**Nazwa przedmiotu:**

Podstawy nanoelektroniki i nanofotoniki

**Koordynator przedmiotu:**

Prof. dr hab. Bogdan Majkusiak

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Elektronika

**Grupa przedmiotów:**

Przedmioty techniczne - zaawansowane

**Kod przedmiotu:**

NANO

**Semestr nominalny:**

2 / rok ak. 2018/2019

**Liczba punktów ECTS:**

5

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów uczenia się:**

- udział w wykładach 60 godz.
- przygotowanie do kolokwiów 4 \* 10 godz. = 40 godz.
- studia literaturowe 30 godz.
- udział w konsultacjach 5 godz.
RAZEM: 135 godz. = 5 ECTS

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich:**

30 + 5 = 35 godz = 2 ECTS

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym:**

0 godz.

**Formy zajęć i ich wymiar w semestrze:**

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 60h |
| Ćwiczenia:  | 0h |
| Laboratorium:  | 0h |
| Projekt:  | 0h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

Znajomość matematyki i fizyki na poziomie średnio zaawansowanym

**Limit liczby studentów:**

30

**Cel przedmiotu:**

Zrozumienie fizyki działania przyrządów nanoelektronicznych i fotonicznych ze szczególnym naciskiem na analogie i wzajemne relacje między zjawiskami elektronowymi i fotonowymi

**Treści kształcenia:**

NANOELEKTRONIKA
Wstęp do nanoelektroniki (2h): Definicja elektroniki. Generacje elektroniki – nośniki informacji, warunki transportu, czynniki i bariery rozwoju. Definicja i odmiany nanolektroniki: zjawiska fizyczne i ośrodki. Pojęcia i wielkości charakterystyczne.
Falowa reprezentacja elektronu (2h): Równanie Schrödingera. Funkcja falowa. Prędkość fazowa i grupowa. Prąd prawdopodobieństwa. Paczka falowa.
Elektron w potencjale periodycznym (2h): Twierdzenie i fale Blocha. Przybliżenie masy efektywnej. Prostokątna sieć potencjału. Struktura pasmowa kryształu i supersieci - pasma i minipasma energetyczne. Oscylacje Blocha.
Elektron w studni potencjału (2h): Wymiarowość obszaru: płaszczyzny, druty i kropki kwantowe. Studnie kwantowe: studnia prostokątna, trójkątna, paraboliczna – kwantowy oscylator harmoniczny. Studnie sprzężone – rozszczepienie poziomów energetycznych. Supersieć – mimipasma energetyczne.
Koncentracja elektronów (2h) w obszarach niskowymiarowych: Gęstość stanów. Koncentracja elektronów. Zagadnienie elektrostatyki – przykładowe struktury nanoelektroniczne.
Kwantowy transport elektronu (2h): Prawdopodobieństwo przejścia. Emisja ponadbarieriowa i tunelowanie. Bariery o różnych kształtach. Bariera podwójna – tunelowanie rezonansowe. Transport rezonansowy przez supersieć. Metody obliczania prawdopodobieństwa przejścia: przybliżenie WKB, metoda macierzy przejścia.
Prąd elektronowy (2h): Prądy termokinetyczne. Prąd w warunkach balistycznych: prąd termoemisyjny i prąd tunelowy, kwantowy kontakt punktowy, prąd tunelowy Fowlera-Nordheima. Prąd w warunkach dyfuzyjnych: mechanizmy rozpraszania, ruchliwość, równanie kinetyczne Boltzmanna, prąd dyfuzyjny i prąd dryftowy.
Elektronika pojedynczego elektronu (4h): Blokada kulombowska. Oscylacje jednoelektronowe. Charakterystyka prądowo-napięciowa kulombowskiego złącza pojedynczego i podwójnego. Przyrządy jednoelektronowe: Tranzystor, kołowrót, pompa, termometr, pamięci. Kwantowe automaty komórkowe.
Materiały nanoelektroniki (2h): Półprzewodniki, dielektryki i metale. Hetorozłącza. Supersieci.
Struktury i przyrządy nanoelektroniki (2h). Tranzystory jedno- i wielobramkowe MOS/SOI, z nanodrutem, nanorurką węglową. Dioda tunelowa MOS. Tranzystory i przełączniki tunelowe. Przyrządy z tunelowaniem rezonansowym. Tranzystory elektrono-falowe. Pamięci.
Wstęp do spintroniki i elektroniki molekularnej (2h).
Trendy i nowe rozwiązania (2h).

