

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

Rok akademicki 2023/2024

1. PODSTAWOWE INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

Nazwa przedmiotu	Układy i systemy nanoelektroniczne
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

* -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	30								1

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)

Wykład – zaliczenie z oceną

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Student posiada wiedzę z podstaw fizyki klasycznej oraz kwantowej. Posiada wiedzę na temat budowy materii a w szczególności jest zaznajomiony z podstawami fizyki ciała stałego. Rozumie jakie parametry i zjawiska fizyczne odpowiadają za transport nośników ładunku elektrycznego. Student posiada również wiedzę z zakresu podstaw elektroniki: zna charakterystyki i właściwości oraz budowę podstawowych elementów elektronicznych.

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

3.1 Cele przedmiotu

C1	Zdobycie wiedzy na temat wpływu zjawisk fizycznych związanych z wymiarowością i skalą na właściwości elektroniczne układów i systemów nanoelektronicznych.
C2	Zdobycie wiedzy z zakresu doboru materiałów oraz sposobu modelowania ich parametrów w celu uzyskania struktur nanoelektronicznych o pożądanych właściwościach elektrycznych.
C3	Zdobycie umiejętności doboru odpowiednich technik badawczych i pomiarowych w celu charakteryzacji parametrów opto-elektronicznych dla nanostruktur półprzewodnikowych.
C4	Świadomość ciągłego postępu technologicznego i stojącymi za tym wyzwaniami natury technicznej oraz ich wpływem na zdrowie i środowisko na przykładzie technologii materiałowych dla nanostruktur oraz technologii wytwarzania układów elektronicznych w skali nanometrycznej.

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 zna podstawowe zjawiska fizyczne występujące w nanoelektronice i zna ich wpływ na parametry elektryczne nanoukładów takie jak: zjawisk tunelowania, kwantowy efekt Halla, transport balistyczny itp. Na przykładzie oprogramowania nextanno++ student posiada wiedzę o możliwościach obliczeniowych, poszczególnych etapach pracy na przykładzie obliczania energetycznej struktury pasmowej dla wybranych nanostruktur półprzewodnikowych. Posiada wiedzę w jaki sposób modelować parametry elektryczne wybranych nanostruktur oraz interpretować rezultaty obliczeń. Student posiada wiedzę na temat postępującego ograniczenia prawa Moore'a odnośnie do miniaturyzacji oraz szybkości obliczeniowej nanosystemów. Posiada wiedzę na temat możliwych kierunków rozwoju nanoelektroniki oraz poszukiwaniu nowych rozwiązań w zakresie nanomateriałów i nanostruktur o nowych właściwościach.	K_Wo3 K_Wo7 K_Wo8
EK_02	Potrafi dobrać oraz zaplanować i przeprowadzać podstawowe badania i pomiary własności elektronicznych nanostruktur półprzewodnikowych. Potrafi zidentyfikować problemy występujące z poszczególnymi technikami wytwarzania oraz pomiarowymi takimi jak odpowiednia czystość pomieszczeń, wpływ drgań mechanicznych, zakłóceń elektromagnetycznych,	K_Uo5

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

	wpływu szumu na procesy pomiarowe właściwości elektrycznych nanostruktur. Potrafi minimalizować wpływ czynników zakłócających na procesy pomiarowe dla nanostruktur.	
EK_03	Student jest gotów na podnoszenia swoich kwalifikacji w zakresie technik wytwarzania i charakteryzacji układów i systemów nanoelektronicznych, rozumie konieczność ciągłej aktualizacji swojej wiedzy na ten temat. Student jest świadomy aspektu zdrowotnego poszczególnych procesów technologicznych występujących w wytwarzaniu i charakteryzacji układów i systemów nanoelektronicznych jak również ich wpływu na środowisko.	K_Ko1 K_Ko2

3.3 Treści programowe

A. Problematyka wykładu

Treści merytoryczne:
1. Wprowadzenie: skala makro, micro, nano – charakterystyczne wielkości elementów elektronicznych: dyskretnych, układów scalonych, mikroprocesorów i tranzystorów. Prawo Moore'a. 2. Transport elektronowy w nanoskali. Wpływ pola magnetycznego oraz niskich temperatur na zjawiska przewodnictwa w nanoskali. Efekt tunelowy, kwantowy efekt Halla, transport balistyczny, szумы. 3. Dwuwymiarowy gaz elektronowy. Studnie kwantowe, grafen, nanorurki, druty kwantowe, kropki kwantowe – charakterystyka, właściwości elektroniczne. 4. Struktura pasmowa wybranych półprzewodników oraz nanostruktur. Sposoby jej wyznaczania. Efekty topologiczne, fermiony Diraca, stany powierzchniowe/krawędziowe. Modelowanie właściwości elektronicznych materiałów. 5. Komponenty elektroniczne wykorzystujące elementy nanoelektroniki: mikroprocesory wytwarzane w procesie nanometrowym, nanosensory, bramki kwantowe. 6. Czujniki światła podczerwonego oparte o nanostruktury typu QWIP oraz supersieci - charakterystyki oraz metody wytwarzania. 7. Oprogramowanie obliczeniowe stosowane do obliczania właściwości elektronicznych nanostruktur – na przykładzie oprogramowania nextnano++. Możliwości i przykłady zastosowania. 8. Materiały – pierwiastki i związki chemiczne stosowane w wytwarzaniu urządzeń elektronicznych w nanoskali. Materiały stosowane na: podłoża, właściwe struktury półprzewodzące, połączenia metaliczne, izolatory, kontakty elektryczne. 9. Metody wytwarzania elementów urządzeń nanoelektronicznych metodą „Bottom-up” (nanoszenie materiału z wiązek molekularnych, napyłania magnetronowego, nanoszenia elektrolitycznego itp.) – cechy charakterystyczne poszczególnych procesów. 10. Metody wytwarzania elementów urządzeń nanoelektronicznych metodą „Top-down” (nanolitografia, trawienie wiązką jonową itp.) – możliwości technologiczne poszczególnych technik.

