

Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка

Інститут високих технологій

Кафедра нанофізики конденсованих середовищ

Укладач: професор А.А. Євтух, асистент І.І. Іванов

## Наноматеріали та структури на їх основі, оптичні та квантові комп'ютери

РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ  
освітньо-професійної програми спеціальності  
„магістр природничих наук та високих технологій”

Затверджено  
на засіданні кафедри  
*Протокол № 8 від « 12» січня 2011 р.*

*Зав. кафедрою*  
*Скришевський В.А.* \_\_\_\_\_

*Директор Інституту*  
*Третяк О.В.* \_\_\_\_\_

**КИЇВ - 2013**

Робоча навчальна програма з дисципліни „**Наноматеріали та структури на їх основі**”

**Укладач:** доктор. фіз.-мат. наук, професор **А.А. Євтух**  
к.ф.-м. н. **І. І. Іванов**

**Лектор:** доктор. фіз.-мат. наук, професор **А.А. Євтух**, к.ф.-м. н. **І. І. Іванов**  
**Викладач:** доктор. фіз.-мат. наук, професор **А.А. Євтух**, к.ф.-м. н. **І. І. Іванов**

**Погоджено**

з науково-методичною комісією

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 \_\_р.

\_\_\_\_\_.

## Методичні рекомендації по вивченню дисципліни

Дисципліна „Наноматеріали та структури на їх основі” є базовою дисципліною для спеціальності "високі технології", яка викладається в 2 семестрі магістратури в обсязі 4 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS), в тому числі 68 годин аудиторних занять. З них 51 години лекцій, 17 годин лабораторні роботи та 76 годин самостійної роботи. Підсумковий контроль – іспит.

**Метою вивчення дисципліни** „Наноматеріали та структури на їх основі” є ознайомлення студентів з основними наноматеріалів, їх властивостями, ідеями та методами фізики сучасних і перспективних напівпровідникових приладів на основі наноструктур, що є базовими для мікро- та наноелектроніки. Цей курс надає знання з фізики нанорозмірних структур, їх властивостей, основ роботи напівпровідникових приладів на основі наноструктур, їх функціонального призначення та використання напівпровідникових приладів в електронних системах. Курс „Наноматеріали та структури на їх основі” є базовою дисципліною для розуміння фізики та сучасних технологій мікро- та наноелектроніки.

**Головним завданнями** курсу „Наноматеріали та структури на їх основі” є засвоєння базових знань з фізики наноматеріалів, роботи напівпровідникових наноелектронних приладів, основ технології їх виготовлення та використання наноструктур в електронних системах.

**Предметом навчальної дисципліни** „Наноматеріали та структури на їх основі” є наноматеріали, наноелектронні структури та прилади, що є основою сучасної електроніки для передачі, обробки і зберігання інформації, автоматизації виробничих процесів, контрольно-вимірювальної апаратури, засобів наукового експерименту та ін.

В курсі детально розглядаються властивості наноматеріалів, фізичні процеси, що протікають під дією електричного поля в нанорозмірних структурах та фізика роботи напівпровідникових наноелектронних приладів. I кредит – фізичні властивості наноматеріалів, основні відомості про наночастинки, нанокластери, наноструктури. II кредит – фізичні явища в наноструктурах, що протікають під дією електричного поля (екранування електричного поля, електронний транспорт в тонких та надтонких напівпровідникових) та їх використання; III кредит – фізичні процеси в напівпровідникових наноелектронних приладах, що обумовлюють їх застосування в наноелектронних системах.

### **Вимоги до знань та вмінь.**

*Знати:* основні типи наноматеріалів та їх фізичні властивості, фізичні основи роботи напівпровідникових приладів, електронні процеси, що в них протікають, основні параметри приладів.

*Вміти:* пояснити залежність властивостей матеріалів від розмірів, принцип роботи приладів напівпровідникової електроніки, особливості роботи приладів на основі наноструктур, оцінювати величини ефектів, та пояснювати результати експериментів.

