

**Opis poszczególnych przedmiotów
(Sylabus)
Fizyka techniczna, studia pierwszego stopnia**

Nazwa Przedmiotu: Fizyka półprzewodników – wybrane zagadnienia

Kod przedmiotu:

Typ przedmiotu: obowiązkowy

Poziom przedmiotu:

rok studiów, semestr: trzeci, semestr V

Liczba punktów ECTS: 5

Metody nauczania: 45 godz. wykład, 45 godz. ćwiczenia

Język wykładowy: polski

Imię i nazwisko wykładowcy: prof. dr hab. Eugeniusz Szeregij

Wymagania wstępne:

- 1) Egzamin z Podstaw Fizyki oraz z Mechaniki kwantowej
- 2) Zaliczenie z Pracowni Fizycznej I

Cele przedmiotu (efekty kształcenia i kompetencji):

Zakres wiedzy – Współczesna kwantowa teoria ciała stałego bazująca na wiedzy z krytalografii oraz metod doświadczalnych analizy rentgenostrukturalnej i własności elektrofizycznych półprzewodników; kwantowa statystyka nośników prądu elektrycznego i teoria zjawisk transportowych, jako podstawa fizyczna elektroniki i mikroelektroniki półprzewodnikowej. Własności dwuwymiarowego gazu elektronowego (2DEG) i struktur niskowymiarowych – podstawa fizyczna nanoelektroniki.

Umiejętności – obliczyć gęstości upakowania i wektory bazowe dla podstawowych struktur krystalicznych; zbudować strefę Brillouina dla struktury fcc; zastosować model Kroninga-Peney'a; obliczyć koncentracje samoistną w półprzewodniku oraz koncentracje elektronów czy dziur w półprzewodniku domieszkowanym; obliczyć przewodnictwo elektryczne i opór właściwy dla różnych uwarunkowań; zinterpretować dane doświadczalne pomiaru napięcia Halla oraz przewodnictwa elektrycznego w szerokim zakresie temperatur.

LP.	Treści merytoryczne przedmiotu	LICZBA GODZIN
WYKŁAD		
	Wprowadzenie. Określenie fazy skondensowanej. Wykres fazowy. Ciała stałe. Ciała krystaliczne i amorficzne. Wiązania chemiczne w ciałach stałych.	2
	Elementy krytalografii. Sieć krystaliczna. Baza, komórka elementarna, komórka prymitywna. Elementy symetrii: osie obrotowe, płaszczyzny odbicia, centrum inwersji ta inne. Grupy punktowe, 32 klasy krytalograficzne (grupy punktowe). Symetria translacyjna. Grupy translacyjne. Twierdzenie o niemożliwości istnienia w sieci krystalicznej osi obrotowych 5-go i wyżej 6-go rzędu. Sieć punktowa matematyczna, sieć Bravais'go. Wektor translacji, wektory translacji prymitywnych. 7 układów krytalograficznych, 14 komórek Bravais'go. Płaszczyzny i kierunki sieciowe, wskaźniki Millera.	4

