnienia z mechaniki kwantowej (niezależne od czasu równanie Schrödingera i jego rozwiązania dla zagadnień jednowymiarowych, zagadnienie cząstki w studni potencjału, efekt tunelowy, oscylator harmoniczny). Ma wiedzę z zakresu podstaw fizyki ciała stałego obejmującą krystalografię, własności fizyczne półprzewodników i dielektryków, model pasmowy ciał stałych, przejścia optyczne w półprzewodnikach. Zna podstawowe metody fizyczne i chemiczne wytwarzania cienkich warstw (MBE, PLD, CVD). Zna działanie podstawowych elementów elektronicznych: dioda, tranzystor.

3. CELE, EFEKTY UCZENIA SIĘ, TREŚCI PROGRAMOWE I STOSOWANE METODY DYDAKTYCZNE

3.1 Cele przedmiotu

C ₁	nabycie przez studenta rozszerzonej wiedzy na temat struktury, zasady działania i wytwarzania LED.
C ₂	zaznajomienie z podstawowymi materiałami półprzewodnikowymi stosowanymi w LED-ach
C ₃	zaznajomienie z podstawowymi materiałami organicznymi będącymi materiałami roboczymi w wielowarstwowych OLED-ach, mechanizmem ich transportu ładunku i emisji światła
C ₄	zaznajomienie z wiodącymi technikami epitaksjalnymi wytwarzania warstw azotkowych oraz technologiami wytwarzania warstw dla elektroniki opartej o materiały organiczne
C ₅	zapoznanie z rozwojem i perspektywami diod LED.
C ₆	wykształcenie umiejętności intuicyjnego rozumienia omawianych zjawisk fizycznych i posługiwania się poprawną terminologią fizyczną
C ₇	zdobycie wiedzy umożliwiającej prowadzenie badań naukowych w zakresie wybranych zagadnień fizyki fazy skondensowanej

3.2 Efekty uczenia się dla przedmiotu

EK (efekt uczenia się)	Treść efektu uczenia się zdefiniowanego dla przedmiotu	Odniesienie do efektów kierunkowych ¹
EK_01	absolwent zna i rozumie w pogłębionym stopniu zagadnienia dotyczące rozwoju diod emitujących światło, w szczególności opartych o układy wielu studni kwantowych i ich znaczenia dla postępu nauk ścisłych i rozwoju technologii efektywnych źródeł światła	K_Wo1

¹ W przypadku ścieżki kształcenia prowadzącej do uzyskania kwalifikacji nauczycielskich uwzględnić również efekty uczenia się ze standardów kształcenia przygotowującego do wykonywania zawodu nauczyciela.

EK_o2	absolwent zna i rozumie pojęcia matematyki w zakresie niezbędnym dla ilościowego opisu, zrozumienia oraz modelowania problemów fizycznych, o wysokim poziomie złożoności	K_Wo2
EK_o3	absolwent zna i rozumie teoretyczne podstawy metody obliczeniowej „elastycznej taśmy” stosowanej do wyznaczania wysokości barier energetycznych na migrację defektów punktowych	K_Wo4
EK_o4	absolwent zna i rozumie aktualne kierunki rozwoju technologii LED	K_Wo6
EK_o5	absolwent potrafi w sposób krytyczny ocenić wyniki eksperymentów dotyczących rekombinacji nośników ładunku, obliczeń teoretycznych wydajności kwantowej, a także przedyskutować błędy pomiarowe	K_Uo2
EK_o6	absolwent potrafi znajdować niezbędne informacje w literaturze fachowej dotyczącej LED, OLED	K_Uo3
EK_o7	absolwent jest gotów do uznania społecznego znaczenia aspektów praktycznego stosowania zdobytej wiedzy dotyczącej wydajnych emiterów światła oraz związanej z tym odpowiedzialności	K_Ko1
EK_o8	absolwent jest gotów do systematycznego zapoznawania się z czasopismami naukowymi i popularnonaukowymi, podstawowymi dla fizyki ciała stałego, w celu poszerzania i pogłębiania wiedzy oraz rozwijania dorobku zawodowego	K_Ko6

