

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра Фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи



20 21 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Фізика нанорозмірних систем

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування
(шифр і назва)

спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва)

освітня програма Фізична та біомедична електроніка
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни обов'язкова
(обов'язкова / за вибором)

факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою факультету Радіофізики, біомедичної електроніки і комп'ютерних систем


“ 22 ” січня 2021 року, протокол № 1

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Боцула Олег Вікторович, к.ф.-м. н., доцент кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій

Програму схвалено на засіданні кафедри Фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій

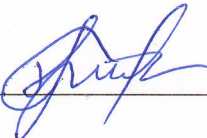
Протокол від “ 19 ” січня 2021 року № 11

Завідувач кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій


Сергій БЕРДНИК

Програму погоджено з гарантом про сесійно – освітньої програми “Фізична та біомедична електроніка”

Гарант професійно – освітньої програми “Фізична та біомедична електроніка”


Микола МУСТЕЦОВ

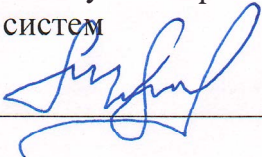
Програму погоджено методичною комісією

Радіофізики, біомедичної електроніки і комп'ютерних систем

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 20 ” січня 2021 року року № 1

Голова методичної комісії факультету Радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем


Леонід ЧОРНОГОР

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “ Фізика нанорозмірних систем ” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістра спеціальності 153 Мікро- та наносистемна техніка (освітньо-професійна програма "Фізична та біомедична електроніка"

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є формування уявлень про властивості, енергетичний спектр та особливості електронного транспорту в наноелектронних структурах та приладах на їх основі.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є сформувати у здобувачів вищої освіти наступні загальні та фахові компетентності:

Загальні

1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. (ЗК-1)
2. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. (ЗК-2)
3. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. (ЗК-5)

Фахові компетентності

1. Здатність ефективно використовувати складне контрольно-вимірювальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві матеріалів, компонентів, приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення. (СК-1)
2. Здатність здійснювати тестування та діагностику приладів та обладнання, а також оброблення і аналіз отриманих результатів. (СК-2)
3. Здатність аналізувати та синтезувати мікро- та наноелектронні системи різного призначення. (СК-3)
4. Здатність розробляти, обґрунтовано вибирати і використовувати сучасні методи обробки та аналізу сигналів в мікро- і наноелектронних приладах та системах. (СК-4)
5. Здатність аргументувати вибір методів розв’язання складних задач і проблем мікро- та наносистемної техніки, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення. (СК-5)
6. Здатність користуватися сучасними системами пошуку та аналізу науково-технічної інформації, проводити патентний пошук і дослідження та здійснювати захист інтелектуальної власності. (СК-6)
7. Здатність розробляти і реалізовувати наукові та/або інноваційні проекти у сфері мікро- та наносистемної техніки, а також дотичні до неї міждисциплінарні проекти. (СК-7)

Основним завданням курсу є формування цілісної картини, щодо функціонування приладів наноелектроніки та розуміння фізичних явищ, пов'язаних з хвильовою природою заряджених частинок - розмірним

квантуванням, квантовою інтерференцією, квантовим обмеження та тунельними ефектами та їх використання для створення приладів наноелектроніки.

1.3. Кількість кредитів - 4

1.4. Загальна кількість годин - 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
1-й	-й
Семестр	
2-й	-й
Лекції	
32 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
16 год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
72 год.	год.
Індивідуальні завдання	
год.	

1.6. Заплановані результати навчання

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Фізика нанорозмірних си» здобувачі вищої освіти повинні досягти таких результатів навчання.

Програмні результати навчання

1. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проєктах. (Р-1)
2. Визначати напрями, розробляти і реалізовувати проєкти модернізації виробництва мікро- та наносистемної техніки з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів. (Р-2)
3. Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення. (Р-3)
4. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері мікро- та наноелектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності. (Р-4)

5. Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері мікро- та наноелектроніки, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів. (P-5)
6. Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування. (P-6)
7. Розв'язувати задачі синтезу та аналізу приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки (P-7)
8. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її. (P-8)
9. Забезпечувати якість виробництва; обирати технології, що гарантують отримання необхідних характеристик твердотільних пристроїв; застосовувати сучасні методи контролю мікро- та наносистемної техніки (P-9)
10. Забезпечувати професійний розвиток членів колективу з урахуванням світового досвіду і вимог до персоналу в сфері розробки та експлуатації мікро- та наноелектронних систем (P-10)
11. Досліджувати процеси у мікро- та наноелектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів (P-11)
12. Будувати і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів мікро- та наноелектроніки (P-12)
13. Керувати складними робочими процесами у сфері виробництва та/або досліджень мікро- та наноелектронних систем, об'єктивно оцінювати результати діяльності колективу та окремих працівників, визначати заходи щодо покращення результатів діяльності (P-13)
14. Координувати роботу колективів виконавців для проведення наукових досліджень, проектування, розроблення, аналізу, розрахунку, моделювання, виробництва та тестування мікро- та наносистемної техніки (P-14)
15. Забезпечувати захист інтелектуальної власності, комерціалізацію результатів науково-дослідної, винахідницької та проектної діяльності (P-15)

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Фізика нанорозмірних систем» здобувачі вищої освіти повинні, при подальшому навчанні та професійній діяльності, бути здатними осмислювати та використовувати нову інформацію в контексті набутих знань про процеси в системах зі зниженою розмірністю; будову, технологічну реалізацію та механізми функціонування приладів наноелектроніки.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- основні поняття про хвильові властивості електронів та їх прояви у твердотілих середовищах;

- принципи та технологічні аспекти створення приладів наноелектроніки;
- закономірності виникнення ефектів розмірного квантування в системах зниженої розмірності;
- закономірності виникнення інтерференційних ефектів та їх застосування в наноелектронних приладах;
- закономірності виникнення ефектів тунелювання та резонансного тунелювання та створення приладів на їх основі;
- закономірності електронного транспорту та розсіяння електронів в системах зниженої розмірності;
- принципи роботи сучасних твердотілих нанорозмірних приладів, їх параметри та характеристики.

Вміти:

- орієнтуватися в сучасній елементній базі електроніки та уміло використовувати все різноманіття твердотілих приладів для застосувань різного призначення;
- критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення;
- виходячи з отриманих знань самостійно опановувати нову апаратуру та технології;
- за нагоди в короткий термін стати членом наукового та/або інноваційного проекту у сфері нанотехнологій, а також дотичних до неї міждисциплінарних проектів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Хвильові властивості мікрочастинок та особливості енергетичного спектру в системах зниженої розмірності

Тема 1. Хвильовий пакет і хвильова функція. Розрахунок стаціонарних станів для одновимірного потенціалу.

Тема 2. Розсіяння й інтерференція електронних хвиль. Рух частинок в потенціальному полі складної форми. Матриця розсіяння.

Тема 3. Енергетичний спектр систем пониженої розмірності.

Тема 4. Вплив електричного поля на енергетичний спектр систем пониженої розмірності.

Розділ 2. Особливості розподілу квантових станів та ефекти екранування в системах пониженої розмірності

Тема 5. Розподіл квантових станів в системах зниженої розмірності.

Тема 6. Напівпровідникові гетероструктури і квантові ями. Формалізм огибаючої хвильової функції.

Тема 7. Надрешітки.

Тема 8. Структури з модульованим легуванням. Напружені структури.

Розділ 3. Основи роботи приладів нанoeлектроніки

Тема 9. Рух і розсіяння частинок в системах зниженої розмірності.

Тема 10. Квантовий ефект Хола у двовимірному газі.

Тема 11. Тунелювання через квантово- розмірні системи й електронні прилади на його основі.

Тема 12. Резонансне тунелювання через ДБКС.

Тема 13. Основи роботи приладів одноелектроніки.

