**Nazwa przedmiotu:**

Charakteryzacja materiałów dla mikroelektroniki

**Koordynator przedmiotu:**

Piotr FIREK

**Status przedmiotu:**

Fakultatywny ograniczonego wyboru

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Elektronika

**Grupa przedmiotów:**

Przedmioty techniczne - zaawansowane

**Kod przedmiotu:**

CHA

**Semestr nominalny:**

4 / rok ak. 2019/2020

**Liczba punktów ECTS:**

4

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

85

**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:**

Zalecane jest wcześniejsze zaliczenie przedmiotów:
Nanotechnologie
Zaawansowane technologie mikroelektroniki i fotoniki krzemowej

**Limit liczby studentów:**

42

**Cel przedmiotu:**

Celem wykładu jest zapoznanie studentów z najczęściej używanymi współczesnymi technikami charakteryzacji materiałów oraz mikro- i nanostruktur. Przedstawione zostaną metody mikroskopowe, skanujące, dyfrakcyjne, spektroskopowe oraz profilowe, ich wady i zalety, zakresy zastosowań oraz zasady działania urządzeń. Podczas zajęć laboratoryjnych studenci wykorzystają w praktyce wiedzę zdobytą w trakcie wykładu, poprzez działania na specjalistycznym sprzęcie do charakteryzacji materiałów oraz mikro- i nanostruktur.

**Treści kształcenia:**

Treść wykładu
Wprowadzenie (2h)

Ogólna klasyfikacja metod charakteryzacji materiałów i struktur.
Obrazowanie a techniki analityczne. Rodzaje informacji uzyskiwanych
dzięki charakteryzacji (morfologia, struktura elektronowa i
krystaliczna, skład chemiczny materiału). Podstawy fizyki zjawisk
rozpraszania. Promieniowanie rentgenowskie i jego oddziaływanie z
materią. Elektrony, neutrony i jony oraz ich oddziaływanie z materią.
Rozpraszanie sprężyste i dyfrakcja.

Techniki mikroskopowe (6h)

Obrazowanie. Powiększanie obrazu i rozdzielczość. Soczewki i ich wady:
aberracja chromatyczna, aberracja sferyczna, astygmatyzm. Mikroskopia
świetlna. Mikroskopia elektronowa - aspekty optyki elektronowej,
generowanie wiązki elektronów, oddziaływanie elektron-próbka.
Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) - obrazowanie za pośrednictwem
elektronów wtórnych i wstecznie rozproszonych, wykorzystanie kontrastu
napięciowego, kontrast magnetyczny. Transmisyjna mikroskopia
elektronowa (TEM) - dyfrakcja elektronów, kontrasty obrazów TEM
(rozproszeniowy, dyfrakcyjny, od różnej głębokości preparatu i od
defektów strukturalnych, fazowy oraz kontur ekstynkcyjny). Skaningowa
transmisyjna mikroskopia elektronowa (STEM). Inne mikroskopie, np.
jonowa.

Techniki mikroskopii bliskich oddziaływań wykorzystujące sondę
skanującą (4h)

Skaningowa mikroskopia tunelowa (STM). Budowa i idea działania
mikroskopu z sondą skanującą. Tryby pracy mikroskopu STM. Oddziaływanie
ostrze-próbka. Mikroskopia sił atomowych (AFM) - budowa mikroskopu,
zasada działania, tryby pracy (kontaktowy, bezkontaktowy, przerywanego
kontaktu), modyfikacje. Inne metody wykorzystujące sondę skanującą.

Techniki dyfrakcyjne (4h)

Techniki dyfrakcyjne objętościowe: dyfrakcja promieniowania
rentgenowskiego i dyfrakcja neutronów. Wymagania, obszary zastosowań.
Dyfraktometria proszkowa. Założenia, geometria układu. Badania przy
małych kątach rozproszenia. Techniki dyfrakcyjne powierzchniowe -
wykorzystanie elektronów odbitych (odbiciowa spektrometria
wysokoenergetycznych elektronów (RHEED) i spektrometria
niskoenergetycznych elektronów (LEED)). Schematy układów, zastosowania.

Techniki spektroskopowe (4h)

Pomiary spektroskopowe - obserwacja procesów absorpcji, odbicia i
emisji. Spektroskopia fotonowa - pomiary optyczne (pomiar współczynnika
odbicia i absorpcji/transmisji), fotoluminescencja, spektroskopia
oscylacyjna Ramana i w podczerwieni, spektroskopia promieniowania
rentgenowskiego (odmiany i modyfikacje). Spektroskopia zakresu fal radiowych - spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR), obrazowanie za pomocą rezonansu magnetycznego (MRI). Spektroskopia elektronowa - emisja promieniowania rentgenowskiego w SEM i TEM (metody wykorzystujące pomiar energii lub długości fali promieniowania), katodoluminescencja w SEM i STEM, spektroskopia strat energii elektronów.