NANOFOTONIKA
Wstęp do nanofotoniki (2h): Definicja nanofotoniki. Kamienie milowe rozwoju. Zjawiska fizyczne i ośrodki. Pojęcia i wielkości charakterystyczne. Mechanika kwantowa a optyka falowa: analogie.
Reprezentacja fali elektromagnetycznej (2h): Równania Maxwella, równania materiałowe, równanie falowe, ośrodki jednorodne, niejednorodne, liniowe, nieliniowe, izotropowe, anizotropowe, propagacja fali dyspersja model (Newtona-Lorentza, elementy podejścia półklasycznego), prędkość fazowa i grupowa, wektor Poytinga, propagacja impulsów.
Propagacja fali w strukturach periodycznych – kryształy periodyczne (2h): Pojęcie kryształu fotonicznego, fale Blocha i struktura pasmowa w jedno, dwu i trójwymiarowych kryształach fotonicznych, defekty, lokalizacja pola, prędkość fali w strukturach periodycznych (wolne fotony), efekty nieliniowe w strukturach periodycznych, defekty punktowe i liniowe.
Propagacja fali el-mag. w ośrodkach nieliniowych (2h): Ośrodki z nieliniowością drugiego rzędu i trzeciego rzędu, opis wybranych zjawisk nieliniowych rezonansowych i nierezonansowych.
Izomorfizm równań Schrōdingera i Helmholtza (1h): Odbicie, lokalizacja światła, pułapkowanie (efekt falowodowy), tunelowanie – superluminescencja.
Struktury niskowymiarowe (1h): mody szepczące, fotoniczne kropki, fotoniczne molekuły i łańcuchy, mikrorezonatory i mikrolasery, propagacja fal a kodowanie i rozpoznawanie liczb, pojęcia i modele kwantowej teorii ciała stałego w nanofotonice, struktury periodyczne.
Propagacja fali w strukturach quasi periodycznych (2h): Prawo transmisji 1/L – analog prawa Ohma, koherentne rozpraszanie wsteczne. Lokalizacja światła Andersona, światło w strukturach fraktalowych: struktury Fibonaccie’ego i Penrose’a. Stany powierzchniowe w optyce – analog stanów kwantowych Tamm’a, pasma transmisyjne, gęstość modów i lokalizacja energii, struktury koloidalne - Christansens filtry i lasery Letechov’a.
Oddziaływanie fali elektromagnetycznej z materią (rezonansowe) (2h):Elektromagnetyczna próżnia, efekt Casimira, prawdopodobieństwo emisji fotonów przez system kwantowy, złota reguła Fermiego, efekty optyczne w strukturach mezoskopowych; efekt Purcella, detekcja i generacja, gęstości stanów (lokalne itp.), emisja spontaniczna, elementy, świecenie w układach ograniczonych (efekt zwierciadła, cienkich warstw, kryształów fotonicznych itp.), gęstość stanów (globalna, lokalna), laser jednoatomowy, laser jednofotonowy, statystyki fotonów.
Oddziaływanie fali elektromagnetycznej ze strukturami niskowymiarowymi (2h):Półprzewodnikowe nanokryształy - kropki kwatowe: widma absorpcyjne, luminescencja, efekty nieliniowe, lasery na kropkach kwantowych.
Elementy nanoplazmoniki (2h):Optyczna odpowiedź metali, pasmowy, optyczne własności nanocząstek, absorpcja i rozpraszanie, efekty kooperatywne (sprzężenie nanocząstek), wzmocnienie emisji i rozpraszania, lokalna gęstość stanów, wzmocnienie efektów nieliniowych.
Przyrządy nanofotoniki (2h):Filtry, rezonatory, rezonatory sprzężone (linie opóźniające), sprzęgacze, modulatory, detektory, emitery, generatory stanów splątanych.
Układy zintegrowane nanofotoniki (2h): Platforma generyczna.
Trendy i nowe rozwiązania (4h).