3.3 Treści programowe

A. Problematyka wykładu

Treści merytoryczne
1. Przegląd historii diod emitujących światło: diody oparte o materiały półprzewodnikowe SiC, GaAs, AlGaAs, GaAsP, emitery GaN oparte o złącze metal-półprzewodnik, diody emitujące światło niebieskie, zielone i białe w oparciu o złącze p-n z materiałów GaInN oraz AlGaInP. 2. Rekombinacja promienista i niepromienista: rekombinacja promienista dla wysokiego oraz niskiego poziomu wzbudzenia. Szybkość rekombinacji i stała rekombinacji, czas życia nośnika, szybkość rekombinacji przy wzbudzeniu bipolarnym, szybkość rekombinacji w strukturze studni kwantowej, luminescencja, proces Shockleya-Reada-Halla, zanik luminescencji w przypadku obecności rozszerzonych defektów, rekombinacja niepromienista przy powierzchni półprzewodnika. 3. Własności elektryczne LED: charakterystyka prądowo-napięciowa, odstępstwa od charakterystyki idealnej, dystrybucja nośników w homozłączach i heterozłączach p-n, efekt heterozłącza na wartość oporu urządzenia, ucieczka nośników w podwójnej heterostrukturze, rola warstwy blokującej elektrony, spadek napięcia na diodzie. Temperatura złącza. 4. Własności optyczne LED, podstawowe pojęcia: wewnętrzna i zewnętrzna wydajność kwantowa, efektywność wyjścia światła ze struktury, wydajność mocy. Struktura LED

warunkująca wysoką wewnętrzną wydajność kwantową; podwójna heterostruktura, domieszkowanie obszaru aktywnego, problem z przemieszczaniem obszaru złącza p-n, domieszkowanie obszaru z ograniczeniem kwantowym dla ruchu nośników, problem z rekombinacją niepromienistą i niedopasowaniem sieciowym. Problem degradacji układu wielu studni kwantowych na przykładzie GaN/InGaN. Struktura LED warunkująca wysoką zewnętrzną wydajność kwantową; podwójna heterostruktura, problem pułapkowania światła w półprzewodniku z dużym współczynnikiem załamania światła, dobór odpowiedniej geometrii kształtu LED, dobór tekstury powierzchni, geometria, kształt i rodzaj kontaktów. Proces produkcji przeźroczystego podłoża dla LED. Warstwy antyrefleksyjne.

5. Organiczne diody świecące (OLED). Rodzaje wyświetlaczy (generujące światło lub kontrolujące jego emisję), porównanie ich zużycia energii. Typy OLED (SM-OLED, PLED, LEP, FOLED, TOLED, PHOLED, hybrydowe), ich zalety i wady. Pierwsza efektywna dioda organiczna w oparciu o organiczne materiały TPD i Alq₃, jej parametry. Problem degradacji materiału organicznego. Przegląd związków organicznych dla wielowarstwowych OLED, wymagania materiałowe, struktura i procesy w wielowarstwowej OLED. Ekscytony singletowe i trypletowe, zjawisko fluorescencji i fosforescencji. Transport ładunku i rekombinacja nośników ładunku. Wewnętrzna wydajność kwantowa, emitery z domieszkowanymi fosforescencyjnymi molekułami Ir(ppy)₃, emisja radiacyjna ekscytonów. Całkowita zewnętrzna wydajność OLED i sposoby jej kontroli. Zagadnienie adresowania; wyświetlacze z pasywną i aktywną matrycą. Architektura subpixeli w celu uzyskania światła białego i jej wpływ na zdolność rozdzielczą i efektywność wydzielanej mocy. Technologie Ink-Jet Printing i Super-High Resolution Transfer Printing Method dla elektroniki opartej o materiały organiczne.

6. Wybrane metody wzrostu materiałów dla diod LED: PVT, HVPE, amonotermalna, PA-MBE, MOCVD, metoda sublimacyjno-kondensacyjna z zarodkiem, LPE – wady i zalety. Nagroda Nobla z fizyki z 2014r. *"for the invention of efficient blue light-emitting diodes which has enabled bright and energy-saving white light sources"*.

B. Problematyka ćwiczeń audytoryjnych

Treści merytoryczne

1. Analiza punktów krytycznych w charakterystykach I-V diody LED.
2. Obliczanie szerokości obszaru zubożonego w ostrych i wygładzonych obszarach interfejsów heterozłączy.
3. Obliczanie gęstości prądu ucieczki nośników z obszaru aktywnego w podwójnej heterostrukturze.
4. Obliczanie napięć w kierunku przewodzenia dla diody LED w zależności od długości emitowanego światła.
5. Obliczanie wydajności LED.