11. Metody wytwarzania kontaktów elektrycznych dla nanosystemów i urządzeń nanoelektronicznych. Nanoszenie plazmowe, elektrolityczne. Bondowanie przewodów. Montaż urządzeń w obudowach, stosowane kleje, pasty termiczne.
12. Metody charakteryzacji geometrii kształtu oraz powierzchni urządzeń nanoelektronicznych i nanosystemów: elektronowa mikroskopia skaningowa SEM, skaningowa mikroskopia tunelowa STM, skaningowa mikroskopia sił atomowych FEM, mikroskopia Nomarskiego, profilometria igłowa i optyczna, itp.
13. Metody optyczne charakteryzacji materiałów nanoelektronicznych: spektroskopia UV-VIS_IR, spektroskopia FTIR, spektroskopia Ramana, fotoprzewodnictwo.
14. Metody charakteryzacji właściwości elektronicznych nanourządzeń i nanosystemów: Pomiary charakterystyk I-V, rezystancji różniczkowej, pomiary magnetotransportowe. Charakterystyka urządzeń pomiarowych: nanowoltomierze, pikamperomierze, wzmacniacze lock-in, wzmacniacze trans-impedancyjne, sensory SQUID, skaningowa spektroskopia tunelowa. Sposoby eliminacji szumów i zakłóceń pomiarowych.
15. Zagadnienia związane czystością pomieszczeń laboratoryjnych stosowanych do wytwarzania, processingu, charakteryzacji urządzeń nanoelektronicznych oraz zagrożenia zdrowotne z tym związana oraz sposoby ich eliminacji/minimalizacji: procedury, środki ochrony osobistej itp. Wpływ stosowanych technologii na środowisko.

3.4 Metody dydaktyczne

Wykład: wykład z prezentacją multimedialną.

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, obserwacja w trakcie zajęć	W
EK_02	Kolokwium, obserwacja w trakcie zajęć	W
EK_03	Kolokwium, obserwacja w trakcie zajęć	W

4.2 Warunki zaliczenia przedmiotu (kryteria oceniania)

Aktywność na zajęciach, ocena z kolokwium
dost. (51 - 60)% pkt, +dost. (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)	0
Godziny niekontaktowe – praca własna studenta (przygotowanie do zajęć, egzaminu, napisanie referatu itp.)	0
SUMA GODZIN	30
SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS	1

* 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. M. Wojnicki, *Podstawy nanomateriałów i nanotechnologii Wykład i ćwiczenia laboratoryjne*. Wydawnictwo AGH, 2022.
2. J. Spalek, *Wstęp do fizyki materii skondensowanej*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2020.
3. S. G. Tan and M. B. A. Jalil, Eds., *Introduction to the physics of nanoelectronics*. in Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials. Oxford: Woodhead Pub, 2012.
4. T. T. Heikkilä, *The Physics of Nanoelectronics*. in Oxford Master Series in Physics Ser. Oxford: Oxford University Press, Incorporated, 2013
5. K. E. Drexler, *Nanosystems*. in A Wiley-Interscience publication. New York [u.a.]: Wiley, 1992.

Literatura uzupełniająca:

1. Z. Płochocki, *Świat zera bezwzględnego: Królestwo praw kwantowych*. Wiedza Powszechna, 1966.
2. L. H. Madkour, *Nanoelectronic Materials*. in Advanced Structured Materials Series. Cham: Springer International Publishing AG, 2019.
3. S. Deleonibus, *Intelligent Integrated Systems*, 1st ed. in Pan Stanford Series on Intelligent Nanosystems Ser. Singapore: Jenny Stanford Publishing, 2014.
4. S. Deleonibus, *Integrated Nanodevice and Nanosystem Fabrication*, 1st ed. in Pan Stanford Series on Intelligent Nanosystems Ser. Singapore: Pan Stanford Publishing, 2017.

5. S. Deleonibus, Ed., *Emerging devices for low-power and high-performance nanosystems*. in Pan Stanford series on intelligent nanosystems. Singapore: Pan Stanford Publishing, 2019.
6. S. Deleonibus, Ed., *Convergence of more Moore, more than Moore and beyond Moore*. in Jenny Stanford series on intelligent nanosystems. Singapore: Jenny Stanford Publishing, 2021.

Akceptacja Kierownika Jednostki lub osoby upoważnionej