

**SYLABUS**

DOTYCZY CYKLU KSZTAŁCENIA 2023/24 – 2024/25

(skrajne daty)

Rok akademicki 2024/2025

**1. PODSTAWOWE INFORMACJE O PRZEDMIOCIE**

Nazwa przedmiotu	<b>Wykład monograficzny</b>
Kod przedmiotu*	
Nazwa jednostki prowadzącej kierunek	Kolegium Nauk Przyrodniczych
Nazwa jednostki realizującej przedmiot	Kolegium Nauk Przyrodniczych
Kierunek studiów	Fizyka
Poziom studiów	studia drugiego stopnia, po studiach inż.
Profil	ogólnoakademicki
Forma studiów	studia stacjonarne
Rok i semestr/y studiów	II rok, semestr 3
Rodzaj przedmiotu	przedmiot specjalnościowy: "Odnawialne źródła energii"
Język wykładowy	polski
Koordynator	<b>dr hab. Małgorzata Sznajder, prof. UR</b>
Imię i nazwisko osoby prowadzącej / osób prowadzących	

\* -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.	Projekt	Liczba pkt. ECTS
3	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)**

Zaliczenie bez oceny

**2. WYMAGANIA WSTĘPNE**

Student ma wiedzę z zakresu podstaw fizyki obejmującą elektryczność, magnetyzm i optykę falową. Zna podstawowe zagadnienia z mechaniki kwantowej (niezależne od czasu równanie Schrodingera i jego rozwiązania dla zagadnień jednowymiarowych, zagadnienie cząstki w studni potencjału, efekt tunelowy, oscylator harmoniczny). Ma wiedzę z zakresu podstaw

fizyki ciała stałego obejmującą krystalografię, metody dyfrakcji rentgenowskiej, własności fizyczne metali, półprzewodników i dielektryków, model pasmowy ciał stałych, przejścia optyczne w półprzewodnikach. Zna podstawowe metody fizyczne i chemiczne wytwarzania cienkich warstw (MBE, PLD, CVD, MOCVD).

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

#### 3.1 Cele przedmiotu

C <sub>1</sub>	nabycie przez studenta podstawowej wiedzy na temat roli i znaczenia materiałów azotkowych w elektronice wysokich częstotliwości, temperatur i mocy
C <sub>2</sub>	zaznajomienie z własnościami fizycznymi, mechanicznymi i termicznymi wybranych półprzewodników szerokopasmowych
C <sub>3</sub>	zaznajomienie z podstawowymi metodami hodowania objętościowych kryształów azotkowych
C <sub>4</sub>	zaznajomienie z podstawowymi technikami epitaksjalnymi wytwarzania warstw azotkowych
C <sub>5</sub>	nabycie wiedzy na temat detektorów w zakresie dalekiego ultrafioletu
C <sub>6</sub>	zapoznanie z rozwojem i perspektywami diod LED emitujących w zakresie UV
C <sub>7</sub>	zapoznanie z podstawami teorii funkcjonałów gęstości
C <sub>8</sub>	wykształcenie umiejętności intuicyjnego rozumienia omawianych zjawisk fizycznych i posługiwania się poprawną terminologią fizyczną
C <sub>9</sub>	zdobycie wiedzy umożliwiającej prowadzenie badań naukowych w zakresie wybranych zagadnień fizyki fazy skondensowanej

#### 3.2 Efekty uczenia się dla przedmiotu

EK (efekt uczenia się)	Treść efektu uczenia się zdefiniowanego dla przedmiotu	Odniesienie do efektów kierunkowych <sup>1</sup>
EK_01	Student zna i rozumie w pogłębionym stopniu zagadnienia dotyczące własności fizycznych, mechanicznych i termicznych wybranych półprzewodników szerokopasmowych (SiC, GaN, AlN, BN), znaczenia tych materiałów dla postępu nauk ścisłych i przyrodniczych, w szczególności dla rozwoju elektroniki wysokich częstotliwości, temperatur i mocy oraz dla efektywnego przetwarzania energii.	K_W01
EK_02	Student zna i rozumie techniki doświadczalne, w szczególności wybrane metody wytwarzania objętościowych i epitaksjalnych materiałów azotkowych oraz węgla krzemu: krystalizację w wysokim ciśnieniu,	K_W03

