

SYLABUS**DOTYCZY CYKLU KSZTAŁCENIA 2021-2025***(skrajne daty)*

Rok akademicki 2023/2024

1. PODSTAWOWE INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

Nazwa przedmiotu	Nanolitografia
Kod przedmiotu*	
Nazwa jednostki prowadzącej kierunek	Kolegium Nauk Przyrodniczych
Nazwa jednostki realizującej przedmiot	Kolegium Nauk Przyrodniczych
Kierunek studiów	Inżynieria materiałowa
Poziom studiów	studia pierwszego stopnia
Profil	ogólnoakademicki
Forma studiów	stacjonarne
Rok i semestr/y studiów	III rok, 5 semestr
Rodzaj przedmiotu	specjalnościowy
Język wykładowy	polski
Koordynator	dr Dariusz Płoch
Imię i nazwisko osoby prowadzącej / osób prowadzących	dr Dariusz Płoch dr inż. Ewa Bobko

* -opcjonalnie, zgodnie z ustaleniami w Jednostce

1.1. Formy zajęć dydaktycznych, wymiar godzin i punktów ECTS

Semestr (nr)	Wykł.	Ćw.	Konw.	Lab.	Sem.	ZP	Prakt.	Inne (jakie?)	Liczba pkt. ECTS
5	15			15					2

1.2. Sposób realizacji zajęć

- ☒ zajęcia w formie tradycyjnej
☐ zajęcia realizowane z wykorzystaniem metod i technik kształcenia na odległość

1.3 Forma zaliczenia przedmiotu (z toku) (egzamin, zaliczenie z oceną, zaliczenie bez oceny)

Wykład – zaliczenie

Laboratoria – zaliczenie z oceną

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Znajomość podstaw fizyki klasycznej, analizy matematycznej i algebry liniowej, konieczność zaliczenia przedmiotu podstawy elektroniki.

3. CELE, EFEKTY UCZENIA SIĘ, TREŚCI PROGRAMOWE I STOSOWANE METODY DYDAKTYCZNE

3.1 Cele przedmiotu

C1	Zapoznanie studentów z nowoczesnymi metodami litograficznymi stosowanymi do wytwarzania struktur niskowymiarowych oraz sub-mikronowych elementów urządzeń nanoelektronicznych,
C2	Zrozumienie podstaw fizycznych i chemicznych efektów wykorzystywanych w procesach litograficznych, takich jak procesy adhezji i zwilżania, oddziaływania fotonów, elektronów i jonów z materiałem rezystu i podłoża, ma zapoznać z różnorodnymi rozwiązaniami technicznymi stosowanymi w celu przeniesienia projektu (wzoru) na materiał substratu i czynnikami wpływającymi na uzyskaną zdolność rozdzielczą.
C3	Wykształcenie umiejętności optymalnego projektowania elementów nanoelektronicznych oraz właściwy wybór odpowiedniej metody litograficznej dzięki znajomości mocnych stron i ograniczeń danej metody.
C4	Zapoznanie studentów ze sposobami modelowania komputerowego efektów związanych z ekspozycją i wywoływaniem foto- i elektrono-rezystów, przy wykorzystaniu pakietu Octave/Matlab.

3.2 Efekty uczenia się dla przedmiotu

EK (efekt uczenia się)	Treść efektu uczenia się zdefiniowanego dla przedmiotu Student:	Odniesienie do efektów kierunkowych ¹
EK_01	Student ma podstawową wiedzę w zakresie stosowania termodynamiki do opisu i modelowania procesów obróbki cieplnej, przemian fazowych, dyfuzji atomów w procesach technologicznych. Zna podstawowe metody, techniki, narzędzia i materiały do projektowania, modelowania, symulacji i wytwarzania elementów i urządzeń technicznych oraz rozwiązywania za ich pomocą prostych zagadnień technicznych i badawczych. ma elementarną wiedzę o cyklu życia produktów oraz na temat zasad funkcjonowania i eksploatacji aparatury, urządzeń i systemów wykorzystujących metody technologii wytwarzania materiałów, szczególnie w aspekcie wytwarzania nanomateriałów mających zastosowanie w przemyśle lotniczym.	K_W05 K_W07 K_W10
EK_02	Student potrafi zgodnie z zadaną specyfikacją zbudować proste urządzenie, obiekt, system lub proces typowe dla inżynierii materiałowej używając właściwych technik metod i narzędzi. potrafi zaprojektować prosty proces technologiczny zgodnie z zadaną specyfikacją, charakterystyczny dla ukończonej specjalności i ocenić jego poprawność przy użyciu właściwych metod, technik i narzędzi	K_U10 K_U13

¹ W przypadku ścieżki kształcenia prowadzącej do uzyskania kwalifikacji nauczycielskich uwzględnić również efekty uczenia się ze standardów kształcenia przygotowującego do wykonywania zawodu nauczyciela.

