



SZKOŁA DOKTORSKA IPPT PAN

KARTA PRZEDMIOTU OFEROWANEGO W SZKOLE DOKTORSKIEJ IPPT PAN

Nazwa przedmiotu	w j. polskim	Wstęp do skaningowej mikroskopii elektronowej i technik pokrewnych.				
	w j. angielskim	Introduction to scanning electron microscopy and related techniques.				
Rodzaj zajęć	Wykład					
Kierownik przedmiotu	Dariusz Jarząbek			Prowadzący zajęcia	Dariusz Jarząbek	
Jednostka realizująca	ZMM/LMD	Dyscyplina/y naukowa/e	Inżynieria materiałowa, inżynieria mechaniczna, Inżynieria biomedyczna			
Poziom kształcenia	Studia III stopnia	Semestr studiów	I, II, III lub IV			
Język zajęć	angielski					
Forma zaliczenia	egzamin	Sumaryczna liczba godzin w semestrze	30	Sumaryczna liczba ECTS	4	
Typ zajęć		Wykład	Ćwiczenia audytoryjne	Ćwiczenia projektowe	Laboratorium	Seminarium
Liczba godzin zajęć	tygodniowo	2			2	
	łącznie w semestrze	30			10	

1. Wymagania wstępne

a) Podstawową znajomość fizyki na poziomie inżynierskim, w szczególności:

- mechaniki klasycznej,
- podstaw elektromagnetyzmu,
- elementarnych zagadnień fizyki kwantowej i budowy atomu.

b) Znajomość chemii ogólnej i materiałowej w zakresie budowy i właściwości ciał stałych,

- podstawy krystalografii i struktury materii.

c) Umiejętność posługiwania się matematyką inżynierską, zwłaszcza w zakresie:

- algebry liniowej,
- analizy funkcji,
- podstaw rachunku różniczkowego i całkowego.

d) Podstawową wiedzę z zakresu materiałoznawstwa i inżynierii materiałowej, w tym:

- rodzaje i właściwości podstawowych grup materiałów (metale, ceramiki, polimery),
- podstawowe techniki charakteryzacji materiałów.

e) Ogólną orientację w zagadnieniach z elektroniki i próżni technicznej, ułatwiającą zrozumienie działania aparatury.

f) Umiejętność korzystania z literatury naukowej i czytania tekstów technicznych w języku angielskim.

2. Cele przedmiotu

- a) Zapoznanie studentów z podstawami teoretycznymi skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) – mechanizmem generacji i detekcji sygnałów elektronowych, zasadą działania układu optyki elektronowej oraz podstawami próżni i elektroniki aparaturowej.
- b) Przedstawienie technik pokrewnych stosowanych w mikroskopii elektronowej, takich jak: analiza składu chemicznego metodą EDS/WDS, obrazowanie elektronami wstecznie rozproszonymi (BSE), dyfrakcja elektronów EBSD, czy mikroskopia jonowa i elektronowa w systemach FIB-SEM.
- c) Rozwinięcie umiejętności interpretacji obrazów i widm uzyskiwanych w SEM oraz powiązania ich z mikrostrukturą i właściwościami badanych materiałów.
- d) Zapoznanie studentów z zakresem możliwości oraz ograniczeniami metod SEM, a także zasadami poprawnej analizy jakościowej i ilościowej.
- e) Nabycie praktycznej wiedzy dotyczącej przygotowania próbek do badań w mikroskopii elektronowej (materiały przewodzące i nieprzewodzące, techniki napyłania, cięcia, montażu).
- f) Wykształcenie świadomości dotyczącej bezpieczeństwa pracy z mikroskopami elektronowymi i systemami wysokiej próżni.
- g) Przygotowanie studentów do samodzielnego wykorzystania SEM w pracy badawczej i inżynierskiej, w tym doboru odpowiedniej techniki do konkretnego problemu badawczego.

3. Treści programowe (dla każdego typu zajęć oddzielnie)

Wykład

Wprowadzenie do mikroskopii elektronowej

- Podstawowe różnice między mikroskopią optyczną a elektronową.
- Zasady działania kolumny elektronowej i układów próżniowych.
- Źródła elektronów, układ optyki elektronowej, detektory sygnałów.

Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM)

- Zasada działania SEM.
- Rodzaje sygnałów: elektrony wtórne, wstecznie rozproszone, promieniowanie rentgenowskie.
- Kontrast obrazu i jego interpretacja.
- Rozdzielczość i czynniki wpływające na jakość obrazu.

Analiza składu chemicznego w SEM – spektroskopia rentgenowska (EDS/WDS)

- Mechanizm emisji promieniowania rentgenowskiego charakterystycznego.
- Zasada działania detektorów EDS i WDS.
- Identyfikacja i ilościowa analiza pierwiastków.
- Ograniczenia i dokładność metody.