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

	HVPE, amonotermalną, sublimacyjno – kondensacyjną, PVT oraz LPE i CVD	
EK_03	Student zna i rozumie aktualne kierunki rozwoju i najnowsze odkrycia w zakresie fizyki materiałów azotkowych, w szczególności zna sposoby polepszania zewnętrznej wydajności kwantowej i mocy azotkowych diod LED operujących w zakresie DUV	K_Wo6
EK_04	Student zna i rozumie fundamentalne dylematy współczesnego rozwoju fizyki, dotyczące optoelektroniki	K_Wo7
EK_05	Student zna i rozumie uwarunkowania ekonomiczne, prawne i etyczne związane z działalnością naukową fizyka	K_Wo8
EK_06	Student potrafi znajdować niezbędne informacje w literaturze fachowej dostępnej w sieci uczelnianej UR, bazach danych i innych źródłach	K_Uo3
EK_07	Student potrafi przygotować prace pisemne i wystąpienia ustne w języku polskim i języku angielskim na temat roli i znaczenia materiałów azotkowych w elektronice wysokich częstotliwości, temperatur i mocy	K_Uo5
EK_08	Student potrafi komunikować się z odbiorców o różnym stopniu wykształcenia oraz prowadzić debatę przedstawiając i oceniając prezentowane opinie	K_Uo7
EK_09	Student potrafi określić kierunki dalszego samokształcenia pod kątem wiedzy i umiejętności w zakresie nowoczesnych materiałów stosowanych w optoelektronice i mikroelektronice wysokich częstotliwości, temperatur i mocy i jest w stanie wskazuje drogę rozwoju innym studentom	K_Uo9
EK_10	Student jest gotów do systematycznego zapoznawania się z czasopismami naukowymi w zakresie fizyki ciała stałego jak i popularnonaukowymi, w celu poszerzania i pogłębiania wiedzy oraz rozwijania dorobku zawodowego	K_Ko6

### 3.3 Treści programowe

#### A. Problematyka wykładu

Treści merytoryczne
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Półprzewodniki – podstawowe cechy, własności i ich reprezentanci. Struktury pasmowe, materiały prosto- i skośnopasmowe, przejścia optyczne – przypomnienie.</li> <li>2. Rola półprzewodników w elektronice wysokich temperatur, mocy i częstotliwości. Problem efektywnej konwersji energii, odprowadzania ciepła z układów, emisji światła, oświetlenia i detekcji promieniowania elektromagnetycznego. Ograniczenia technologii krzemowej w elektronice (MOSFET, HEMT). Materiały nowej generacji SiC, GaN, AlN, InN, BN dla urządzeń wysokich mocy, częstotliwości i temperatur. Aspekty ekonomiczne i środowiskowe efektywnego przetwarzania energii.</li> </ol>

3. Struktura i politypy SiC (3C-SiC, 2H-SiC, 4H-SiC, 6H-SiC, 15R-SiC). Notacja Ramsdella. Struktura wycytu, własności fizyczne węgla krzemu. Stabilność termiczna politypów SiC. Podstawowe metody wzrostu objętościowych kryształów SiC: PVT, CVD. Efekt polarności zarodka na wzrost preferowanego politypu. Homepitaksja na stopniach metodą CVD.
4. Struktura i politypizm azotku galu GaN, własności fizyczne, przyczyny wbudowanego makroskopowego pola elektrycznego. Wzrost GaN na podłożu i związane z nim problemy; wczesne próby wzrostu – wzrost heteroepitaksjalny MBE na podłożu szafirowym z warstwami buforowymi. Niedopasowanie sieciowe. Najważniejsze metody wzrostu GaN: krystalizacja w wysokim ciśnieniu, HVPE, amonothermalna, PA-MBE, MOCVD – wady i zalety. Domieszkowanie, defekty. Nagroda Nobla z fizyki z 2014r. *"for the invention of efficient blue light-emitting diodes which has enabled bright and energy-saving white light sources"*. Uwarunkowania prawne i etyczne działalności naukowej fizyków na przykładzie losów polskiej spółki Ammono.
5. Struktura krystaliczna, właściwości AlN. Metody wytwarzania objętościowych kryształów AlN: metoda sublimacyjno-kondensacyjna z zarodkiem, PVT, HVPE. Wpływ formacji międzypowierzchni na jakość strukturalną AlN w metodzie sublimacyjnej. Wzrost epitaksjalny warstw AlN na podłożu szafirowym z warstwą buforową AlN (metoda LPE). Rozszerzone niedopasowanie sieciowe.
5. Azotki jako fotodetektory dalekiego ultrafioletu (DUV). Struktura epitaksjalnej diody elektroluminescencyjnej. Detektory UV z azotku galu – zastosowania, AlN-SiC jako fotodetektor DUV w oparciu o hybrydową barierę Schottkiego. Parametry fotodetektora.
6. Rozwój i przyszłość diod LED emitujących w zakresie UV. Struktura chipu UV-LED (GaN-LED). Inne azotki dla urządzeń DUV. Struktura emitera DUV ze studniami kwantowymi  $Al_xGa_{1-x}N$ . Nowe podejścia dla polepszenia zewnętrznej wydajności kwantowej EQE oraz mocy P emitera. Problem niskiego przewodnictwa warstwy p- $Al_xGa_{1-x}N$ . Koncepcja emitera DUV w oparciu o heksagonalny azotek boru hBN. Heterostruktura p-hBN/n- $Al_xGa_{1-x}N$  na podłożu  $Al_2O_3$ . Schemat struktury emitera DUV z warstwą hBN, parametry diody LED DUV. Własności fizyczne, politypizm, synteza i inne zastosowanie azotku boru.
7. Część teoretyczna wykładu: a) Wybrane metody obliczeń struktur pasmowych. b) DFT: teoria funkcjonałów gęstości – zastosowanie do modelowania wzrostu warstw.

