



ТЕХНОЛОГІЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР

Викладач: доктор технічних наук, професор, Критська Тетяна Володимирівна

Кафедра: кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення, 11 корпус, ауд. 509

E-mail: krytskaja2017@gmail.com

Телефон: (061) 227-14-33

Інші засоби зв'язку: Система електронного забезпечення навчання ЗНУ (СЕЗН ЗНУ (Moodle))
(підсистема повідомлень)

Освітня програма, рівень вищої освіти	Електроніка, бакалавр						
Статус дисципліни	Вибіркова						
Кредити ECTS	3	Навч.рік	2023 – 2024	Рік навчання	4	Тижні	7
Кількість годин	90	Кількість змістових модулів	4		Лекційні заняття–14 Лабораторні заняття-14 Самостійна робота–62		
Вид контролю	екзамен						
Посилання на курсу в Moodle	https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13452						
Консультації:	особисті: що четверга, 13.00 - 14.00; дистанційні – система повідомлень Moodle - постійно, Zoom: 892 097 4118, 12345, за попередньою домовленістю чи ел. поштою						

ОПИС КУРСУ

У сьогоднішній час неможливо уявити сучасну фізику твердого тіла, електронні пристрої без гетероструктур. Напівпровідникові гетероструктури, особливо подвійні гетероструктури, квантові ями, нитки, точки вивчає більш ніж 2/3 дослідницьких груп у світовій фізиці напівпровідників. Гетероструктури дозволяють вирішити проблему управління фундаментальними параметрами напівпровідникових кристалів: шириною забороненої зони, ефективними масами носіїв, рухливістю, показниками заломлення, електронним енергетичним спектром та інш.

У дисципліні «Технологія гетероструктур» викладаються основні фізичні поняття щодо матеріалів, з яких складаються гетероструктури, поняття про побудову їх кристалічної структури, сумісність ґраток, поняття гетеропереходів, їх типи, процедури формування на прикладах Ge - Si, GaAlAs - GaAs, GaAs - Ge, InGaAs - InP. Розглянуто основні модельні уявлення про існування потенціальних бар'єрів між шарами переходів та принципи управління інжекцією носіїв заряду, а також продемонстровано різницю з гомопереходами, де головну роль грає різниця у концентраціях домішок. Технологічні підходи щодо одержання гетеропереходів розглянуто з використанням сучасних уявлень про організацію виробничих приміщень, обладнання, що використовується, техніки безпеки під час роботи зі шкідливими та небезпечними речовинами. У лекційному курсі також розглядаються численні приклади гетероструктурних приладів (оптоелектронні, сенсорні, фотоенергетичні), способи їх одержання (на базі технологій мікро- та наноелектроніки) та приклади використання

1 змістовий модуль = 15 годин (0,5 кредита ECTS). Детальна формула розрахунку – в рекомендаціях.



- *Метою дисципліни* «Технологія гетероструктур» є формування у студентів комплексу знань і уявлень о типах твердотілих гетероструктур, технології їх виготовлення та застосування у приладах фотовольтаїки, нано- і оптоелектроніки.
- *Завданням дисципліни* є формування комплексу знань щодо існуючих типів квантоворозмірних структур, технологій одержання напівпровідникових гетеропереходів, та їх основних етапів (синтез, молекулярно-промінева, газофазна епітаксія, нанолітографія).

ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки з гетероструктурами, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування.

У разі успішного завершення курсу студент зможе

- Створювати технології, що зможуть змінювати матерію на рівні окремих атомів чи молекул.
- Вирішувати низку проблем, що неможливо вирішити традиційними технологічними рішеннями.
- Розв'язувати задачі, що існують при виборі потрібної технології
- Розробляти та виготовляти наноелектронні схеми з активними елементами, розміри яких близькі до розмірів окремих атомів.
- Розробляти та виготовляти наномашини (нанороботи).
- Модифікувати та створювати нові матеріали, здатні задовольнити нові вимоги до приладів.
- Проводити статистичну обробку інформації щодо поточної працездатності, порушень умов експлуатації, що призвели до збою, деградації параметрів.-