**Місце в структурно-логічній схемі спеціальності.** Нормативна навчальна дисципліна „Наноматеріали та структури на їх основі” є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня „магістр”, в якій акумулюються знання студентів, отримані на молодших курсах як з суто фізичних курсів, так і з курсів математики, англійської мови, тощо.

## Контроль знань

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Підсумкова оцінка розраховується за **накопичувальною системою**. При цьому максимальна кількість балів встановлюється наступним чином:

2 семестр	Змістовний модуль 1	Змістовний модуль 2	Змістовний модуль 3	Комплексний підсумковий модуль (іспит)	Підсумкова оцінка за повний курс
Максимальна кількість балів	20	20	20	40	100

### На семестр заплановано 3 контрольні роботи:

За 1 контрольну роботу студент може отримати - максимум 20 балів.

За кожне самостійне завдання в першому модулі – максимум 5 балів, всього за 4 самостійних завдання – 20 балів.

За 2 контрольну роботу студент може отримати - максимум 20 балів.

За кожне самостійне завдання в другому модулі – максимум 5 балів, всього за 4 самостійних завдань – 20 балів.

За 3 контрольну роботу студент може отримати - максимум 20 балів.

За кожне самостійне завдання в другому модулі – максимум 5 балів, всього за 4 самостійних завдань – 20 балів.

### Терміни проведення модульних контролів у 2 семестрі :

1 модульний контроль – до 20 березня

2 модульний контроль – до 20 квітня

3 модульний контроль – до 25 травня

При цьому, **кількість балів** відповідає оцінці:

**1-34** – «незадовільно» **з обов'язковим повторним вивченням дисципліни;**

**35-59** – «незадовільно» **з можливістю повторного складання;**

**60-64** – «задовільно» («**достатньо**»);

**65-74** – «задовільно»;

**75 - 84** – «добре»;

**85 - 89** – «добре» («**дуже добре**»);

**90 - 100** – «відмінно».

### Шкала відповідності

За 100-бальною шкалою	Оцінка за національною шкалою	
<b>90 – 100</b>	<b>5</b>	<b>відмінно</b>
<b>85 – 89</b>	<b>4</b>	<b>добре</b>
<b>75 – 84</b>		
<b>65 – 74</b>	<b>3</b>	<b>задовільно</b>
<b>60 – 64</b>		
<b>35 – 59</b>	<b>2</b>	<b>незадовільно</b>
<b>1 – 34</b>		

*Якщо за результатами модульно-рейтингового контролю студент отримав сумарну оцінку за три змістовні модулі, яка менше ніж 20 балів, то студент не допускається до іспиту і вважається таким, що не виконав усі види робіт, які передбачаються навчальним планом на семестр з дисципліни „Наноматеріали та структури на їх основі”.*

## Тематичний план лекцій та лабораторних занять

### 2 семестр

Номер лекції	Назва лекції	Кількість годин				
		лекції	лабораторні	СРС	Контрольно-модульна робота	Інші форми контролю
<b>ЗМ1: Наноматеріали та їх властивості</b>						
1	Мікро- і наноструктури. Вступ. Завдання курсу. Просторові масштаби об'єктів сучасних електронних і живих систем. Інформаційна еволюція. Тенденції розвитку напівпровідникових електронних приладів. Сучасний стан та перспективи. Закон Мура.	2		3		
2	Наноматеріали 1. Властивості індивідуальних наночастинок. Квантово-розмірні ефекти. Металічні нанокластери. Магічні числа. Геометрична структура. Електронна структура. Реакційна здатність. Магнітні кластери. Перехід від макро- до нано-. Напівпровідникові наночастинок. Оптичні властивості. Фотофрагментація. Кулонівський вибух.	2		4		
3	Наноматеріали 2. Вуглецеві наноструктури. Вуглецеві молекули. Природа вуглецевого зв'язку. Вуглецеві кластери. Фулерен. Вуглецеві нанотрубки. Застосування вуглецевих нанотрубок. Графен. Об'ємні наноструктуровані матеріали. Наноструктуровані багаточарові матеріали. Пористий кремній. Розупорядковані поверхневі структури. Наноструктуровані кристали. Наноструктуровані кристали для фотоніки.	2		4		
4	Компоненти напівпровідникових приладів. Р-п переходи, область збіднення, вольт-амперні характеристики, пробій переходу, перехідні характеристики і шуми, гетеропереходи, контакти метал-напівпровідник, формування бар'єру, процеси переносу носіїв, виміри висоти бар'єру, приладні структури, омичні контакти, емність метал-діелектрик-напівпровідник, ідеальна МДН структура, кремнієва МОН структура. Основні напівпровідникові прилади. Основні напівпровідникові технології.	2	5	3		
	Модульна контрольна робота №1	8	5	14	1	