Тема 14. Тенденції розвитку нанoeлектроніки

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. <i>Хвильові властивості мікрочастинок та особливості енергетичного спектру в системах пониженої розмірності</i>												
Разом за розділом 1	25	8	8			8						
Розділ 2. <i>Особливості розподілу квантових станів та ефекти екранування в системах пониженої розмірності .</i>												
Разом за розділом 2	28	12	4			18						
Розділ 3. <i>Основи роботи приладів нанoeлектроніки .</i>												
Разом за розділом 3	37	12	4			32						
Усього годин	90	32	16			58						

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Хвильові функції нанорозмірних систем та їх властивості	2
2	Енергетичний спектр квантових ям в гетероструктурах .	2
3	Тунельні ефекти в бар'єрних структурах	2
4	Енергетичний спектр квантових ям під дією електричного поля	2
5.	Розподіл квантових станів в системах зниженої розмірності та статистика носіїв заряду	4
7.	Квантовий ефект Хола	2
8.	Резонансне тунелювання	2

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Підготовка до лекцій	8
2	Вивчення окремих питань курсу	
2.1	Распливання хвильового пакету вільної частинки.	2
2.2	Графічна інтерпретація розв'язку рівняння Шредінгера.	2
2.3	Інтерференційна передислокація електронної густини в тунельно- зв'язаних квантових ямах	2
2.4	Історія і майбутнє напівпровідникових гетероструктур	3
2.5	Гетеропереходи	2
2.6	Класифікація напівпровідникових надрешіток	2
2.7	Енергетичний спектр напівпровідникових плівок типу n-GaAs	3
2.8	Розсіювання електронів у 2 D системах	4
2.9	Приповерхнева область просторового заряду. Рівняння Пуассона. Різновиди ОПЗ. Розв'язання рівняння Пуассона. Визначення залежності потенціалу в ОПЗ від координати	2
2.10	Рухливість електронів в системах з селективним легуванням	2
2.11	Ефект Аронова – Бома	2
2.12	Вплив спейсер- шарів на вольтамперних характеристику тунельно - резонансних діодів	2
2.13	Експериментальне дослідження вольт-амперних характеристик двобар'єрної квантових структур.	2
2.14	Дрейфова швидкість електронів в квантовій ямі AlGaAs / GaAs	2
2.15	Вуглецеві наноструктури	2

3	Підготовка до практичних занять	16
4	Підготовка до екзамену	16
	Разом	72

6. Індивідуальні завдання

Не передбачено

7. Методи навчання

1. Словесні методи: лекція, пояснення; бесіда; дискусія;
2. Робота з навчальною та науковою літературою (підручниками, науковими журналами), самостійна робота.
3. Методи спостереження: методи ілюстрацій, методи візуалізації, методи демонстрацій. Лекції передбачають викладення теоретичного матеріалу та присвячені загальним питанням функціонування окремих елементів та приладів наноелектроніки, основним фізичним ефектам, що лежать в основі їх роботи. Побудовані за принципом проблемної лекції та за принципами лекції-інформації.

Лекції ілюстровані таблицями, наочним матеріалом у вигляді рисунків, схем, фотографій та представлені у формі мультимедійних презентацій, що дає можливість проводити заняття у дистанційній формі.

4. При вивченні фізичних ефектів, процесів та технологій приводяться їх іноземні (англомовні) аналоги відповідно до публікацій і іноземній літературі.
5. Методи проблемного навчання: виклад з елементами проблемності, пізнавальний проблемний виклад, проблемний виклад під час діалогу

Практичні завдання полягають у розв'язанні задач проблемного характеру за темами, що обговорюються на лекціях, числових оцінках ступеню прояву фізичних ефектів, оцінках можливості врахування або знехтування ефекту в конкретних умовах. Під час практичних занять обговорюються конкретні питання застосування теорій і відповідних формул та співвідношень до систем з реальними параметрами та обговорюються проблемні питання їх застосування.

8. Методи контролю

Самоконтроль здійснюється студентами при виконанні завдань для самопідготовки та самоконтролю по кожному розділу курсу, з можливим використанням підручників, методичних посібників з відповідних розділів курсу, іншої додаткової літератури та інформаційних джерел.

Оцінювання поточної навчальної діяльності

Лекційний матеріал і самостійна робота студентів оцінюється в процесі поточного контролю на відповідних практичних заняттях і під час підсумкового контролю.

Оцінювання поточної навчальної діяльності здійснюється на кожному практичному занятті за відповідною темою.

Максимальна кількість балів, яку може набрати студент за поточну навчальну діяльність при вивченні дисципліни становить 60 балів.

Мінімальна кількість балів, яку повинен набрати студент за поточну навчальну діяльність при вивченні дисципліни для допуску до складання підсумкового контролю (іспиту) - 30.

Розрахунок кількості балів проводиться на підставі отриманих студентом позитивних оцінок за традиційною шкалою під час вивчення дисципліни.

