**Nazwa przedmiotu:**

Fizyka ciała stałego

**Koordynator przedmiotu:**

prof. dr Jan SZMIDT, dr inż. Agnieszka ZARĘBA

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia I stopnia

**Program:**

Elektronika i Telekomunikacja

**Grupa przedmiotów:**

Przedmioty podstawowe

**Kod przedmiotu:**

FCSM

**Semestr nominalny:**

1 / rok ak. 2017/2018

**Liczba punktów ECTS:**

4

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

Realizacja przedmiotu obejmuje następujące formy zajęć:
- wykład prowadzony w wymiarze 2 godz. tygodniowo (30 godz.);
- zajęcia laboratoryjne; w ramach tych zajęć student wykonuje cztery trzygodzinne ćwiczenia dotyczące obserwacji zjawisk fizycznych z zakresu wiedzy przekazywanej w ramach wykładu oraz wiedzy nabywanej podczas zajęć laboratoryjnych; korzystając z udostępnionej w laboratorium aparatury pomiarowej, zgodnie z podaną instrukcją wykonania danego ćwiczenia, przeprowadza serię eksperymentów pomiarowych, a następnie opracowuje uzyskane wyniki i wyciąga odpowiednie wnioski; materialnym rezultatem wykonanych czynności jest sprawozdanie z ćwiczenia (12 godz.);
- egzamin trwający 2 godziny;
- student może ponadto uczestniczyć w:
 konsultacjach wykładowych prowadzonych co tydzień w wymiarze 1 godz.;
 czterech dwugodzinnych konsultacjach laboratoryjnych;
 konsultacjach przed egzaminem w wymiarze 2 godzin (uwzględniono tylko jeden termin egzaminu)
 (łącznie 15 x 1 + 4 x 2 + 2 = 25 godz.).

Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta wygląda następująco:
- 30 godz. udział w wykładach;
- 15 godz. przygotowanie do kolejnych wykładów;
- 12 godz.realizacja ćwiczeń laboratoryjnych (obejmuje także przygotowanie sprawozdań);
- 8 godz. przygotowanie do realizacji ćwiczeń laboratoryjnych (przejrzenie materiałów wykładowych i literatury oraz instrukcji wykonawczych do laboratoriów; wstępne przygotowanie formularza sprawozdania);
- 7 godz. udział w konsultacjach wykładowych (założono, że student korzysta z konsultacji 7 razy w semestrze);
- 4 godz. udział w konsultacjach związanych z realizacją ćwiczeń laboratoryjnych (założono, że student korzysta z „regularnych” konsultacji 4 razy w semestrze);
- 15 godz. przygotowanie do trzech kolokwium (pominięto ewentualne sprawdziany poprawkowe pisemne bądź ustne).
- 2 godz. egzamin końcowy
- 10 godz. przygotowanie do egzaminu (w tym 1 godzina konsultacji przed egzaminem).

Łączny nakład pracy studenta wynosi zatem: 30 + 15 + 12 + 8 + 7 + 4 + 15 + 2 + 10 = 113 godz., co odpowiada 4 punktom ECTS.

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

30 h - udział w wykładach;
12 h - realizacja ćwiczeń laboratoryjnych (obejmuje także przygotowanie sprawozdań);
 7 h - udział w konsultacjach wykładowych (założono, że student korzysta z konsultacji 7 razy w semestrze);
 4 h - udział w konsultacjach związanych z realizacją ćwiczeń laboratoryjnych (założono, że student korzysta z „regularnych” konsultacji 4 razy w semestrze);
 2 h - egzamin końcowy
 1 h - konsultacji przed egzaminem.

ŁĄCZNIE: 30 + 12 + 7 + 4 + 2 + 1 = 56 godz., co odpowiada 2 punktom ECTS

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

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

12 h - realizacja ćwiczeń laboratoryjnych (obejmuje także przygotowanie sprawozdań);
 8 h - przygotowanie do realizacji ćwiczeń laboratoryjnych (przejrzenie materiałów wykładowych i literatury oraz instrukcji wykonawczych do laboratoriów; wstępne przygotowanie formularza sprawozdania);
4 h - udział w konsultacjach związanych z realizacją ćwiczeń laboratoryjnych (założono, że student korzysta z „regularnych” konsultacji 4 razy w semestrze).

ŁĄCZNIE 12 + 8 + 4 = 24 h, co odpowiada ok. 1 punktowi ECTS

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

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 30h |
| Ćwiczenia:  | 0h |
| Laboratorium:  | 15h |
| Projekt:  | 0h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

brak

**Limit liczby studentów:**

**Cel przedmiotu:**

Celem wykładu jest zapoznanie studentów z:
- podstawowymi zjawiskami fizycznymi występującymi w ciałach stałych (ze szczególnym uwzględnieniem półprzewodników),
- własnościami elektrycznymi i optycznymi tych materiałów
- podstawami działania przyrządów półprzewodnikowych w systemach mikro- i nanoelektroniki.