Dyfrakcja elektronów wstecznie rozproszonych (EBSD)

- Zasada działania i rejestracja wzorów Kikuchiego.
- Możliwości analizy: orientacja krystalograficzna, tekstura, identyfikacja faz.
- Zastosowania EBSD w materiałoznawstwie.

Techniki zogniskowanej wiązki jonowej (FIB, FIB-SEM)

- Zasada działania FIB i rodzaje jonów.
- Wykorzystanie FIB do przygotowania próbek (np. do TEM).
- Zastosowania FIB w modyfikacji powierzchni i analizie 3D.

Wprowadzenie do mikroskopii transmisyjnej (TEM)

- Zasada działania TEM i różnice względem SEM.
- Informacje uzyskiwane w TEM: obraz jasnego pola, ciemnego pola, dyfrakcja elektronowa.
- Możliwości wysokiej rozdzielczości i analizy struktury krystalicznej.
- Wymagania dotyczące przygotowania próbek – ultracienkie lamelki (<100 nm).

Techniki pokrewne i uzupełniające

- XRF – fluorescencja rentgenowska jako metoda analizy chemicznej.
- AFM – mikroskopia sił atomowych jako narzędzie do obrazowania topografii powierzchni.
- Porównanie z SEM – zakres zastosowań i ograniczenia.

Przygotowanie próbek do badań

- Materiały przewodzące i nieprzewodzące – napylenie, powlekanie przewodnikami.
- Cięcie, zatapianie, polerowanie próbek metalograficznych.
- Specyfika przygotowania próbek dla EDS, EBSD i FIB.
- Przygotowanie próbek TEM przy pomocy FIB – proces wycinania, przenoszenia i finalnego pocieniania.

Laboratorium

Wprowadzenie organizacyjne i zasady BHP pracy z mikroskopem elektronowym

Przygotowanie próbek do obserwacji – omówienie metod (napylenie, mocowanie, przewodnictwo elektryczne) oraz zapoznanie się z przygotowanymi próbkami.

Podstawowa obsługa mikroskopu SEM – zasady wprowadzania próbki, ustawianie parametrów pracy (napięcie przyspieszające, powiększenie, kontrast, jasność, tryb detekcji).

Obrazowanie próbek przyniesionych przez studentów lub udostępnionych przez prowadzącego – praktyczne ćwiczenia:

- dobór parametrów obrazowania do rodzaju próbki,
- obserwacja topografii powierzchni i struktury materiałów,
- rejestracja obrazów SEM.

Proste analizy sygnałów dodatkowych:

- demonstracja analizy składu chemicznego metodą EDS,
- opcjonalnie prezentacja podstaw EBSD (rejestracja i interpretacja przykładowych wzorów Kikuchiego).

Omówienie uzyskanych wyników i podsumowanie – interpretacja obrazów i widm, porównanie możliwości i ograniczeń SEM oraz technik pokrewnych.

4. Efekty uczenia się

Numer efektu	Opis efektu uczenia się	Odniesienie do efektów uczenia się zgodnie z 8. PRK	Sposób weryfikacji efektów uczenia*
Wiedza			
1	Student zna podstawowe zasady działania skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) oraz technik pokrewnych (EDS, EBSD, FIB, TEM – wprowadzenie, XRF, AFM).	PRK: P7_WG – ma rozszerzoną wiedzę w zakresie dyscypliny inżynierskiej i nauk pokrewnych.	egzamin

SZKOŁA DOKTORSKA IPPT PAN

2	Student rozumie mechanizmy generacji i detekcji sygnałów w SEM oraz ich znaczenie dla interpretacji obrazów i widm.	PRK: P7_WG – ma wiedzę o metodach, technikach i narzędziach stosowanych w badaniach materiałowych.	egzamin
3	Student zna zasady przygotowania próbek do badań w SEM, EDS, EBSD i TEM oraz ich wpływ na uzyskiwane wyniki.	PRK: P7_WK – zna ograniczenia stosowanych metod badawczych.	Ocena sprawozdania
Umiejętności			
1	Student potrafi obsłużyć podstawowe funkcje SEM w zakresie obrazowania próbek.	PRK: P7_UW – potrafi prawidłowo zastosować narzędzia badawcze w praktyce.	Ocena sprawozdania
2	Student potrafi dobrać parametry pracy SEM do rodzaju próbki i oczekiwanego wyniku.	PRK: P7_UW – potrafi integrować wiedzę i umiejętności w rozwiązywaniu problemów inżynierskich.	Ocena sprawozdania
3	Student potrafi przeprowadzić podstawową analizę jakościową metodą EDS i wstępnie zinterpretować uzyskane widma.	PRK: P7_UW – potrafi analizować i interpretować dane eksperymentalne.	Egzamin
4	Student potrafi krytycznie ocenić możliwości i ograniczenia poszczególnych technik (SEM, EDS, EBSD, FIB, TEM, AFM, XRF) i dobrać odpowiednią metodę do problemu badawczego.	PRK: P7_UK – potrafi formułować wnioski i argumenty uzasadniające wybór metody badawczej.	Egzamin
Komunikowanie się			
1	Student potrafi w sposób zrozumiały prezentować wyniki obserwacji i analiz uzyskanych w SEM i technikach pokrewnych.	PRK: P7_UK – potrafi komunikować się ze środowiskiem akademickim i branżowym w zakresie specjalistycznym.	Ocena sprawozdania
Kompetencje społeczne			

