**Nazwa przedmiotu:**

Elektronika ciała stałego

**Koordynator przedmiotu:**

Jan SZMIDT i Antoni SIENNICKI (semestr letni); Witold PLESKACZ (semestr zimowy)

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Elektronika

**Grupa przedmiotów:**

Przedmioty techniczne - podstawowe

**Kod przedmiotu:**

ELCS

**Semestr nominalny:**

1 / rok ak. 2019/2020

**Liczba punktów ECTS:**

3

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

100
Określenie liczby punktów ECTS
Realizacja przedmiotu obejmuje następujące formy zajęć:
- wykład prowadzony w wymiarze 2 godz. tygodniowo;
- zajęcia laboratoryjne; w ramach tych zajęć student wykonuje pięć ćwiczeń 3 godzinnych dotyczących 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;
- student może ponadto uczestniczyć w prowadzonych co tydzień w wymiarze 1 godz. konsultacjach wykładowych oraz w pięciu dwugodzinnych konsultacjach laboratoryjnych (łącznie 15 x 1 + 5 x 2 = 25 godz.).
Sprawdzanie założonych efektów kształcenia realizowane jest przez:
- ocenę wiedzy i umiejętności związanych z realizacją zajęć laboratoryjnych – ocenę sprawozdań z realizacji ćwiczeń (poszczególnych zadań pomiarowych) i sprawdzian końcowy (ustny lub pisemny);
- ocenę wiedzy i umiejętności wykazanych na kolokwium pisemnym z pytaniami o charakterze teoretycznym i ewentualnie z problemami rachunkowymi (w niektórych przypadkach na kolokwium student może korzystać z dozwolnych materiałów dydaktycznych – spersonalizowana jednostronna karta A4 ze wzorami wybranymi i zapisanymi własnoręcznie przez studenta; karta musi być dołączona do formularza z rozwiązanymi zadaniami; niedopuszczalne są następujące karty wzorów: zawierające komentarze, w postaci fotokopii lub wydruków komputerowych);
- sprawdzian ustny w przypadkach wątpliwości co do oceny;
- formatywną ocenę związaną z rozwiązaniem problemów przedkolokwialnych, a także z interaktywną formą prowadzenia wykładu.
Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta wygląda następująco:
- udział w wykładach: 15 x 2 godz. = 30 godz.;
- przygotowanie do kolejnych wykładów (przejrzenie materiałów z wykładu i dodatkowej literatury, próba rozwiązania zadań rachunkowych przekazanych na wykładzie): 15 godz.;
- udział w konsultacjach wykładowych: 7 godz. (zakładamy, że student korzysta z „regularnych” konsultacji 7 razy w semestrze);
- przygotowanie do realizacji ćwiczeń laboratoryjnych (przejrzenie materiałów wykładowych i literatury oraz instrukcji wykonawczych do laboratoriów; wstępne przygotowanie formularza sprawozdania): 5 x 2 godz. = 10 godz.;
- udział w konsultacjach związanych z realizacją ćwiczeń laboratoryjnych: 5 x 1 godz. = 5 godz. (zakładamy, że student korzysta z „regularnych” konsultacji 5 razy w semestrze);
- realizacja ćwiczeń laboratoryjnych: 15 godz. (obejmuje także przygotowanie kolejnych sprawozdań);
- przygotowanie do kolokwium (powtórzenie materiału wykładowego, rozwiązanie zadań przedkolokwialnych, udział w wykładowych konsultacjach przedkolokwialnych): 3 x 5 godz. + 3 x 1 godz. = 18 godz. (pominięto ewentualny sprawdzian poprawkowy pisemny bądź ustny).
Łączny nakład pracy studenta wynosi zatem: 30 + 15 + 7 + 10 + 5+ 15 + 18 = 100 godz., co odpowiada ok. 4 punktom ECTS.
W ramach tak określonego nakładu pracy studenta:
- nakład pracy związany z zajęciami wymagającymi bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich wynosi 30 + 7 + 5 + 15 + 3 + 2 = 62 godz., co odpowiada ok. 2,5 punktom ECTS (doliczono 2 godz. na sprawdzian poprawkowy pisemny bądź ustny);
- nakład pracy związany z zajęciami o charakterze praktycznym wynosi 10 + 5 + 15 = 30 godz., co odpowiada ok. 1 punktowi ECTS.