ОСНОВНІ НАВЧАЛЬНІ РЕСУРСИ

- Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури / Д. М. Заячук. – Львів : Львів. політехніка, 2009. – 581 с.
- Ковтунг П. Наноматеріали: технології та матеріалознавство : огляд / П. Ковтунг, А. А. Верьовкін. – Харків : ННЦ ХФТІ, 2010. – 73 с.
- Пазуха І. М. Фізичні властивості плівкових матеріалів мікро – і наноелектроніки : навч. посіб : у 2 ч. / І. М. Пазуха. – Суми : Сум. держ. ун-т, 2014. – Ч. 1. – 230 с. ; Ч. 2. – 212 с.
- Поплавко Ю. М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка : навч. посіб / Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, Ю. І. Якименко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
- Радіофізичні методи діагностики матеріалів і середовищ : підручник / Г. С. Воробійов, Г. О. Пономарьова, О. О. Рибалко [та ін.]. – Суми : Сум. держ. ун-т, 2014. – 222 с.
- Щука А. А. Нанозлектроніка : учеб. посіб. / А. А. Щука ; под ред. А. С. Сигова. – 3-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 345 с.
- Фесенко О. М., Ковальчук С. В., Нищик Р. А. Проблеми та перспективи розвитку нанотехнологій в Україні та світі // Маркетинг і менеджмент інновацій. 2017. № 1. [Google Scholar](#)

КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ

Поточні контрольні заходи (тах 60 балів):

Поточний контроль передбачає теоретичний контроль за темами робочої програми - усне опитування, відповіді на питання, що засвідчують теоретичний рівень засвоєння матеріалу студентами.

Захист лабораторних робіт - відповіді на контрольні запитання, що наводяться в методичних вказівках до виконання лабораторних робіт. Звіт з лабораторної роботи оформлюється



згідно до вимог. Оцінка за роботу складається з таких складових: вірно виконана робота з обґрунтованим висновком – 6 балів; складання звіту – 1 бал; вірні відповіді на контрольних запитання викладача – від 1 до 3 балів. Максимальний бал за захищену роботу – 8 балів.

Підсумкові контрольні заходи (max 40 балів):

Теоретичний підсумковий контроль – тест на платформі Moodle (max 30 балів).

Екзамен – теоретичне опитування (max 10 балів).

Контрольний захід		Термін виконання	% від загальної оцінки
Поточний контроль(max60%)			
Змістовий модуль 1 (розділ 1)	Тест 1 на платформі Moodle Вид теоретичного завдання: опитування	Тиждень 1	9
Змістовий модуль 2 (розділ 2)	Тест 2 на платформі Moodle Вид теоретичного завдання: опитування	Тиждень 2	9
	Лабораторна робота №1 Визначення енергії активації заліковування дефектів кристалічної будови тонких металевих плівок	Тиждень 3	8
Змістовий модуль 3 (розділ 3)	Тест 3 на платформі Moodle Вид теоретичного завдання: опитування	Тиждень 5	9
	Лабораторна робота №2 Спостереження критичної температури конденсації у плівках легкоплавких металів	Тиждень 6	8
Змістовий модуль 4(розділ 4)	Тест 4 на платформі Moodle Вид теоретичного завдання: опитування	Тиждень 6	9
	Лабораторна робота №3 Розмірний ефект в електропровідності тонких металевих плівок (теорія Фукса- Зондгеймера)	Тиждень 6	8
Підсумковий контроль(max40%)		Тиждень 7	
Екзамен			10%
Тест на платформі Moodle			30%
Разом			100%

Шкала оцінювання: національна та ECTS

За шкалою ECTS	За шкалою університету	За національною шкалою	
		Екзамен	Залік
A	90 – 100 (відмінно)	5 (відмінно)	Зараховано
B	85 – 89 (дуже добре)	4 (добре)	
C	75 – 84 (добре)		
D	70 – 74 (задовільно)	3 (задовільно)	
E	60 – 69 (достатньо)		
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)	Не зараховано
F	1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)		