### 3.4 Metody dydaktyczne

Wykład z prezentacją multimedialną, dyskusja.

## 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	obserwacja w trakcie zajęć, dyskusja	wykład

EK_02	obserwacja w trakcie zajęć, dyskusja	wykład
EK_03	obserwacja w trakcie zajęć, dyskusja	wykład
EK_04	obserwacja w trakcie zajęć, dyskusja	wykład
EK_05	obserwacja w trakcie zajęć, dyskusja	wykład
EK_06	obserwacja w trakcie zajęć, dyskusja	wykład
EK_07	dyskusja, praca pisemna	wykład
EK_08	obserwacja w trakcie zajęć, dyskusja	wykład
EK_09	dyskusja	wykład
EK_10	obserwacja w trakcie zajęć, dyskusja	wykład

#### 4.2 Warunki zaliczenia przedmiotu (kryteria oceniania)

Zaliczenie uzyskiwane jest na podstawie obecności na zajęciach, aktywnego uczestnictwa w dyskusji oraz sporządzenia pracy pisemnej z wybranego zagadnienia omawianego podczas wykładów. Wykład monograficzny I zaliczany jest bez oceny (zal.).

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

Forma aktywności	Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności
Godziny z harmonogramu studiów	15
Inne z udziałem nauczyciela akademickiego (udział w konsultacjach, egzaminie)	2
Godziny niekontaktowe – praca własna studenta (przygotowanie do zajęć, egzaminu, napisanie referatu itp.)	33
SUMA GODZIN	50
<b>SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS</b>	<b>2</b>

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

#### 6. PRAKTYKI ZAWODOWE W RAMACH PRZEDMIOTU

wymiar godzinowy	n.d.
zasady i formy odbywania praktyk	n.d.

#### 7. LITERATURA

Literatura podstawowa:

1. Andrzej Oleś, Metody doświadczalne fizyki ciała stałego, Warszawa, WNT, 1998
2. Hans Lüth, H. Ibach, Fizyka ciała stałego, PWN, Warszawa, 1996

Literatura uzupełniająca:

Artykuły w wybranych czasopismach naukowych dostępnych w sieci uczelnianej Uniwersytetu Rzeszowskiego za pośrednictwem Biblioteki UR:

