

**SYLABUS**

DOTYCZY CYKLU KSZTAŁCENIA 2023/24-2024/25

(skrajne daty)

Rok akademicki 2024/2025

**1. PODSTAWOWE INFORMACJE O PRZEDMIOCIE**

Nazwa przedmiotu	<b>Fizyka i technologia LED</b>
Kod przedmiotu*	
Nazwa jednostki prowadzącej kierunek	Kolegium Nauk Przyrodniczych
Nazwa jednostki realizującej przedmiot	Kolegium Nauk Przyrodniczych
Kierunek studiów	Fizyka
Poziom studiów	studia drugiego stopnia, po studiach inż.
Profil	ogólnoakademicki
Forma studiów	studia stacjonarne
Rok i semestr/y studiów	II rok, semestr 3
Rodzaj przedmiotu	przedmiot specjalnościowy: Fizyka laserów i optoelektronika
Język wykładowy	polski
Koordinator	<b>dr hab. Małgorzata Sznajder, prof. UR</b>
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 <sub>1</sub>	nabycie przez studenta rozszerzonej wiedzy na temat struktury, zasady działania i wytwarzania LED.
C <sub>2</sub>	zaznajomienie z podstawowymi materiałami półprzewodnikowymi stosowanymi w LED-ach
C <sub>3</sub>	zaznajomienie z podstawowymi materiałami organicznymi będącymi materiałami roboczymi w wielowarstwowych OLED-ach, mechanizmem ich transportu ładunku i emisji światła
C <sub>4</sub>	zaznajomienie z wiodącymi technikami epitaksjalnymi wytwarzania warstw azotkowych oraz technologiami wytwarzania warstw dla elektroniki opartej o materiały organiczne
C <sub>5</sub>	zapoznanie z rozwojem i perspektywami diod LED.
C <sub>6</sub>	wykształcenie umiejętności intuicyjnego rozumienia omawianych zjawisk fizycznych i posługiwanie się poprawną terminologią fizyczną
C <sub>7</sub>	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 <sup>1</sup>
EK_01	Student zna i rozumie w pogłębionym stopniu zagadnienia dotyczące rozwoju diod emitujących światło, w szczególności opartych o układy wielu studni	K_Wo1

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

	kwantowych i ich znaczenia dla postępu nauk ścisłych i rozwoju technologii efektywnych źródeł światła	
EK_02	Student zna i rozumie pojęcia matematyki w zakresie niezbędnym dla ilościowego opisu, zrozumienia oraz modelowania problemów fizycznych, o wysokim poziomie złożoności	K_Wo2
EK_03	Student zna i rozumie teoretyczne podstawy metody obliczeniowej „elastycznej taśmy” stosowanej do wyznaczania wysokości barier energetycznych na migrację defektów punktowych	K_Wo4
EK_04	Student zna i rozumie aktualne kierunki rozwoju technologii LED	K_Wo6
EK_05	Student potrafi w sposób krytyczny ocenić wyniki eksperymentów dotyczących rekombinacji nośników ładunku, obliczeń teoretycznych wydajności kwantowej, a także przedyskutować błędy pomiarowe	K_U02
EK_06	Student potrafi znajdować niezbędne informacje w literaturze fachowej dotyczącej LED, OLED	K_U03
EK_07	Student jest gotów do uznania społecznego znaczenia aspektów praktycznego stosowania zdobytej wiedzy dotyczącej wydajnych emiterów światła oraz związanej z tym odpowiedzialności	K_Ko1
EK_08	Student 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
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>

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 przezroczystego 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 Alq<sub>3</sub>, 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)<sub>3</sub>, 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

### 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  $4\text{H-SiC/wz-GaN}$ ,  $4\text{H-SiC/AlN}$ ,  $3\text{C-SiC/GaN}$ , 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. Ćwiczenia – praca w grupach, rozwiązywanie zadań, dyskusja, analiza danych doświadczalnych. Projekt – projektowanie struktury, modelowanie numeryczne.

## 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 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.

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

Forma aktywności	Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności
Godziny 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	<b>125</b>
<b>SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS</b>	<b>5</b>

\* 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](https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/nakamura-lecture.pdf))

Akceptacja Kierownika Jednostki lub osoby upoważnionej