**Metody oceny:**

- 2 kolokwia pisemne z części poświęconej nanoelektronice
- 2 kolokwia pisemne (lub rozmowa ustana) z części poświęconej nanofotonice

**Egzamin:**

nie

**Literatura:**

- B. Majkusiak, "Podstawy Nanoelektroniki", materiał pdf udostępniany na stronie www przedmiotu,
- inne materiały udostępniane na stronie www przedmiotu,
- V. V. Mitin, V. A. Kochelap, M. A. Stroscio, ”Introduction to Nanoelectronics”, Cambridge University Press, 2008.
- S. V. Gaponenko, “Introduction to Nanophotonics”, Cambridge University Press, 2010.
 - P. N. Prasad, “Nanophotonics”, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken 2004.
- J.-M. Lourtioz, H. Benisty, V. Berger, J.-M. Gerard, D. Maystre, A. Tchelnokov, “Photonic Crystals”, Springer, 2003.
 - M. Cahay, “Semiconductor Quantum Devices”, Advances in Electronics and Electron Physics, vol. 89.
 - A. Yariv, "Optical Electronics in Modern Communications", Oxford University Press, 1997.
 - wybrane artykuły naukowe

**Witryna www przedmiotu:**

**Uwagi:**

Przedmiot jest obowiązkowy dla specjalności II stopnia: Mikroelektronika, Fotonika i Nanotechnologie. Biorąc pod uwagę postępującą integrację mikroelektroniki i fotoniki, której motorem napędowym jest rozwój nanotechnologii, założeniem programowym jest objęcie od strony podstaw fizycznych i materiałowych wszystkich trzech obszarów tematycznych występujących w nazwie specjalności.
Wykład realizowany jest w tygodniu w dwóch dwugodzinnych kwantach o ściśle korelowanym programie: podstaw nanoelektroniki i podstaw nanofotoniki.. Projekt i ćwiczenia laboratoryjne do wykładu realizowane są w obowiązkowym przedmiocie: „Pracownia podstaw nanoelektroniki i nanofotoniki” (PNAN)

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka W1:**

Ma pogłębioną wiedzę z matematyki w zakresie metod obliczeniowych do rozwiązywania złożonych zagadnień dotyczących mikroelektroniki i fotoniki oraz rozszerzoną i pogłębioną wiedzę z fizyki w zakresie zjawisk fizycznych istotnych dla działania zaawansowanych struktur mikroelektroniki i fotoniki

Weryfikacja:

Sprawdzian w formie pisemnej lub ustnej

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka W2:**

Student ma uporządkowaną, podbudowaną teoretycznie wiedzę ogólną obejmującą kluczowe zagadnienia w zakresie zaawansowanych materiałów i struktur mikroelektroniki i fotoniki

Weryfikacja:

Sprawdzian w formie pisemnej lub ustnej

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka W3:**

Ma wiedzę o trendach rozwojowych i najistotniejszych nowych osiągnięciach z zakresu elektroniki

Weryfikacja:

Sprawdzenie wiedzy w formie pisemnej lub ustnej

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka U1:**

Potrafi ocenić przydatność i możliwość wykorzystania nowych technologii w zakresie nanoelektroniki i jej zastosowań

Weryfikacja:

Sprawdzian w formie pisemnej lub ustnej

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U11

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**