Поточний контроль.

Програма передбачає наступні форми поточного контролю:

— експрес-контроль слугує для перевірки засвоєння студентами за темами лекційної частини курсу та теоретичних питань, що вивчаються студентами самостійно, проводиться протягом семестру у вигляді коротких (до 10 хв.) тестових завдань, що складаються з 2 – 3 питань. Відповідь на кожне запитання оцінюється балами(від 0 до 5) відповідно до повноти та правильності відповіді.

Сума балів, що отримується дорівнює відношенню загальної кількості набраних балів до максимальної кількості балів, яке помножене на 30 та округлене до більшого цілого числа.

— тестування: проводиться у формі експрес-контролю за тестовими завданнями: слугує для контролю роботи студентів на практичних заняттях. При тестуванні впродовж практичних занять зараховуються тільки повністю виконані роботи. Їхня загальна кількість може варіюватись, тому зараховується відношення виконаних тестів до кількості проведених, що помножені на 30 та округлені до більшого цілого числа.

Умовою допуску до екзамен є виконання **всіх домашніх завдань**, оцінених на позитивну оцінку,

Підсумковий семестровий контроль. Проводиться у формі екзамену та передбачає письмову відповідь на поставлені питання, розв'язування ситуаційних задач. Екзаменаційний білет складається з 4 питань, вичерпна відповідь на кожне з них зараховується в сумі 40 балів за екзаменаційну роботу. Часткова відповідь на кожне питання знижує максимальну оцінку до меншої кількості балів пропорційно тому, яку частину від повної відповіді на це питання містить письмова робота студента.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота														Екзамен	Сума	
Розділ 1				Розділ 2				Розділ 3						Разом		
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14			
5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	60	40	100

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
90 – 100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

Письмова відповідь на теоретичні питання.

Вичерпна відповідь на кожне завдання зараховується як 5 балів. Часткова відповідь на кожне питання знижує максимальну оцінку з 5 балів до меншої кількості балів пропорційно тому, яку частину від повної відповіді на це питання містить виконана робота студента, або пропорційно кількості суттєвих помилок у роботі студента.

5 балів – вичерпна та повна відповідь;

4 бали – відповідь правильна та містить усю необхідну інформацію, логічно побудована, але є неточності та/або упущення;

3 бали – відповідь задовільна, містить правильну інформацію, але не має пояснень, ілюстрацій, студент не може аргументувати (прокоментувати) свою думку;

2 бали – студент виявляє поверхневі, загальні знання без аналізу змісту питання, хоча загальний напрямок роздумів правильний;

1 бал – відповідь містить поодинокі елементи правильної інформації;

0 балів – відповідь неправильна або відсутня.

Письмова відповідь (розв'язок задачі).

Оцінюється за шкалою від 0 до 5 балів.

5 балів – студент правильно розв'язує задачу, наводячи вихідні формули та проводячи правильні розрахунки зі вказівкою відповідних розмірностей результату;

4 бали – студент правильно розв'язує задачу, наводячи вихідні формули та проводячи правильні розрахунки, але не вказує відповідні розмірності результату;

3 бали – студент правильно розв'язує задачу, наводячи вихідні формули, але робить помилку при розрахунках;

1 бали – студент орієнтується у співвідношенні, проте не в змозі провести розрахунки;

0 бали – відповідь неправильна або відсутня.

Схема нарахування балів за тему

Тема оцінюється за шкалою від 0 до 5(4) балів. Кількість балів за тему:

$$K = \frac{\text{сума балів за відповіді на теоретичні питання} + \text{сума балів за виконані практичні завдання}}{\text{кількість теоретичних та практичних завдань}}$$

Орієнтовні критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

До підсумкового семестрового контролю (іспиту) допускаються студенти, які виконали всі види навчальних завдань, передбачені навчальною програмою, та при вивченні розділу набрали за поточну навчальну діяльність кількість балів, не меншу за мінімальну.

Максимальна кількість балів, яку може набрати студент за результатами підсумкового семестрового контролю – 40, мінімальна кількість балів – 20.

Критерії оцінювання дисципліни Оцінку «відмінно» (5 балів – за завдання; 90-100 балів за курс у цілому) отримує студент, якщо він:

- самостійно, грамотно, послідовно, з вичерпною повнотою, використовуючи дані додаткової літератури, відповів на запитання;
- чітко та правильно дає визначення та розкриває зміст кожного питання;
- вміє аналізувати, оцінювати та розкривати суть усіх процесів;
- вміє розв'язувати практичні завдання за темами курсу.