	Analiza rentgenostrukturalna. Oddziaływanie fal elektromagnetycznych z kryształem. Dyfrakcja promieni-X na kryształu. Ujęcie Braggów. Ujęcie Laue'go. Metoda analizy rentgenostrukturalnej Laue'go, lauegramy. Metoda proszkowa, debygramy. Spektroskopia dyfrakcyjna. Elektronografia ta inne metody badania struktury krystalicznej.	3
	Sieć odwrotna. Definicja sieci odwrotnej (na podstawie ujęcia Laue'go). Definicja wektorów translacji prymitywnych dla sieci odwrotnej. Twierdzenie o sieci odwrotnej dla sieci krystalicznej regularnej ścienne centrowanej i objętościowo centrowanej. Twierdzenie o wektorze translacji sieci odwrotnej prostopadłym do płaszczyzny sieciowej kryształu oraz twierdzenie o odległości pomiędzy dwoma sąsiednimi płaszczyznami sieciowymi. Komórka elementarna dla sieci odwrotnej, komórka Wignera-Seitza, strefa Brillouina. Równanie dla ścian strefy Brillouina. Zredukowany wektor falowy.	6
	Kwantowo-mechaniczny opis stanów elektronowych w kryształach. Podejście ogólne, przybliżenie adiabatyczne. Potencjał okresowy krystaliczny. Jedno elektronowe równanie Schrodingera z potencjałem okresowym. Twierdzenie Blocha, funkcja Blocha.	3
	Ujęcie pawie swobodnych elektronów. Energia swobodnego elektronu dla zredukowanego wektora falowego do I-j strefy Brillouina. Rozwiązanie jedno elektronowe równania Schrodingera z potencjałem okresowym dla małego obrębia strefy Brillouina w punkcie granicznym. Powstanie przerw energetycznych – zakazanych wartości energii. Pasma energetyczne – dozwolone wartości energii. Pasma walencyjne i pasmo przewodnictwa. Przerwa wzbroniona. Klasyfikacja materiałów krystalicznych na metale, półprzewodniki i dielektryki. Pojęcie masy efektywnej. Masa efektywna elektronu w kryształach jako masa dynamiczna	6
	Ujęcie ciasnego wiązania. Oddziaływanie wymienne oraz stany symetryczne i antysymetryczne we wiązaniu kowalencyjnym. Rozwiązanie jedno elektronowe równania Schrodingera z potencjałem okresowym z uwzględnieniem oddziaływania wymiennego. Jakościowa ilustracja tego rozwiązania dla sieci regularnej prostej. Przykłady struktury pasmowej. Warunki Born-Karmana, wektor falowy elektronu w kryształach jako liczba kwantowa, quasi-pęd elektronu. Gęstość stanów. Powierzchnia Fermi'ego	4
	Dynamika sieci krystalicznej. Równanie ruchu dla jednoatomowego łańcucha liniowego. Drgania akustyczne. Dwuatomowy łańcuch, drgania optyczne. Krzywe dyspersyjne dla częstości drgań akustycznych i optycznych. Fonony.	4
	Stany domieszkowe w półprzewodniku i defekty. Pierwiastki V-j i III-j grupy w sieci krystalicznej półprzewodnika. Domieszka wodoropodobna, stany wodoropodobne. Wpływ domieszek na elektroprzewodnictwo półprzewodnika. Defekty sieci krystalicznej – defekty punktowe, dyslokacje.	4
	Statystyka elektronów i dziur w półprzewodnikach. Własności pasm wypełnionych. Wakans na tle pasma wypełnionego, dziura jako quasi-cząsteczka, jej własności. Gaz elektronów i dziur w kryształach. Funkcja rozkładu Fermi'ego-Dirac'a dla elektronów i dziur. Poziom Fermi'ego w półprzewodniku. Koncentracja elektronów i dziur w przypadku półprzewodnika samoistnego. Koncentracja elektronów i dziur w przypadku domieszkowanego półprzewodnika. Zależność położenia poziomu Fermi'ego od temperatury.	4
	Zjawiska transportu elektronowego. Równanie Boltzmanna i czas relaksacji. Przewodnictwo elektryczne metali. Przewodnictwo elektryczne półprzewodnika i jej zależność od temperatury. Ruchliwość elektronów i jej zależność od temperatury, mechanizmy rozpraszania nośników prądu. Efekt Halla, magnetoopór. Zjawisko termoelektryczne	3
	Struktury niskowymiarowe półprzewodnikowe	2
	Razem	45

ĆWICZENIA RACHUNKOWE		
1	Gęstość upakowania atomów w sieciach krystalicznych różnego rodzaju.	6
2	Płaszczyzny sieciowe, wskaźniki Millera dla różnych płaszczyzn	2
3	Sieć odwrotna. Obliczenie wektorów translacji dla różnych sieci odwrotnych. Wykorzystanie twierdzeń o wektorze translacji sieci odwrotnej i płaszczyznach sieciowych.	4
4	Strefa Brillouina. Budowa trzech wymiarowej strefy Brillouina dla sieci regularnej płasko-centrowanej.	6
5	Model Kroninga-Peny'a.	6
6	Własności pasm energetycznych. Prędkość grupowa elektronów. Masa efektywna – obliczenie składników. Obliczenie gęstości stanów.	6
7	Statystyka elektronów i dziur. Obliczenie samoistnych koncentracji elektronów i dziur dla różnych półprzewodników przy różnych temperaturach. Określenie energii Fermi'ego. Obliczenie koncentracji elektronów i dziur dla różnych poziomów domieszkowania półprzewodników przy różnych temperaturach.	6
8	Przewodnictwo elektryczne metali i półprzewodników. Obliczenie temperaturowej zależności przewodnictwa elektrycznego w niektórych metalach i półprzewodnikach. Określenie energii aktywacji.	6
9	Efekt Halla. Obliczenie koncentracji i ruchliwości elektronów czy dziur na podstawie danych pomiarów efektu Halla i elektroprzewodnictwa.	3
Razem		45

Metody oceny:

Wykłady – Zaliczenie na podstawie list obecności oraz przedstawionych notatek.

Ćwiczenia rachunkowe – Zaliczenia na podstawie ocen otrzymanych na zajęciach oraz kolokwium.

Egzamin końcowy w postaci testu pisemnego. Warunkiem dopuszczenia do egzaminu są zaliczenia za Wykłady i Ćwiczenia rachunkowe

Spis zalecanych lektur:

C. Kittel, *Wstęp do teorii ciała stałego*, PWN, wyd. III i IV, Warszawa, 1998 i 2000

H. Ibach, H. Lutz, *Fizyka ciała stałego*, PWN, Warszawa, 1996

G. Harrison, *Teoria ciała stałego*, PWN, Warszawa, 1974

W.L. Boncz-Brujewicz, S.G. Kalaszniuk, *Fizyka półprzewodników*, PWN, Warszawa, 1985

K.W. Szalimowa, *Fizyka półprzewodników*, PWN, Warszawa, 1974

I. Cydyłkowski, *Elektrony i dziury w półprzewodnikach*, PWN, Warszawa, 1974 Wrocław, 2002.

/podpis prowadzącego/

/podpis Kierownika Zakładu/