РОЗКЛАД КУРСУ ЗА ТЕМАМИ І КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Тиждень і вид заняття	Тема змістового модулю	Контрольний захід	Кількість балів
Змістовий модуль 1			
Тиждень 1 Лекція 1	Хронологія розвитку нанонауки, нанотехнології, нановиробництва. Етапи дослідження гетероструктур. Междисциплінарний характер нанотехнологій.	Тестування	10
Тиждень 2 Лекція 2	Енергетичні рівні та зони. Власна електропровідність напівпровідників. Розподіл електронів по енергетичним рівням. Електричні переходи (МЕ-НП; НП-НП; гетероперехід). Властивості переходів. Види пробоїв р-п переходів	Тестування	10
Тиждень 3 Лабораторна робота №1	Визначення енергії активації заліковування дефектів кристалічної будови тонких металевих плівок	Перевірка звіту	5
Змістовий модуль 2			
Тижні 3, 4 Лекція 3	Методи формування гетероструктур. CVD. Молекулярно-промінева (пучкова) епітаксія. Імпринт-літографія (нанодруківана літографія). Формування квантових точок завдяки самоорганізації шляхом епітаксії.	Тестування	10
Змістовий модуль 3			
Тиждень 5 Лабораторна робота №2	Спостереження критичної температури конденсації у плівках легкоплавких металів	Перевірка звіту	5
Тиждень 5 Лекції 4, 5	Методи утворення, контролю, дослідження гетероструктур. Скануюча тунельна мікроскопія (СТМ). Рентгено-структурний аналіз (РСА). Мас-спектрометрія. ІЧ- та раманівська екстраскопія. ЕПР. ЯМР.с	Тестування	10
Змістовий модуль 4			
Тиждень 6 Лекції 6-7	Прилади використання гетероструктур в електроніці. Лазери. Світлодіоди. Фотоелектричні перетворювачі наземного та космічного використання. Сенсори. Оптичні волокна. Фотонні кристали.	Тестування	5
Тиждень 6 Лабораторна робота №3	Розмірний ефект в електропровідності тонких металевих плівок (теорія Фукса-	Перевірка звіту	5



Тиждень і вид заняття	Тема змістового модулю	Контрольний захід	Кількість балів
	Зондгеймера)		
Тиждень 7		Екзамен	10
Тест на платформі Moodle			30
Усього			100

ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА

1. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури / Д. М. Заячук. – Львів : Львів. політехніка, 2009. – 581 с.
2. Ковтунг П. Наноматеріали: технології та матеріалознавство : огляд / П. Ковтунг, А. А. Верьовкін. – Харків : ННЦ ХФТІ, 2010. – 73 с.
3. Пазуха І. М. Фізичні властивості плівкових матеріалів мікро – і наноелектроніки : навч. посіб : у 2 ч. / І. М. Пазуха. – Суми : Сум. держ. ун-т, 2014. – Ч. 1. – 230 с. ; Ч. 2. – 212 с.
4. Поплавко Ю. М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка : навч. посіб / Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, Ю. І. Якименко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
5. Радіофізичні методи діагностики матеріалів і середовищ : підручник / Г. С. Воробйов, Г. О. Пономарьова, О. О. Рибалко [та ін.]. – Суми : Сум. держ. ун-т, 2014. – 222 с.
6. Щука А. А. Наноэлектроника : учеб. пособ. / А. А. Щука ; под ред. А. С. Сигова. – 3-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 345 с.
7. Фесенко О. М., Ковальчук С. В., Нищик Р. А. Проблеми та перспективи розвитку нанотехнологій в Україні та світі // Маркетинг і менеджмент інновацій. 2017. № 1. [Google Scholar](#)

Матеріали, розміщені на платформі Moodle: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13452>



РЕГУЛЯЦІЯ І ПОЛІТИКИ КУРСУ¹

Відвідування занять. Регуляція пропусків.

Вивчення курсу передбачає обов'язкове відвідування лабораторних та практичних занять. Студенти, які за певних обставин не можуть відвідувати заняття регулярно, мусять впродовж тижня узгодити із викладачем графік індивідуального відпрацювання пропущених занять. Окремі пропущені завдання мають бути відпрацьовані на найближчій консультації впродовж тижня після пропуску. Відпрацювання занять здійснюється аудиторно з відпрацюванням на лабораторному обладнанні, або, в окремих випадках, за допомогою виконання завдань через систему електронного навчання Moodle. Студенти, які станом на початок екзаменаційної сесії мають понад 70% невідпрацьованих пропущених занять, до відпрацювання не допускаються.