<b>3M2: Фізичні явища в наноструктурах, що протікають під дією електричного поля. Фізичні процеси в напівпровідникових наноелектронних приладах</b>						
5	Екранування електричного поля в наноструктурах. Приповерхнева область просторового заряду. Рівняння Пуасона. Різновидності областей просторового заряду. Рішення рівняння Пуасона. Визначення залежності потенціалу в області просторового заряду від координати. Поверхнєве квантування. Екранування електричного поля в 2D системах. Особливості екранування електричного поля в квантових дротах.	2		4		
6	Транспортні явища в напівпровідникових структурах. Стаціонарна дрейфова швидкість. Сплеск в часі дрейфової швидкості при дії електричного поля. Балістичний транспорт в напівпровідниках і субмікронних приладах. Рухливість електронів в системах з селективним легуванням. Особливості електрон-фононної взаємодії в низькорозмірних системах. Розсіяння електронів в 2D системах. Особливості розсіяння квазідвоірних електронів в надградках. ТермоЕРС в квазідвоірних системах.	2		4		
7	Тунелювання через квантово-розмірні структури. Тунелювання через двохбар'єрну структуру з квантовою ямою. Вольт-амперна характеристика багат шарових структур. Експериментальні дослідження вольт-амперних характеристик двох бар'єрних квантових структур. Діапазон робочих частот двох бар'єрної квантової структури.	2	4	3		
8	Структури нанокристалічної пам'яті. Структури енергонезалежної пам'яті. FLASH пам'ять. SONOS пам'ять. Нанокристалічна пам'ять. NAND і NOR архітектура.	2	4	3		
9	Прилади на основі квантового ефекту і гарячих електронів. Резонансно-тунельні структури. Структури на основі гарячих електронів. Застосування приладів.	2		3		
10	Активні високочастотні діоди. Часопролітні діоди. Резонансно-тунельні діоди. Діоди на основі між долинного переходу.	2		3		
11	Високошвидкісні фотонні прилади. Конструкції і основні принципи функціонування лазерів. Лазери на основі квантових ям і квантових ям з напруженими шарами. Сучасні лазерні структури і фотонні	2		4		