Celem laboratorium jest obserwacja zjawisk fizycznych w przyrządach półprzewodnikowych i ich wpływu na charakterystyki oraz parametry elektryczne przyrządów.

**Treści kształcenia:**

Program wykładu obejmuje następujące grupy tematyczne:
1. Wprowadzenie do elektroniki ciała stałego. Wymagania stawiane współczesnym przyrządom mikroelektronicznym i optoelektronicznym (rozmiary, napięcie zasilania, częstotliwość pracy, długość fali elektromagnetycznej). Wymagania dla współczesnych materiałów i przyrządów. Ograniczenia fizyczne i techniczne. Nanoelektronika i fotonika jako dziedziny elektroniki najbliższej przyszłości.
2. Postulaty mechaniki kwantowej. Dualizm falowo-korpuskularny, fale de Broglie'a, funkcja falowa, przyrządy z efektami kwantowymi: nanorurki, kropki kwantowe, bramki kwantowe, struktury z grafenem, idea komputera kwantowego.
3. Pasmowy model energetyczny jako narzędzie charakteryzacji ciała stałego.
4. Dynamika elektronu w ciele stałym. Pojęcie i właściwości dziury. Statystyka nośników ładunku elektrycznego w stanie równowagi termodynamicznej. Koncentracje nierównowagowe.
5. Zakłócenie koncentracji nośników równowagowych w półprzewodniku.
6. Rodzaje i mechanizmy generacji i rekombinacji nośników ładunku.
7. Transport nośników w ciele stałym - prąd unoszenia, prąd dyfuzyjny.
8. Równania charakterystyczne: Maxwella, Poissona, ciągłości.
9. Przykładowe przyrządy półprzewodnikowe: dioda Schottky'ego, kondensator MIS.

Program laboratorium obejmuje cztery trzygodzinne ćwiczenia z zakresu następującej tematyki:
1. zjawiska termoelektryczne i fotoelektryczne w półprzewodnikach;
2. transport nośników w strukturach półprzewodnikowych;
3. oddziaływanie polowe i napięcia charakterystyczne w strukturach metal-półprzewodnik oraz MIS.

**Metody oceny:**

Sprawdzanie założonych efektów kształcenia realizowane jest przez:
- ocenę wiedzy i umiejętności wykazanych na trzech pisemnym kolokwiach z pytaniami o charakterze teoretycznym i ewentualnie z problemami rachunkowymi (w niektórych przypadkach na kolokwium student może korzystać z dozwolonych materiałów dydaktycznych);
- ocenę wiedzy i umiejętności związanych z realizacją zajęć laboratoryjnych – ocenie podlega: wykonanie części pomiarowej i obliczeniowej, protokół, analiza wyników, sprawdzian końcowy (ustny lub pisemny);
- ocenę pisemnego egzaminu końcowego (w szczególnych przypadkach wysokiej oceny pracy studenta w trakcie semestru egzamin ten może być przeprowadzony w formie ustnej);
- ocenę rozwiązań problemów podanych przed kolokwiami,
- ocenę aktywności studenta podczas zajęć.

**Egzamin:**

tak

**Literatura:**

1. J. Hennel "Podstawy elektroniki półprzewodnikowej", WNT, Warszawa 1995.
2. S.M.Sze, Kwok N.Ng "Physics of Semiconductor Devices" J.Wiley & Sons Inc., ISBN: 978-0-471-14323-9, 2006.

**Witryna www przedmiotu:**

https://red.okno.pw.edu.pl/witryna/home.php

**Uwagi:**

Regulaminy – przedmiotu, zajęć laboratoryjnych oraz BHP znajdują się na stronie internetowej przedmiotu oraz są wywieszone w gablocie przedmiotu.
Każdy student przed przystąpieniem do pierwszych zajęć laboratoryjnych musi zapoznać się z powyższymi dokumentami, co poświadcza własnoręcznym podpisem.

Materiały dydaktyczne do laboratoriów (instrukcje wykonawcze oraz pomoce teoretyczne) zamieszczane są na stronie internetowej przedmiotu lub są dostarczane studentom w postaci wydruków.

Materiały pomocnicze do wykładu dostarczane są studentom w postaci wydruków (częściowo na początku semestru, a następnie w miarę potrzeb w trakcie kolejnych wykładów)

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka FCSM\_W01:**

1. Ma ugruntowaną wiedzę dotyczącą fundamentalnych praw i zasad mechaniki kwantowej.
2. Ma podstawową wiedzę dotyczącą zjawisk zachodzących w półprzewodniku w stanie równowagi termodynamicznej i w stanie nierównowagi termodynamicznej.
3. Ma podstawową wiedzę dotyczącą rodzajów i mechanizmów generacji-rekombinacji nośników ładunku oraz mechanizmów ich transportu w półprzewodnikach. Zna zasady działania Diody Schotky'ego oraz kondensatora MIS.
Ma uporządkowaną wiedzę z zakresu działania badanych przyrządów półprzewodnikowych.

