

Zespół Autorski:

Dr inż. Aleksander Werbowy

Dr inż. Piotr Firek

Charakteryzacja materiałów dla elektroniki i fotoniki (CHA)
(Characterization of materials for electronic and photonic applications)

Poziom kształcenia: *II stopień*

Forma i tryb prowadzenia przedmiotu: *stacjonarna*

Kierunek studiów: *Elektronika*

Specjalność: *Systemy Zintegrowanej Elektroniki i Fotoniki*

Klasy programowe:

Poziom przedmiotu: *zaawansowany*

Status przedmiotu: *obieralny*

Język przedmiotu: *polski*

Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych):

Minimalny numer semestru: *2*

Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające: -

Limit liczby studentów: *30*

Powód zgłoszenia przedmiotu: *nowy program studiów II stopnia na kierunku Elektronika*

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 udział w działaniach na specjalistycznym sprzęcie do charakteryzacji materiałów oraz mikro- i nanostruktur.

Treść kształcenia:

Informacje ogólne: *(W trakcie semestru zostaną przeprowadzone dwa 45-minutowe kolokwia, każde oceniane w skali 0-40 punktów. Ćwiczenia laboratoryjne z kolei oceniane będą każde w skali 0-4 punktów. Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest uzyskanie z kolokwiów i projektu łącznie minimum 50% + 1 (czyli 51) punktów.)*

Opis wykładu:

1. Wprowadzenie

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.

2. Techniki mikroskopowe

Obrazowanie. Powiększenie obrazu, głębia ostrości, rozdzielczość, ograniczenie dyfrakcyjne. Dualizm korpuskularno-falowy. Aberracje układów optycznych i sposoby ich

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

redukcji. Fizjologia widzenia. Mikroskopia świetlna i kontrasty. Wybrane współczesne techniki mikroskopowe, jak np.: mikroskopia fluorescencyjna, konfokalna, TIRF, dekonwolucyjna, 2-fotonowa, STED, PALM, fPALM, StORM. Mikroskopia elektronowa - aspekty optyki elektronowej, generowanie wiązki elektronów, oddziaływanie elektron-próbka. Preparatyka próbek. Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) - obrazowanie za pośrednictwem elektronów wtórnych i wstecznie rozproszonych, kontrasty. Transmisyjna mikroskopia elektronowa (TEM) - dyfrakcja elektronów, kontrasty obrazów TEM. Skaningowa transmisyjna mikroskopia elektronowa (STEM). Elektronowa mikroskopia kriogeniczna (cryoEM). Inne mikroskopy, np. jonowa.

3. Techniki mikroskopii bliskich oddziaływań wykorzystujące sondę skanującą 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.

4. Techniki dyfrakcyjne

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

5. Techniki spektroskopowe

Pomiary spektroskopowe – omówienie wybranych technik. Na przykład: 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.

6. Analiza powierzchni i profilowanie głębokościowe

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

7. Wybrane techniki badania właściwości kształtowanych przez mikro- i nanostrukturę materiału.

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).

8. Dwa kolokwia wykładowe

Laboratorium:

Program zajęć laboratoryjnych obejmuje 5 trzygodzinnych ćwiczeń, na przykład: 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). Wizyty w laboratoriach z dostępem do najnowszych technik charakteryzacji (na przykład CEZAMAT).

Terminy zajęć zostaną ustalone w porozumieniu ze słuchaczami wykładu po rozpoczęciu semestru.

Projekt: -

Egzamin: *nie*

Literatura:

- Materiały z wykładów i instrukcje laboratoryjne.
- Bieżąca literatura naukowa (*Nature, Science* itp.).
- „*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.

Oprogramowanie: -

Wymiar godzinowy zajęć:	W	C	L	P
	2(30h)	-	1(15h)	- (45h)

Wymiar w jednostkach ECTS: 4

Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów kształcenia (opis):

1. *liczba godzin kontaktowych – 62 godz., w tym*
 - *obecność na wykładach 30 godz.,*
 - *obecność na ćwiczeniach audytoryjnych 0 godz.,*
 - *obecność na laboratorium 15 godz.,*
 - *udział w konsultacjach 17 godz.*

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

2. *praca własna studenta – 41 godz., w tym*
- *przygotowanie do wykładu 13 godz.,*
 - *przygotowanie do ćwiczeń 0 godz.,*
 - *przygotowanie do laboratoriów 10 godz.,*
 - *przygotowanie do kolokwium 8 godz.,*
 - *wykonywania zadań projektowych 0 godz.,*
 - *przygotowanie sprawozdań (projekty i laboratoria) 10 godz.*

Łączny nakład pracy studenta wynosi 103 godz., co odpowiada 4 pkt ECTS.

Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich: 2,41 pkt ECTS, co odpowiada 62 godz. kontaktowym.

Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym: 0,97 pkt ECTS, co odpowiada 25 godz. ćwiczeń laboratoryjnych i 0 godz. zadań projektowych

Efekty kształcenia/uczenia się:

Efekty kształcenia/uczenia się student, który zaliczył przedmiot:	forma zajęć/ technika kształcenia	sposób weryfikacji (oceny)	odniesienie do efektów uczenia się dla programu
WIEDZA			
Ma szczegółową wiedzę w zakresie wybranych kierunków rozwijających się w ścisłym związku z elektroniką.	Wykład	kolokwium	W02
Ma podbudowaną teoretycznie szczegółową wiedzę związaną z charakteryzacją i diagnostyką materiałów i struktur nanoelektronicznych i nanofotonicznych.	Wykład	Kolokwium/ ocena z laboratorium	W04
UMIEJĘTNOŚCI			
Potrafi planować i przeprowadzać eksperymenty, w tym zaawansowane pomiary, modelowanie i charakteryzacja zaawansowanych materiałów i struktur mikroelektroniki i fotoniki oraz opracować i interpretować uzyskane wyniki i wyciągać wnioski:	laboratorium	Ocena z laboratorium	U07
Potrafi przy formułowaniu i rozwiązywaniu zadań inżynierskich – integrować wiedzę z jednego z trzech następujących obszarów: mikroelektroniki, fotoniki i nanotechnologii oraz zastosować podejście systemowe, uwzględniające także aspekty pozatechniczne.	laboratorium	Ocena z laboratorium	U09

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

Potrafi ocenić przydatność i możliwość wykorzystania nowych technologii w zakresie elektroniki i jej zastosowań	laboratorium	Ocena z laboratorium	U11
KOMPETENCJE SPOŁECZNE			
Ma świadomość roli społecznej absolwenta uczelni technicznej, a zwłaszcza rozumie potrzebę formułowania i przekazywania społeczeństwu, w szczególności poprzez środki masowego przekazu, informacji i opinii dotyczących osiągnięć techniki i innych aspektów działalności inżynierskiej; podejmuje starania, aby przekazać takie informacje i opinie w sposób powszechnie zrozumiały, z uzasadnieniem różnych punktów widzenia.	Wykład/laboratorium	Kolokwium/ ocena z laboratorium	K02