**Nazwa przedmiotu:**

Nanometrologia

**Koordynator przedmiotu:**

dr hab. inż. Ryszard Jabłoński, prof. nzw. PW

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Mechatronika

**Grupa przedmiotów:**

Obowiązkowe

**Kod przedmiotu:**

brak

**Semestr nominalny:**

3 / rok ak. 2019/2020

**Liczba punktów ECTS:**

3

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

1) Liczba godzin bezpośrednich 50, w tym:
a) wykład - 30
b) laboratorium - 15
c) konsultacje - 3
d) egzamin - 2
2) Praca własna studenta 25, w tym:
a) przygotowanie do egzaminu -10
b) przygotowanie do laboratorium wykonanie sprawozdań - 20
suma 80 (3 ECTS)

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

1) Liczba godzin bezpośrednich 50, w tym:
a) wykład - 30
b) laboratorium - 15
c) konsultacje - 3
d) egzamin - 2
suma 50 (2 ECTS)

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

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

O charakterze praktycznym:
a)laboratorium - 15
b) przygotowanie do laboratorium wykonanie sprawozdań - 20
suma: 35 (1,5 ECTS)

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

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

**Wymagania wstępne:**

Podstawy metrologii, fizyka, optyka laserowa

**Limit liczby studentów:**

30

**Cel przedmiotu:**

Pogłębienie wiedzy dotyczącej zjawisk fizycznych w oparciu, o które działają urządzenia nanotechnologiczne, możliwości wykorzystania cząstek elementarnych jako narzędzi i nośników informacji.
Zdobycie umiejętności, uzyskanych wyników eksperymentu fizycznego w skali nano oraz poznania metodyki szacowania niepewności pomiaru przy wykorzystaniu sprzętu stosowanego w nanotechnologii

**Treści kształcenia:**

Wykład
Wprowadzenie Nanotechnologia, nanometrologia, metrologia materii, pomiary subtelne, metrologia molekularna. Struktura materii. Ewolucja teorii nano (Planck, Einstein, de Bragle, Schroedinger, Born, Heisenberg).
Cząstki elementarne. Nanostruktury. Stałe fizyczne. Cząstki elementarne: foton, elektro, fale e-m, ultradźwięki, atomy. Nanorurki, nanostruktury. Interakcja światła i materii; wybrane przykłady dla różnych stanów skupienia (ciekłej stałej i gazowej).
Wzorce molekularne Mierzone wielkości: długość, kąt, częstotliwość, okres, amplituda, położenie, zliczanie cząstek. Specyfika obiektu pomiaru. Obecnie istniejące wzorce molekularne.
Obiekty nano i warunki pomiaru Specyfika obiektów nano. Warunki pracy urządzeń pomiarowych w nanoskali. Wpływ warunków zewnętrznych na obiekt pomiaru i na przyrząd pomiarowy.
Pomiary cząstek Charakterystyka cząstek, klasy czystości, pomiary cząstek. Analiza zanieczyszczeń i składu substancji. Metoda skanowania laserowego. Analizatory oparte na pochłanianiu i rozproszeniu promieniowania. Pomiar ilości, wielkości i rodzaju cząstek.
Pułapkowanie laserowe Mikrowiązka laserowa, wiązka fotonowa. Formowanie wiązki, parametry.
Warunki konieczne do realizacji pułapki laserowej, pułapkownie.
Podstawy fizyczne. Budowa układu. Wybrane zastosowania.
Zliczanie fotonów Fotopowielacze, mody pracy. Metoda zliczania pojedynczych fotonów (SPC); budowa układu, ograniczenia, zastosowania.
Sprzęt pomiarowy Detektory SQIUD, mikroskopy (rodzaje, odmiany, parametry metrologiczne, końcówki, mody pracy), interferometry, komparatory, profilometry, piezopozycjonowanie, maszyny 3Dnano.
Piezotranlatory Piezotranslatory (zakresy pomiarowe, rozdzielczość, histereza, charakterystyka częstotliwościowa). Pomiar przemieszczenia, skanowanie obszaru pomiarowego.
Mikroskopy fotoelektryczne Fotoelektryczne mikroskopy stacjonarne i skaningowe. Pomiar położenia kresy/krawędzi, sygnał zerowy. Wyznaczenie dynamiki mikroskopu. Synchronizacja jego pracy z pomiarem przemieszczenia obiektu. Sprawdzanie wzorców kreskowych.
Granica rozdzielczości Zasada nieoznaczoności. Granica rozdzielczości pomiaru. Powiązania między podstawowymi wielkościami fizycznymi.
Trójkąt metrologiczny System jednostek i wzorców oparty na stałych fizycznych i prawach fizyki. Trójkąt metrologiczny. Nano-programy międzynarodowe.
Problemy do rozwiązania Problemy do rozwiązania w nanometrologii.
Zagadnienia etyczne w nanotechnologii.
Laboratorium
Badanie parametrów metrologicznych pozycjonera piezoelektrycznego Badanie czułości, rozdzielczości, powtarzalności, histerezy, charakterystyki częstotliwościowej. Analiza wpływu fluktuacji napięcia (wejście) na niedokładność położenia. Referencyjny pomiar przemieszczenia dokonywany jest za pomocą interferometru laserowego.
Interpolacja odległości międzyprążkowej w pomiarze interferencyjnym Sprawdzenie możliwości interpolacji odległości międzyprążkowej w interferometrze laserowym w zależności od stabilności warunków otoczenia.
Dokonać pomiaru fazy i amplitudy sygnałów dla różnych amplitud i częstotliwości drgań układu.
Badanie fotopowielacza pracującego w trybie zliczania fotonów. Analiza metrologiczna fotopowielacza. Pomiar prądu ciemnego. Badanie kierunkowości (kąta akceptacji). Badanie poziomu sygnału nasycenia. Sprawdzenie rozdzielczości (rozróżnialności) pojedynczych zliczeń.
Pomiar ilości i wielkości cząstek Pomiar ilości rozproszonego światła w funkcji prędkości ruchu cząstki. Analiza wielkości cząstki na podstawie uzyskanego sygnału pomiarowego. Próbkowanie sygnału w przedziale 1-10m.
Pomiar topografii powierzchni Pomiar chropowatości i kształtu powierzchni z wykorzystaniem stykowego nano-profilometru laserowego. Pomiaru dokonać na próbkach walcowych o znanych (nominalnych) parametrach. Wyznaczyć niepewność pomiaru.
Zastosowanie skaningowego mikroskopu fotoelektrycznego do pomiaru wzorca kreskowego Pomiar położenia kresy/krawędzi za pomocą skaningowego mikroskopu fotoelektrycznego sprzężonego z interferometrem laserowym. Analiza sygnału zerowego dla różnych prędkości przemieszczenia wzorca. Wyznaczenie dynamiki mikroskopu. Wyznaczenie poprawek wzorca.