1	Student rozumie znaczenie przestrzegania zasad bezpieczeństwa w pracy z urządzeniami wysokiej próżni i źródłami elektronów/jonów.	PRK: P7_KO – potrafi odpowiedzialnie pełnić funkcje zawodowe, z uwzględnieniem bezpieczeństwa i etyki.	Ocena sprawozdania
2	Student ma świadomość ograniczeń metod badawczych i konieczności krytycznej interpretacji uzyskanych wyników.	PRK: P7_KK – jest gotów do krytycznej oceny posiadanej wiedzy i jej stosowania.	Egzamin
3	Student dostrzega znaczenie mikroskopii elektronowej i technik pokrewnych w rozwoju nauki, inżynierii i diagnostyki przemysłowej.	PRK: P7_KR – jest gotów do odpowiedzialnego pełnienia roli zawodowej w środowisku badawczym i przemysłowym.	Egzamin

* dozwolone sposoby weryfikacji efektów uczenia się: egzamin; egzamin ustny; kolokwium pisemne; kolokwium ustne; ocena projektu; ocena sprawozdania; ocena raportu; ocena prezentacji; ocena aktywności w trakcie zajęć; prace domowe; test

5. Kryteria oceny

Egzamin końcowy (70% oceny końcowej)

- Forma: pisemna
- zakres: treści wykładowe (SEM, EDS, EBSD, FIB, TEM – wprowadzenie, XRF, AFM, przygotowanie próbek, możliwości i ograniczenia metod),
- sprawdzane efekty: wiedza teoretyczna, umiejętność interpretacji obrazów i wyników, znajomość zastosowań i ograniczeń metod.

Sprawozdanie z laboratorium (30% oceny końcowej)

- forma: pisemne sprawozdanie indywidualne,
- zakres: opis przebiegu ćwiczeń, prezentacja wyników obrazowania i ewentualnych analiz (EDS/EBSD), interpretacja i wnioski,
- sprawdzane efekty: umiejętności praktyczne, interpretacja wyników, poprawność stosowania terminologii, umiejętność komunikowania się w formie pisemnej.

6. Literatura

Literatura podstawowa:

Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, Joseph I. Goldstein, Dale E. Newbury, Joseph R. Michael, Nicholas W.M. Ritchie, John Henry J. Scott, David C. Joy, [DOI 10.1007/978-1-4939-6676-9](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6676-9), Springer New York, NY, 2017

Physical Principles of Electron Microscopy, An Introduction to TEM, SEM, and AEM, Ray F. Egerton, DOI 10.1007/978-1-4615-0215-9, Springer Science+Business Media, Inc. 2005



SZKOŁA DOKTORSKA IPPT PAN

Literatura uzupełniająca:

Electron Backscatter Diffraction in Materials Science, Adam J. Schwartz, Mukul Kumar, Brent L. Adams, David P. Field, DOI 10.1007/978-0-387-88136-2, Springer New York, NY, 2009

Transmission Electron Microscopy, A Textbook for Materials Science, David B. Williams, C. Barry Carter, DOI 10.1007/978-0-387-76501-3, Springer New York, NY, 2017

7. Nakład pracy studenta niezbędny do osiągnięcia efektów uczenia się**

Lp.	Opis	Liczba godzin
1	godziny kontaktowe z wykładowcą wynikające z planu	40
2	Godziny kontaktowe z wykładowcą w ramach konsultacji, egzaminów, sprawdzianów itp.	10
3	Godziny pracy samodzielnej studenta w ramach przygotowania do zajęć oraz opracowania sprawozdań, projektów, prezentacji, raportów, prac domowych	20
4	godziny pracy samodzielnej studenta w ramach przygotowania do egzaminu, sprawdzianu, zaliczenia	30
Sumaryczny nakład pracy studenta		100
Liczba punktów ECTS		4

** 1 ECTS pracy = 25÷30 godzin nakładu pracy studenta (np. 2 ECTS ≈ 60 godzin; 4 ECTS ≈ 110 godzin)