Weryfikacja:

Trzy sprawdziany pisemne (kolokwia) z zakresu wykładu oraz egzamin końcowy.
W czterech ćwiczeniach laboratoryjnych ocena: wykonania części pomiarowej i obliczeniowej, formy i poprawności protokołu, analizy wyników oraz sprawdzianu końcowego (ustnego lub pisemnego).

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka FCSM\_W02:**

Ma wiedzę na temat zasad przeprowadzania, dokumentowania i opracowywania wyników pomiarów charakterystyk prądowo-napięciowych i pojemnościowo-napięciowych podstawowych struktur półprzewodnikowych. Ma podstawą wiedzę do oceny poprawności dokonanych pomiarów oraz analizy błędów (zgodność lub niezgodność z przebiegami teoretycznymi oraz wyjaśnianie podstawowych przyczyn nieidealności charakterystyk).

Weryfikacja:

Ocenie podlega: wykonanie części pomiarowej i obliczeniowej, protokół oraz analiza wyników w czterech ćwiczeniach laboratoryjnych.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka FCSM\_U01:**

1. Potrafi zmierzyć podstawowe charakterystyki prądowo-napięciowe prostych elementów półprzewodnikowych (np. fotorezystora, fotodiody, termistora, diod ze złączem m-s).
2. Potrafi zmierzyć charakterystyki pojemnościowo-napięciowe kondensatora MIS.
3. Sporządza protokół pomiarowy oraz wykonuje wykresy charakterystyk w różnych skalach.
4. Na podstawie pomiarów umie wyznaczyć podstawowe parametry badanych struktur
półprzewodnikowych (np. współczynniki termiczne, rezystancje szeregową, prąd nasycenia, siłę elektromotoryczną itp.).
5. Potrafi (w stopniu podstawowym) powiązać uzyskane dane pomiarowe i obliczeniowe z własnościami i parametrami fizycznymi struktury (np. określić poziom domieszkowania półprzewodnika, grubość tlenku podbramkowego w strukturze MOS, ładunek efektywny w tlenku itp.).
6. W stopniu podstawowym ocenia poprawność dokonanych pomiarów oraz dokonuje
podstawowej analizy błędów (zgodność lub niezgodność z przebiegami teoretycznymi oraz wyjaśnić podstawowe przyczyny nieidealności charakterystyk).
7. Próbuje formułować samodzielne wnioski podsumowujące uzyskane wyniki.
8. Umie posługiwać się przyrządami pomiarowymi.

Weryfikacja:

Weryfikacja następuje w trakcie zajęć laboratoryjnych, na których studenci w zespołach dwuosobowych wykonują program ćwiczenia oraz przygotowują sprawozdanie.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka FCSM\_U02:**

WYKŁAD: 1. Potrafi dokonać analizy podstawowych zjawisk opisywanych prawami mechaniki kwantowej w
nanoelektronice lub fotonice (np. na podstawie przebiegu kwadratu modułu funkcji falowej).
2. Model pasmowy ciała stałego potrafi wykorzystać do analizy zjawisk w ciele stałym i przyrządach
półprzewodnikowych (np. złącze m-s).
3. Umie oszacować równowagowe koncentracje nośników ładunku w półprzewodnikach samoistnych i domieszkowanych (przy różnych poziomach domieszkowania) z uwzględnieniem wpływu temperatury.
4. Potrafi określić podstawowe parametry półprzewodników związane ze stanem nierównowagi termodynamicznej
5. Rozróżnia i rozpoznaje czynniki wywołujące przepływ prądu w podstawowych przyrządach półprzewodnikowych oraz potrafi oszacować wartości odpowiednich prądów (unoszenia, dyfuzji).
5. Umie wykorzystać równania transportu (prądu, ciągłości i Poissona) do określenia czasowoprzestrzennych
rozkładów nośników w wyróżnionym obszarze półprzewodnika.

Weryfikacja:

Ocenie podlegają trzy kolokwia wykładowe, cztery sprawdziany na ćwiczeniach laboratoryjnych oraz egzamin końcowy

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U19

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Charakterystyka FCSM\_K01:**

Umie pracować indywidualnie i w zespole, dzielić zadania pomiędzy członków zespołu, dyskutować i wspólnie wyciągać wnioski.

Weryfikacja:

Ocena pracy podczas wykonywania ćwiczeń laboratoryjnych, sprawozdania z ćwiczeń, omówienia wyników podczas końcowej rozmowy z prowadzącym zajęcia

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_K03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**