EK_03	Student rozumie potrzebę podnoszenia swoich kwalifikacji, rozumie konieczność wzbogacania swojej wiedzy i umiejętności do zmian zachodzących w technice i technologii.	K_Ko1
-------	--	-------

3.3 Treści programowe

A. Problematyka wykładu

Treści merytoryczne:
<u>Podstawowe procesy litograficzne:</u> Litografia jako proces przeniesienia wzoru (projektu) na materiał substratu, czyszczenie podłoża i adhezja, typy rezystów i ich nakładanie, dopasowywanie (alignment) i ekspozycja wzoru, wywoływanie, pomiary i inspekcja wyników, post-processing. <u>Fotolitografia:</u> fotorezysty, modelowanie procesów fotochemicznych, efekty optyczne, aberracja światła, metody ekspozycji (kontaktowa, zbliżeniowa i projekcyjna), konstrukcja urządzeń do ekspozycji zbliżeniowej (stepper), maski fotolitograficzne, ich wytwarzanie, fotolitografia immersyjna, fotolitografia dalekiego ultrafioletu (EUV), zdolność rozdzielcza, koszty. <u>Elektronolitografia:</u> rezysty elektrono-czułe, oddziaływanie wiązki elektronów z materią, procesy ekspozycji, konstrukcje kolumny elektronowej, wywoływanie i profil uzyskanej maski, rezysty wielowarstwowe, parametry ekspozycji, Problem tzw. poprawek bliskości (proximity effects), konstrukcja urządzeń do elektronolitografii, litografia 3-wymiarowa (3D), zdolność rozdzielcza koszty. <u>Metody alternatywne:</u> litografia jonowa (FIB), wykorzystanie mikroskopów z sondą skanującą (STM i AFM), fotolitografia laserowa, litografia mechaniczna wykorzystująca nanodruk (nanoimprint lithography). <u>Zastosowania:</u> przykłady nanostruktur uzyskanych za pomocą różnych metod litograficznych, porównanie parametrów : zdolności rozdzielczej i szybkości działania, wpływ zastosowanej metody na modyfikację parametrów podłoża, metody obróbki po procesie litograficzny (post processing): trawienie, metalizacja.

B. Problematyka ćwiczeń laboratoryjnych

Treści merytoryczne
<u>Projektowanie nanostruktur:</u> Wykonanie pełnego projektu elektrono-litograficznego nanotranzystora, przy wykorzystaniu programu Nanomaker (typu CAD), projekt powinien zawierać wszystkie funkcjonalne elementy takie jak kontakty elektryczne, linie separujące, bramki elektrostatyczne oraz znaczniki (markery) umożliwiające właściwe dopasowanie (alignment) kolejnych poziomów projektowych, rozmiary wykonywanych elementów powinny zawierać się w przedziale od 1mm do 100 nm. <u>Modelowanie ekspozycji:</u> Obliczenia właściwych parametrów ekspozycji w litografii elektronowej, przy uwzględnieniu tzw. poprawek bliskości (proximity corrections). Zadaniem ćwiczenia jest implementacja algorytmu dla poprawek bliskości, opartego na szybkiej transformacji Fouriera oraz transfer danych do formatu rozpoznawalnego przez systemy litograficzne.

3.4 Metody dydaktyczne

Wykład - prezentacja multimedialna

Laboratoria – doświadczenia w grupach.

4. METODY I KRYTERIA OCENY

4.1 Sposoby weryfikacji efektów uczenia się

Symbol efektu	Metody oceny efektów uczenia się (np.: kolokwium, egzamin ustny, egzamin pisemny, projekt, sprawozdanie, obserwacja w trakcie zajęć)	Forma zajęć dydaktycznych (w, ćw, ...)
EK_01	Kolokwium, prace pisemne, obserwacja w trakcie zajęć	W, Lab.
EK_02	Kolokwium, prace pisemne, obserwacja w trakcie zajęć	W, Lab.
EK_03	Obserwacja w trakcie zajęć	Lab.

4.2 Warunki zaliczenia przedmiotu (kryteria oceniania)

Wykład: Zaliczenia wykładu na podstawie kolokwium (ustnego lub pisemnego) oraz zaliczenia ćwiczeń laboratoryjnych i projektowych Laboratoria: Po każdej części materiału student wykonuje praktyczne ćwiczenia oraz przedstawia sprawozdanie, które są oceniane przez prowadzącego laboratorium. Ocena końcowa jest średnią arytmetyczną z ocen cząstkowych, przy czym student musi pozytywnie zaliczyć każdą część materiału. dst. (51 - 60)% pkt, +dst. (61 - 70)% pkt, dobry (71 - 80)% pkt, +dobry (81 - 90)% pkt, bardzo dobry (91 - 100)% pkt.
--

5. CAŁKOWITY NAKŁAD PRACY STUDENTA POTRZEBNY DO OSIĄGNIĘCIA ZAŁOŻONYCH EFEKTÓW W GODZINACH ORAZ PUNKTACH ECTS

Forma aktywności	Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności
Godziny kontaktowe wynikające z harmonogramu studiów	30
Inne z udziałem nauczyciela akademickiego (udział w konsultacjach, egzaminie)	2
Godziny niekontaktowe – praca własna studenta (przygotowanie do zajęć, egzaminu, napisanie referatu itp.)	20
SUMA GODZIN	52
SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS	2

** Należy uwzględnić, że 1 pkt ECTS odpowiada 25-30 godzin całkowitego nakładu pracy studenta.*

6. PRAKTYKI ZAWODOWE W RAMACH PRZEDMIOTU

wymiar godzinowy	Nie dotyczy
zasady i formy odbywania praktyk	Nie dotyczy

7. LITERATURA

Literatura podstawowa:

1. H. J Levinson, Principles of Lithography SPIE Press Monograph, 2011 – udostępnia prowadzący
2. Mohammad Ali Mohammad, Mustafa Muhammad, Steven K. Dew, and Maria Stepanova, Fundamentals of Electron Beam Exposure and Development,
3. www.springer.com/.../9783709104231-c1.pdf.

Akceptacja Kierownika Jednostki lub osoby upoważnionej