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

2,5

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

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

1

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

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

**Wymagania wstępne:**

brak

**Limit liczby studentów:**

120

**Cel przedmiotu:**

Celem wykładu jest zapoznanie studentów z podstawowymi zjawiskami fizycznymi występującymi w ciałach stałych (ze szczególnym uwzględnieniem półprzewodników), z własnościami elektrycznymi i optycznymi tych materiałów oraz z podstawami działania przyrządów półprzewodnikowych.
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. Pojęcie sensora, mikromaszyny i mikrosystemu jako układu łączącego różnorodne zjawiska fizyczne.
2. Podstawowe prawa i zasady mechaniki kwantowej ukierunkowane na nanoelektronikę i fotonikę
Dualizm falowo-korpuskularny, fale de Broglie'a, funkcja falowa, zasada nieoznaczoności Heisenberga, liczby kwantowe, zakaz Pauliego.
3. Energetyczny model pasmowy ciała stałego
Sieć krystaliczna. Wiązania w ciele stałym. Mechanizm kształtowania się dozwolonych pasm energetycznych. Pasmowy model energetyczny jako narzędzie charakteryzacji ciała stałego. Dynamika elektronu w ciele stałym. Pojęcie i właściwości dziury. Rodzaje półprzewodników.
4. Koncentracja nośników ładunku
Koncentracje równowagowe. Statystyka nośników ładunku elektrycznego w stanie równowagi termodynamicznej. Koncentracja samoistna. Półprzewodniki domieszkowane. Koncentracje nierównowagowe. Rodzaje i mechanizmy generacji i rekombinacji nośników ładunku. Czas życia nośników nadmiarowych.
5. Transport nośników w ciele stałym
Rodzaje transportu. Prąd unoszenia. Zjawiska rozpraszania. Relaksacja zderzeniowa. Ruchliwość nośników. Konduktywność półprzewodników. Prąd dyfuzyjny. Podstawowe równania opisujące transport nadmiarowych nośników w półprzewodniku (równanie Poissona, równania gęstości prądów, równania ciągłości). Relaksacja dielektryczna. Quasineutralność elektryczna. Ambipolarne równanie transportu. Półprzewodnik niejednorodnie domieszkowany. Zakłócenie koncentracji nośników równowagowych w półprzewodniku – wybrane przykłady.
6. Kontakty
Model pasmowy kontaktu. Napięcie kontaktowe. Styk metal-półprzewodnik (złącze z barierą Schottky'ego i kontakt omowy). Warstwa zaporowa. Złącze p-n w równowadze termodynamicznej. Oddziaływanie pola elektrycznego na półprzewodnik. Stan elektryczny warstw przypowierzchniowych. Struktura MIS.
Program laboratorium obejmuje pięć ćwiczeń 3 godzinnych z zakresu następującej tematyki:
- zjawiska termoelektryczne i fotoelektryczne w półprzewodnikach;
- transport nośników w strukturach półprzewodnikowych;
- oddziaływanie polowe i napięcia charakterystyczne w strukturach m-s, m-i-s, p-n.

**Metody oceny:**

Trzy sprawdziany pisemne (kolokwia) z zakresu wykładów poprzedzających dany sprawdzian.
Każde z pięciu ćwiczeń laboratoryjnych oceniane jest oddzielnie. Na ocenę z ćwiczenia składają się następujące części: część pomiarowa i obliczeniowa, protokół, analiza wyników, sprawdzian końcowy (ustny lub pisemny).
W końcu semestru lub na początku sesji egzaminacyjnej przewiduje się zorganizowanie jednego sprawdzianu poprawkowego, który może być przeprowadzony w formie ustnej lub pisemnej.

**Egzamin:**

nie

**Literatura:**

Literatura podstawowa:
1. J. Hennel, Podstawy elektroniki półprzewodnikowej, WNT, Warszawa 1991.
2. W. Marciniak, Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone, WNT, Warszawa 1984.
3. Materiały i instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych.
Literatura uzupełniająca:
1. P. Jagodziński, A. Jakubowski, Zasady działania przyrządów półprzewodnikowych typu MIS, WPW, 1980.
2. I. W. Sawieliew, Wykłady z fizyki, Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa 1998.
3. A.Świt, J. Pułtorak, Przyrządy półprzewodnikowe, WNT, Warszawa 1976.
4. A. van der Ziel, Podstawy fizyczne elektroniki ciała stałego, WNT, Warszawa 1980.

**Witryna www przedmiotu:**

http://www.elka.pw.edu.pl/

**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 regulaminem laboratorium i instrukcją BHP, co poświadcza własnoręcznym podpisem.
Zapisy do zespołów laboratoryjnych odbywają się w pierwszym tygodniu zajęć semestru.
\* Wymienione sposoby sprawdzania (oceny) dotyczą oceny sumatywnej; ocenie formatywnej służą przede wszystkim zadania przedkolokwialne, konsultacje wykładowe i laboratoryjne, a także interaktywna forma prowadzenia wykładu.

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka Wpisz opis:**

WYKŁAD 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 zjawisk wstrzykiwania i ekstrakcji nośników (np. w złączach p-n, m-s). LABORATORIUM 1.Ma uporządkowaną wiedzę z zakresu działania badanych przyrządów półprzewodnikowych.

Weryfikacja:

Kolokwia w trakcie semestru z zakresu tematyki przekazanej na wykładzie, kolokwium podsumowujące końcowe

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka Wpisz opis:**

1.Potrafi dokonać analizy podstawowych zjawisk opisywanych prawami mechaniki kwantowej w nanoelektronice 2.Potrafi oszacować (wyznaczyć) koncentrację nośników ładunku dla różnych rodzajów półprzewodników, samoistnych i domieszkowanych, w różnych temperaturach. 3. Potrafi opisać jakościowo i ilościowo transport nośników ładunku w warunkach nierównowagi termodynamicznej. 4. Potrafi wyznaczyć na podstawie pomiarów podstawowe parametry badanych przyrządów półprzewodnikowych.

Weryfikacja:

Sprawdzian umiejętności w trakcie ćwiczeń laboratoryjnych oraz ocena aktywności na wykładach i na konsultacjach.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Charakterystyka Wpisz opis:**

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

Weryfikacja:

Praca w Laboratorium, sprawozdanie z ćwiczeń, omówienie wyników podczas końcowej rozmowy z prowadzącym zajęcia

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:**

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**