1. B Jayant Baliga, *Gallium nitride devices for power electronic applications* Semicond. Sci. Technol. **28** (2013) 074011 (8pp)
2. Srabanti Chowdhury, Brian L Swenson, Man Hoi Wong and Umesh K Mishra, *Current status and scope of gallium nitride-based vertical transistors for high-power electronics application*, Semicond. Sci. Technol. **28** (2013) 074014
3. F. Bechstedt, P. Kaeckell, A. Zywietz, K. Karch, B. Adolph, K. Tenelsen, and J. Furthmueller, *Polytypism and Properties of Silicon Carbide*, Physica Status Solidi B, **202**, 35 (1997).
4. G. Augustine, H. McD. Hobgood, V. Balakrishna, G. Dunne, and R. H. Hopkins, *Physical Vapor Transport Growth and Properties of SiC Monocrystals of 4H Polytype*, Physica Status Solidi B, **202**, 137 (1997)
5. T. Kimoto, A. Itoh, and H. Matsunami, *Step-Controlled Epitaxial Growth of High-Quality SiC Layers*, Physica Status Solidi B, **202**, 247 (1997)
6. P. Kung and M. Razghi, *III-Nitride wide bandgap semiconductors: a survey of a current status of the material and device technology*, Opto-Electronics Review, **8**, 201-239 (2000)
7. R. Dwiliński, R. Doradziński, J. Garczyński et al., *Excellent crystallinity of truly bulk ammonothermal GaN*, Journal of Crystal Growth **310** (2008) 3911– 3916
8. Dirk Ehrentraut, Yuji Kagamitani, Tsuguo Fukuda et al., *Reviewing recent developments in the acid ammonothermal crystal growth of gallium nitride*, Journal of Crystal Growth **310** (2008) 3902– 3906
9. Mariusz RUDZIŃSKI, Marek WESOŁOWSKI, Włodzimierz STRUPIŃSKI, *Niebieskie, zielone i białe emitory światła wytwarzane z półprzewodników A<sup>III</sup>-B<sup>N</sup>*, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 90 NR 7/2014
10. Hiroyuki Fukuyama and Shin-ya Kusunoki, Akira Hakomori, Kenji Hiraga, *Single crystalline aluminum nitride films fabricated by nitriding  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS **100**, 024905 (2006)
11. Hiroyuki Kamata, Yuu Ishii, Toshiaki Mabuchi, Kunihiro Naoe et al., *Single Crystal Growth of Aluminum Nitride*, Fujikura Technical Review, p. 41-45, 2009 ([http://www.fujikura.co.jp/eng/rd/gihou/backnumber/pages/\\_icsFiles/afieldfile/2009/06/04/38e\\_09.pdf](http://www.fujikura.co.jp/eng/rd/gihou/backnumber/pages/_icsFiles/afieldfile/2009/06/04/38e_09.pdf))
12. D. Zhuang, Z.G. Herro, R. Schlessler, Z. Sitar, *Seeded growth of AlN single crystals by physical vapor transport*, Journal of Crystal Growth **287** (2006) 372–375
13. M. Leszczynski, H. Teisseyre, T. Suski, I. Grzegory, M. Bockowski, J. Jun, S. Porowski, K. Pakula, J. M. Baranowski, C. T. Foxon, T.S. Cheng, *Lattice parameters of gallium nitride*, Appl. Phys. Lett. **69**(1) (1996), 73-75

14. Journal of Crystal Growth Volume **310**, Issue 17, Pages 3901-4026 (15 August 2008): Special issue IWBNS-5, International Workshop on Bulk Nitride Semiconductors V (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00220248/310/17>)
15. Adachi Masayoshi; Maeda Kazuo; Tanaka Akikazu et al., *Homoepitaxial growth of AlN on nitrated sapphire by LPE method using Ga-Al binary solution*, Phys. Status Solidi A **208**, No. 7, 1494–1497 (2011)
16. R. Dahal, T. M. Al Tahtamouni, Z. Y. Fan et al., *Hybrid AlN–SiC deep ultraviolet Schottky barrier photodetectors*, Appl. Phys. Lett. **90**, 263505 (2007)
17. Yoshihiko Muramoto, Masahiro Kimura and Suguru Nouda, *Development and future of ultraviolet light-emitting diodes: UV-LED will replace the UV lamp*, Semiconductor Science and Technology, **29**, 084004 (2014) (<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0268-1242/29/8/084004/meta>)
18. H X Jiang and J Y Lin, *Hexagonal boron nitride for deep ultraviolet photonic devices*, Semicond. Sci. Technol. **29**, 084003 (2014)
19. Wykład noblowski Shuji Nakamury z 2014r: ([https://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2014/nakamura-lecture.pdf](https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/nakamura-lecture.pdf))
20. M. Sznajder, E. Wachowicz, and J.A. Majewski, *Ab initio studies of early stages of nitride growth process on silicon carbide* - Journal of Crystal Growth, **401**, 25-29 (2014).
21. M. Grabowski, M. Sznajder, J.A. Majewski, *Morphology and Stability of the C/BN Interfaces: Ab Initio Studies*, Acta Phys. Pol. **129**, A138-A141 (2016).

Akceptacja Kierownika Jednostki lub osoby upoważnionej