Analiza powierzchni i profilowanie głębokościowe (4h)

Spektroskopia elektronowa powierzchni - metody rentgenowskiej
spektroskopii fotoelektronów (XPS) i spektroskopii elektronów Augera
(AES). Spektroskopie masowe - spektroskopia mas jonów wtórnych (SIMS)
oraz spektroskopia masowa wtórnych cząstek neutralnych (SNMS); badanie
powierzchni i profili głębokościowych. Rozpylanie jonowe - metody
spektroskopii rozpraszania wstecznego Rutherforda (RBS) oraz
spektroskopii promieniowania rentgenowskiego powstającego pod wpływem
bombardowania protonami (PIXE). Reflektometria neutronowa i
rentgenowska.

Wybrane techniki badania właściwości kształtowanych przez mikro- i
nanostrukturę materiału (4h)

Techniki analizy właściwości mechanicznych (wytrzymałość, ciągliwość,
odporność na pękanie, twardość i energia odkształcenia sprężystego),
elektrycznych (np. przewodność, przenikalność), magnetycznych (np.
podatność magnetyczna) i termicznych (np. temperatura, przewodność
cieplna, entalpia).

Dwa kolokwia wykładowe (2h)

Zakres laboratorium
Program zajęć laboratoryjnych obejmuje 5 trzygodzinnych ćwiczeń:
rezonansowe pomiary i analiza parametrów elektrofizycznych (jak
przewodność) ultracienkich (do 10 nm grubości) warstw metalicznych w
celu zademonstrowania zmiany charakteru badanego układu z
objętościowego na mezoskopowy, badanie powierzchni (np. topografii,
struktury, składu pierwiastkowego) ciała stałego oraz mikro- i
nanostruktur przy użyciu: mikroskopii sił atomowych (AFM), skaningowej
mikroskopii elektronowej (SEM) i mikroskopii konfokalnej oraz analiza
składu chemicznego ich powierzchni oraz objętości techniką
spektroskopii mas jonów wtórnych (SIMS).

Pomiary przenikalności elektrycznej i przewodności cienkich
warstw.

Budowa, działanie mikroskopu sił atomowych, pomiary nanostruktur.

Metody mikroskopii elektronowej - skaningowa mikroskopia
elektronowa (SEM).

Analiza mikrostruktur w oparciu o mikroskopię konfokalną.

Charakteryzacja przy pomocy spektrometrii mas jonów wtórnych
(SIMS).

**Metody oceny:**

W ramach przedmiotu przeprowadzone zostaną dwa kolokwia wykładowe oceniane w skali 0-30 punktów, dodatkowo w ramach prowadzonych laboratoriów studenci będą mogli uzyskać od 0 do 5 punktów za każde ćwiczenie laboratoryjne. Ostatnią częścią składową oceny jest praca domowa, która pozwoli na zdobycie od 0 do 15 punktów. Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest uzyskanie minimum 50% punktów z każdej z trzech ocenianych części.

**Egzamin:**

nie

**Literatura:**

"Nanotechnologie. Nanotechnologie krok po kroku", Praca zbiorowa pod red.: R.W. Kelsall, I.W. Hamley, M. Geoghegan, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 2008.

"Scanning Microscopy for Nanotechnology. Techniques and
Applications", W. Zhou, Z.-L. Wang (eds.), Springer, 2007.

"Nanostructures & Nanomaterials", G. Cao, Imperial College
Press, London, 2004.

"Metody doświadczalne fizyki ciała stałego", A. Oleś, WNT,
Warszawa, 1998.

**Witryna www przedmiotu:**

**Uwagi:**

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka CHA\_W01:**

ma szczegółową, podbudowaną teoretycznie wiedzę na temat Podstawy fizyki zjawisk rozpraszania w charakteryzacji materiałów i struktur: promieniowania rentgenowskiego i jego oddziaływania z materią, elektronów, neutronów i jonów oraz ich oddziaływania z materią, rozpraszanie sprężystego i dyfrakcji

Weryfikacja:

kolokwia, praca domowa

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka CHA\_W02:**

ma szczegółową wiedzę na temat technik mikroskopowych, technik dyfrakcyjnych, technik spektroskopowych, analizy powierzchni i profilowania głębokościowego, wybranych technik badania właściwości kształtowanych przez mikro- i nanostrukturę materiału

Weryfikacja:

kolokwium, laboratorium, praca domowa

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W06

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka CHA\_U01:**

potrafi przeprowadzić pomiary charakterystyk i wyznaczyć parametry elektrofizyczne ultracienkich struktur wykorzystując właściwe metody i techniki pomiarowe

Weryfikacja:

laboratorium

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U07, K\_U08, K\_U12

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**