C. Problematyka zajęć projektowych

Treści merytoryczne
Atomistyczne modelowanie heterostruktur 4H-SiC/wz-GaN , 4H-SiC/AlN , 3C-SiC/GaN , diament/BN w różnych kierunkach wzrostu. Wyznaczanie barier energetycznych na migrację defektów punktowych w materiałach azotkowych.

3.4 Metody dydaktyczne

Wykład z prezentacją multimedialną, dyskusja.

4. METODY I KRYTERIA OCENY

4.1 Sposoby weryfikacji efektów uczenia się

Symbol efektu	Metody oceny efektów uczenia się (np.: kolokwium, egzamin ustny, egzamin pisemny, projekt, sprawozdanie, obserwacja w trakcie zajęć)	Forma zajęć dydaktycznych (w., ćw., ...)
EK_01	kolokwium, egzamin pisemny	wykład, ćwiczenia
EK_02	projekt, sprawozdanie	projekt
EK_03	projekt, sprawozdanie	projekt
EK_04	kolokwium, egzamin pisemny	wykład, ćwiczenia
EK_05	kolokwium, egzamin pisemny	wykład, ćwiczenia
EK_06	kolokwium, egzamin pisemny	wykład, ćwiczenia
EK_07	sprawozdanie, obserwacja w trakcie zajęć	wykład, ćwiczenia
EK_08	sprawozdanie, obserwacja w trakcie zajęć	wykład, ćwiczenia

4.2 Warunki zaliczenia przedmiotu (kryteria oceniania)

Zaliczenie z ćwiczeń uzyskiwane jest na podstawie pozytywnej oceny uzyskanej z pisemnego kolokwium. Zaliczenie projektu na podstawie przedstawionego raportu obrazującego model azotkowej heterostruktury półprzewodnikowej o zadanych rozmiarach oraz wyznaczenie barier energetycznych na migrację defektów punktowych w materiałach azotkowych. Warunkiem zaliczenia Przedmiotu kursowego III jest zaliczenie ćwiczeń rachunkowych, projektu i uzyskanie pozytywnej oceny z egzaminu pisemnego. Egzamin pisemny składa się z 5 zagadnień do opracowania, każde zagadnienie punktowane jest w skali 1 – 5 pt. Ocenę pozytywną z części pisemnej uzyskuje się po uzyskaniu 51% maksymalnej liczby punktów.

W przypadku prowadzenia zajęć w formie zdalnej/hybrydowej, warunki zaliczenia przedmiotu mogą ulec zmianie. W takim przypadku studenci zostaną poinformowani zarówno o fakcie zmiany formy zaliczenia jak i dokładnych warunkach zaliczenia przedmiotu tuż po rozpoczęciu zajęć w formie zdalnej/hybrydowej.

5. CAŁKOWITY NAKŁAD PRACY STUDENTA POTRZEBNY DO OSIĄGNIĘCIA ZAŁOŻONYCH EFEKTÓW W GODZINACH ORAZ PUNKTACH ECTS

Forma aktywności	Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności
Godziny kontaktowe wynikające z harmonogramu studiów	60
Inne z udziałem nauczyciela akademickiego (udział w konsultacjach, egzaminie)	5
Godziny niekontaktowe – praca własna studenta (przygotowanie do zajęć, egzaminu, napisanie referatu itp.)	60
SUMA GODZIN	125
SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS	5

** Należy uwzględnić, że 1 pkt ECTS odpowiada 25-30 godzin całkowitego nakładu pracy studenta.*

6. PRAKTYKI ZAWODOWE W RAMACH PRZEDMIOTU

wymiar godzinowy	n.d.
zasady i formy odbywania praktyk	n.d.

7. LITERATURA

Literatura podstawowa: 1. Nanotechnologie, red. R. W. Kelsall, I. W. Hamley, M. Geoghegan, PWN, Warszawa 2008
Literatura uzupełniająca: 1. G. Held, Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications, CRC Press 2009 2. E.F. Schubert, LIGHT-EMITTING DIODES, Cambridge University Press, 2ed. 2006 3. J. Shinar Organic LED emitting devices. A survey, Springer, New York, 2004 4. Wykład noblowski Shuji Nakamury z 2014r: (https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/nakamura-lecture.pdf)

Akceptacja Kierownika Jednostki lub osoby upoważnionej