Політика академічної доброчесності

Індивідуальні завдання, що виконуються студентами під час проходження курсу, перевіряються на наявність плагіату. Відповідно до чинних правових норм, плагіатом вважатиметься: копіювання чужої наукової роботи чи декількох робіт та оприлюднення результату під своїм іменем; створення суміші власного та запозиченого тексту без належного цитування джерел; рерайт (перепарафразування чужої праці без згадування оригінального автора). Будь-яка ідея, думка чи речення, ілюстрація чи фото, яке ви запозичуєте, має супроводжуватися посиланням на першоджерело. Роботи, у яких виявлено ознаки плагіату, до розгляду не приймаються і відхиляються без права перескладання. Якщо ви не впевнені, чи підпадають зроблені вами запозичення під визначення плагіату, будь ласка, проконсультуйтеся з викладачем.

Висока академічна культура та європейські стандарти якості освіти, яких дотримуються у ЗНУ, вимагають від дослідників відповідального ставлення до вибору джерел. Посилання на такі ресурси, як Wikipedia, бази даних рефератів та письмових робіт (Studopedia.org та подібні) є неприпустимим. Рекомендовані бази даних для пошуку джерел:

Електронні ресурси Національної бібліотеки ім. Вернадського: <http://www.nbuv.gov.ua>

Цифрова повнотекстова база даних англомовної наукової періодики JSTOR: <https://www.jstor.org/>

Використання комп'ютерів/телефонів на занятті

Використання мобільних телефонів, планшетів та інших гаджетів під час лекційних занять забороняється. Будь ласка, не забувайте активувати режим «без звуку» на мобільних телефонах до початку заняття. При виконанні практичних робіт дозволяється використовувати техніку у навчальних цілях (для виконання розрахунків, побудови графіків, моделювання, тощо). Під час виконання заходів контролю (письмових контрольних робіт, іспиту) використання гаджетів заборонено. У разі порушення цієї заборони роботу буде анульовано без права перескладання.

Комунікація

Базовою платформою для комунікації викладача зі студентами є Moodle. Важливі повідомлення загального характеру – зокрема, оголошення про терміни проведення контрольних робіт, коди доступу до сесій у Zoom та ін. – регулярно розміщуються викладачем на форумі курсу та в групах Viber. Для персональних запитів використовується сервіс приватних повідомлень та електронна пошта krytsraja2017@gmail.com. У листі обов'язково вкажіть ваше прізвище та ім'я, курс та шифр академічної групи. Відповіді на запити

¹Тут зазначається все, що важливо для курсу: наприклад, умови допуску до лабораторій, реактивів тощо. Викладач сам вирішує, що треба знати студенту для успішного проходження курсу!



студентів подаються викладачем впродовж трьох робочих днів. Для оперативного отримання повідомлень про оцінки та нову інформацію, розміщену на сторінці курсу у Moodle, будь ласка, переконайтеся, що адреса електронної пошти, зазначена у вашому профайлі на Moodle, є актуальною, та регулярно перевіряйте папку «Спам».

ДАТОК ДО СИЛАБУСУ ЗНУ – 2023-2024 рр.

ГРАФІК НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ 2020-2021 н. р. (посилання на сторінку сайту ЗНУ)

АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ. Студенти і викладачі Запорізького національного університету несуть персональну відповідальність за дотримання принципів академічної доброчесності, затверджених **Кодексом академічної доброчесності ЗНУ**: <https://tinyurl.com/ya6yk4ad>. Декларація академічної доброчесності здобувача вищої освіти (додається в обов'язковому порядку до письмових кваліфікаційних робіт, виконаних здобувачем, та засвідчується особистим підписом): <https://tinyurl.com/y6wzzlu3>.

НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОСВІТИ. Перевірка набутих студентами знань, навичок та вмінь (атестації, заліки, іспити та інші форми контролю) є невід'ємною складовою системи забезпечення якості освіти і проводиться відповідно до *Положення про організацію та методичку проведення поточного та підсумкового семестрового контролю навчання студентів ЗНУ*: <https://tinyurl.com/y9tve4lk>.

