

SYLABUS**DOTYCZY CYKLU KSZTAŁCENIA 2020/21 – 2021/22***(skrajne daty)*

Rok akademicki 2021/2022

1. PODSTAWOWE INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

Nazwa przedmiotu	Wykład monograficzny
Kod przedmiotu*	
Nazwa jednostki prowadzącej kierunek	Kolegium Nauk Przyrodniczych
Nazwa jednostki realizującej przedmiot	Kolegium Nauk Przyrodniczych / Instytut Nauk Fizycznych
Kierunek studiów	Fizyka
Poziom studiów	Studia drugiego stopnia, po studiach inż.
Profil	Ogólnoakademicki
Forma studiów	studia stacjonarne
Rok i semestr/y studiów	Rok II, semestr 3
Rodzaj przedmiotu	Przedmiot specjalnościowy: Fizyka laserów i optoelektronika
Język wykładowy	Polski
Koordinator	dr hab. Małgorzata Sznajder, prof. UR
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	30								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 ₁	nabycie przez studenta podstawowej wiedzy na temat roli i znaczenia materiałów azotkowych w elektronice wysokich częstotliwości, temperatur i mocy
C ₂	zaznajomienie z własnościami fizycznymi, mechanicznymi i termicznymi wybranych półprzewodników szerokopasmowych
C ₃	zaznajomienie z podstawowymi metodami hodowania objętościowych kryształów azotkowych
C ₄	zaznajomienie z podstawowymi technikami epitaksjalnymi wytwarzania warstw azotkowych
C ₅	nabycie wiedzy na temat detektorów w zakresie dalekiego ultrafioletu
C ₆	zapoznanie z rozwojem i perspektywami diod LED emitujących w zakresie UV
C ₇	zapoznanie z podstawami teorii funkcjonałów gęstości
C ₈	wykształcenie umiejętności intuicyjnego rozumienia omawianych zjawisk fizycznych i posługiwania się poprawną terminologią fizyczną
C ₉	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 ¹
EK_01	absolwent 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	absolwent zna i rozumie techniki doświadczalne, w szczególności wybrane metody wytwarzania objętościowych i epitaksjalnych materiałów azotkowych oraz węgla krzemu: krystalizację w wysokim ciśnieniu,	K_W03

¹ 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_o3	absolwent 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_o4	absolwent zna i rozumie fundamentalne dylematy współczesnego rozwoju fizyki, dotyczące optoelektroniki	K_Wo7
EK_o5	absolwent zna i rozumie uwarunkowania ekonomiczne, prawne i etyczne związane z działalnością naukową fizyka	K_Wo8
EK_o6	absolwent potrafi znajdować niezbędne informacje w literaturze fachowej dostępnej w sieci uczelnianej UR, bazach danych i innych źródłach	K_Uo3
EK_o7	absolwent 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_o8	absolwent potrafi komunikować się z odbiorcami o różnym stopniu wykształcenia oraz prowadzić debatę przedstawiając i oceniając prezentowane opinie	K_Uo7
EK_o9	absolwent 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 wskazać drogę rozwoju innym studentom	K_Uo9
EK_10	absolwent 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
1. Półprzewodniki – podstawowe cechy, własności i ich reprezentanci. Struktury pasmowe, materiały prosto- i skośnopasmowe, przejścia optyczne – przypomnienie. 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.

3. Struktura i politypy SiC (3C-SiC, 2H-SiC, 4H-SiC, 6H-SiC, 15R-SiC). Notacja Ramsdella. Struktura wurcytu, 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, amonotermalna, 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 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$. Nowe podejścia dla polepszenia zewnętrznej wydajności kwantowej EQE oraz mocy P emitera. Problem niskiego przewodnictwa warstwy p- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$. Koncepcja emitera DUV w oparciu o heksagonalny azotek boru hBN. Heterostruktura p-hBN/n- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 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	Forma zajęć dydaktycznych
---------------	----------------------------------	---------------------------

	(np.: kolokwium, egzamin ustny, egzamin pisemny, projekt, sprawozdanie, obserwacja w trakcie zajęć)	(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, praca własna
EK_08	obserwacja w trakcie zajęć, dyskusja	wykład
EK_09	dyskusja	wykład
EK_10	obserwacja w trakcie zajęć, dyskusja	wykład, praca własna

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.).

W przypadku prowadzenia zajęć w formie zdalnej/hybrydowej, warunki zaliczenia przedmiotu mogą ulec zmianie. W takim przypadku studenci zostaną poinformowani zarówno o fakcie zmiany formy zaliczenia jak i dokładnych warunkach zaliczenia przedmiotu tuż po rozpoczęciu zajęć w formie zdalnej/hybrydowej.

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)	1
Godziny niekontaktowe – praca własna studenta (przygotowanie do zajęć, egzaminu, napisanie referatu itp.)	20
SUMA GODZIN	51
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	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. Furthmüller, *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 emiterzy światła wytwarzane z półprzewodników A^{III}-B^N*, PRZEGŁĄD 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 α -Al₂O₃*, 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/qihou/backnumber/pages/_icsFiles/afieldfile/2009/06/04/38e_09.pdf)
12. D. Zhuang, Z.G. Herro, R. Schlessner, 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 nitrided 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)
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