**Metody oceny:**

egzamin, zaliczenie laboratorium

**Egzamin:**

tak

**Literatura:**

E. Drexler. Nanosystems – molecular machinery, Manufacturing and computation, McGraw-Hill, 1992
Metrologia kwantów, Mat. Konf. Elektronika 5/2006
T. Kowalewski, Mechanika płynów w makro i nano skali, Wyd. IPPT PAN, Warszawa, 2007
W. Jakubiec, J. Malinowski. Metrologia wielkości geometrycznych, WNT Warszawa 2004
K. Patorski, M. Kujawińska, L. Sałbut. Interferometria laserowa z automatyczną analizą obrazu. OW PW, Warszawa, 2005

**Witryna www przedmiotu:**

brak

**Uwagi:**

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka NAN\_W01:**

Zna metodykę szacowania niepewności pomiaru przy wykorzystaniu sprzętu stosowanego w nanotechnologii

Weryfikacja:

egzamin, laboratorium

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W07, K\_W10, K\_W02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P7S\_WG.o, P7U\_W

**Charakterystyka NAN\_W02:**

Zna zjawiska fizyczne w oparciu o które działają urządzenia nanotechnologiczne

Weryfikacja:

egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o

**Charakterystyka NAN\_W03:**

Ma pogłębioną wiedzę na temat wykorzystania cząstek elementarnych jako narzędzi i nośników informacji

Weryfikacja:

egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W02, K\_W10, K\_W14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka NAN\_U01:**

Jest przygotowany do pracy w zaawansowanych laboratoriach badawczych z dziedziny nanotechnologii

Weryfikacja:

laboratorium

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U08, K\_U13, K\_U15

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o

**Charakterystyka NAN\_U02:**

Umie, na podstawie uzyskanych wyników eksperymentu fizycznego lub symulacyjnego przeprowadzić analizę niepewności pomiaru w skali nano

Weryfikacja:

laboratorium

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U08, K\_U13, K\_U06, K\_U07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** III.P7S\_UW.o, P7U\_U, I.P7S\_UW.o

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Charakterystyka NAN\_K01:**

Zna ryzyko związane z szerokim wprowadzeniem wyrobów nanotechnologicznych

Weryfikacja:

egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_K02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_K, I.P7S\_KO, I.P7S\_KR