ПОВТОРНЕ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІН, ВІДРАХУВАННЯ. Наявність академічної заборгованості до 6 навчальних дисциплін (в тому числі проходження практики чи виконання курсової роботи) за результатами однієї екзаменаційної сесії є підставою для надання студенту права на повторне вивчення зазначених навчальних дисциплін. Порядок повторного вивчення визначається *Положенням про порядок повторного вивчення навчальних дисциплін та повторного навчання у ЗНУ*: <https://tinyurl.com/y9pkmmp5>. Підстави та процедури відрахування студентів, у тому числі за невиконання навчального плану, регламентуються *Положенням про порядок переведення, відрахування та поновлення студентів у ЗНУ*: <https://tinyurl.com/ycds57la>.

НЕФОРМАЛЬНА ОСВІТА. Порядок зарахування результатів навчання, підтверджених сертифікатами, свідоцтвами, іншими документами, здобутими поза основним місцем навчання, регулюється *Положенням про порядок визнання результатів навчання, отриманих у неформальній освіті*: <https://tinyurl.com/y8gbt4xs>.

ВИРІШЕННЯ КОНФЛІКТІВ. Порядок і процедури врегулювання конфліктів, пов'язаних із корупційними діями, зіткненням інтересів, різними формами дискримінації, сексуальними домаганнями, міжособистісними стосунками та іншими ситуаціями, що можуть виникнути під час навчання, регламентуються *Положенням про порядок і процедури вирішення конфліктних ситуацій у ЗНУ*: <https://tinyurl.com/ycyfw9y>. Конфліктні ситуації, що виникають у сфері стипендіального забезпечення здобувачів вищої освіти, вирішуються стипендіальними комісіями факультетів, коледжів та університету в межах їх повноважень, відповідно до: *Положення про порядок призначення і виплати академічних стипендій у ЗНУ*: <https://tinyurl.com/yd6bq6p9>; *Положення про призначення та виплату соціальних стипендій у ЗНУ*: <https://tinyurl.com/y9r5dpwh>.

ПСИХОЛОГІЧНА ДОПОМОГА. Телефон довіри практичного психолога (061)228-15-84 (щоденно з 9 до 21).

ЗАПОБІГАННЯ КОРУПЦІЇ. Уповноважена особа з питань запобігання та виявлення корупції (Воронков В. В., 1 корп., 29 каб., тел. +38 (061) 289-14-18).

РІВНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ІНКЛЮЗИВНЕ ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ. Центральні входи усіх навчальних корпусів ЗНУ обладнані пандусами для забезпечення доступу осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення. Допомога для здійснення входу у разі потреби надається черговими охоронцями навчальних корпусів. Якщо вам потрібна спеціалізована допомога, будь-ласка, зателефонуйте (061) 228-75-11 (начальник охорони). Порядок супроводу (надання допомоги) осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення у ЗНУ: <https://tinyurl.com/ydhcsagx>.

РЕСУРСИ ДЛЯ НАВЧАННЯ. Наукова бібліотека: <http://library.znu.edu.ua>. Графік роботи абонементів: понеділок – п'ятниця з 08.00 до 17.00; субота з 09.00 до 15.00.

ЕЛЕКТРОННЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАННЯ (MOODLE): <https://moodle.znu.edu.ua>
Якщо забули пароль/логін, направте листа з темою «Забув пароль/логін» за адресами:

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потєбні
Силабус навчальної дисципліни



-
- для студентів ЗНУ - moodle.znu@gmail.com, Савченко Тетяна Володимирівна
 - для студентів Інженерного інституту ЗНУ - alexvask54@gmail.com, Василенко Олексій Володимирович
- У листі вкажіть: прізвище, ім'я, по-батькові українською мовою; шифр групи; електронну адресу.
Якщо ви вказували електронну адресу в профілі системи Moodle ЗНУ, то використовуйте посилання для відновлення паролю <https://moodle.znu.edu.ua/mod/page/view.php?id=133015>.

Центр інтенсивного вивчення іноземних мов: <http://sites.znu.edu.ua/child-advance/>

Центр німецької мови, партнер Гете-інституту: <https://www.znu.edu.ua/ukr/edu/ocznu/nim>

Школа Конфуція (вивчення китайської мови): <http://sites.znu.edu.ua/confucius>