Оцінку «добре» (4 бали за завдання; 70-89 балів за курс у цілому) отримує студент, якщо він:

- самостійно, грамотно відповів на запитання допускаючи незначні помилки при застосуванні наукових термінів та загальноприйнятих у сучасній анатомії;
- розкриває основний зміст навчального матеріалу, допускаючи незначні порушення у послідовності викладення;
- нечітко формулює висновки при оцінці суті процесів;
- вміє розв'язувати практичні завдання за темами курсу, але допустив неточності у їх виконанні.

Оцінку „задовільно” (3 бали – за завдання; 50-69 балів за курс у цілому) студент отримує, якщо:

- коли студент орієнтується в основному матеріалі, але не може самостійно послідовно сформулювати відповідь, допускає суттєві помилки;
- показує початкову уяву про предмет вивчення;
- не може сформулювати висновки при оцінці суті процесів;
- фрагментарно орієнтується у розв'язанні практичних завдань.

Оцінку „незадовільно” (менше 50 балів) студент отримує, якщо:

- погано орієнтується в навчальному матеріалі;
- виявляє незнання змісту навчального матеріалу;
- виявляє невміння розв'язати практичне завдання.

10. Рекомендована література

Основна література

1. В. П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин Основы нанoeлектроники : Учебное пособие. — М.: Логос, 2006.— 496 с.
2. Э. Д. Прохоров Квантово – размерные эффекты в твердотельных сверхвысокочастотных приборах: Учебное пособие. — Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2005.- 220 с.
3. Тагер А.С. Размерные квантовые эффекты в субмикронных полупроводниковых структурах и перспектива их применения в электронике СВЧ. 4.1. Физические основы. // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ,- 1987.- выи.9(403).- с. 21-34.
4. Борисенко В. Е. Нанoeлектроника / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 223 с.
5. Шик А .Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С. А. Физика низкоразмерных систем: Учебное пособие. - СПб.: Наука. 2001. - 160 с.
6. Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Руеда Ф. Нано- технологии для микро- и оптоэлектроники / Пер. с англ. - М.: Техносфера. 2007. - 368 с.
7. Ткалич В.Л., Макеева А.В., Оборина Е.Е. «Физические основы нанoeлектроники». Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. - 83с.
8. Э. Розеншер, Б. Винтер Оптоэлектроника М: Техносфера, 2006.— 592 с.
9. Э. Д. Прохоров Твердотельная электроника: Учебное пособие. — Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2008.- 544 с.

Допоміжна література

1. Д. Бом - Квантовая теория. — М. : Наука, 1965. —728 с.
2. Ж. И. Алферев ФТП 1998, т. 32. — № 1 с. 3- 18.
3. В.А. Гуртов Твердотельная электроника: Учебное пособие — 3 – е изд., доп.— Москва: Техносфера 2005. — 512 с.
3. П.А. М. Дирак Принципы квантовой механики М.: "Наука", 1979. — 408 стр.
4. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры.: Пер. с англ./Под ред. .Л. Ченга, К. Плога. — М: Мир, 1989 — 584 с.
5. Ю. М. Калниболоцкий и др. Расчет и конструирование микросхем.— Киев: Вища школа, Головное изд - во, 1983.- 279 с.

6. Наногетероструктуры в сверхвысокочастотной полупроводниковой электронике
Москва: Техносфера, 2010. – 432 с.

Періодичні видання(зарубіжні)

1. Surface Science Reports (<https://www.journals.elsevier.com/surface-science-reports/>)
2. Journal of Applied Physics (<https://aip.scitation.org/journal/jap>)

**11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне
забезпечення**

1. <http://me.kpi.ua/index.php?id=61>
2. <https://www.lektorium.tv/course/26613>
3. <https://www.nanowerk.com/nanoelectronics.php>
4. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nanoelectronics>
5. https://www.youtube.com/watch?v=0_FjPqBqPec&ab_channel=edX
6. <https://www.nanowerk.com/nanotechnology/nanotechnology-videos/videos.php>
7. [https:// www.ioffe.rssi.ru](https://www.ioffe.rssi.ru)