	інтегральні схеми. Фотоприймачі і оптоелектронні інтегральні схеми. Лазери на квантових точках.					
12	Напружені двомірні наношари та структури на їх основі. Двомірний електронний газ та двомірний дірковий газ. НЕМТ транзистори. МДН транзистори з каналами на основі напружених шарів. Гетероепітаксійні біполярні транзистори.	2		4		
13	Електронні прилади на основі нанодротів та нанотрубок. Електронні прилади на основі кремнієвих нанодротів. Транзистори на основі одностінних вуглецевих трубок. Технології отримання нанодротів та нанотрубок.	2	4	3		
14	Гетероструктури з Ge/Si квантовими точками. Польовий нанотранзистор на основі гетероструктур Ge/Si з квантовими точками. Технологія виготовлення Ge/Si нанотранзисторів. Електричні характеристики. Фотоприймачі на основі p-i-p структур з масивом квантових точок.	2		3		
15	Проблеми одноелектроніки. Теоретичні основи одноелектроніки. Одноелектронне тунелювання. Реалізація одноелектронних приладів. Застосування одноелектронних приладів.	2		3		
16	Тенденції створення нанотранзистора. Фізичні основи. Конструкції нанотранзистора.	2		3		
17	Мікроелектромеханічні системи та наноелектромеханічні системи. Наноприлади та наномашини. Конструкції та призначення. Технології МЕМС і НЕМС. Транзистор на основі наноелектромеханічних систем. Молекулярні та супрамолекулярні перемикачі.	2		3		
	Модульна контрольна робота №3	<b>26</b>	<b>12</b>	<b>43</b>	<b>2</b>	
<b>ЗМЗ: Оптичні і квантові комп'ютери.</b>						
18	Принципи роботи сучасних комп'ютерів. Переваги і недоліки сучасної елементарної бази. Базові принципи роботи оптичних систем.	2		3		
19	Фур'є оптика. Пристрої для електрооптичних інтерфейсів. Фотонна логіка. Базова елементарна логіка. Поняття оптичної бістабільності і мультισταбільності і її характеристики. Класифікація логічних елементів.	2		3		
20	Принцип роботи оптичного процесора	2		4		

21	Підсистеми для оптичних комп'ютерів. Оптичні волокна. Оптичні вінчестери. Голографічна пам'ять.	2		4		
22	Гібридні комп'ютери. Підсистеми для оптичних обчислень. Матричні і арифметичні оптичні обчислення. Реалізація паралельного додавання і множення в оптичних системах.	2		3		
23	Базові поняття квантових обчислень. Поняття про кубіти. Логічні операції і кола. Квантове перетворення Фур'є.	2		3		
24	Моделювання квантових обчислень. Елементи систем для квантових обчислень..	2		3		
25	Квантові алгоритми обробки інформації. Квантова пам'ять. Квантові алгоритми пошуку	2		3		
26	Перспективи застосування оптичних і квантових комп'ютерів. Пошук, обробка даних, криптографія.	1		3		
27	Модульна контрольна робота №3	17		29	1	
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>51</b>	<b>17</b>	<b>76</b>	<b>3</b>	



## Докладний план лекцій та самостійних завдань

### 2 семестр

#### Змістовний модуль 1: Наноматеріали та їх властивості

##### ЛЕКЦІЯ 1. (2 години)

Мікро- і наноструктури.

Вступ. Завдання курсу. Просторові масштаби об'єктів сучасних електронних і живих систем. Інформаційна еволюція. Тенденції розвитку напівпровідникових електронних приладів. Сучасний стан та перспективи. Закон Мура.

Самостійне завдання №1. Основні етапи розвитку напівпровідникових приладів.

##### ЛЕКЦІЯ 2. (2 години)

Наноматеріали 1.

Властивості індивідуальних наночастинок. Квантово-розмірні ефекти. Металічні нанокластери. Магічні числа. Геометрична структура. Електронна структура. Реакційна здатність. Магнітні кластери. Перехід від макро- до нано-. Напівпровідникові наночастинки. Оптичні властивості. Фотофрагментація. Кулонівський вибух.

Самостійне завдання №2. Види наноматеріалів та їх основні властивості.

##### ЛЕКЦІЯ 3. (2 години)

Наноматеріали 2.

Вуглецеві наноструктури. Вуглецеві молекули. Природа вуглецевого зв'язку. Вуглецеві кластери. Фулерен. Вуглецеві нанотрубки. Застосування вуглецевих нанотрубок. Графен. Об'ємні наноструктуровані матеріали. Наноструктуровані багаточарові матеріали. Пористий кремній. Розупорядковані поверхневі структури. Наноструктуровані кристали. Наноструктуровані кристали для фотоніки.

Самостійне завдання №3. Основні види вуглецевих наноструктур.

##### ЛЕКЦІЯ 4. (2 години)

Компоненти напівпровідникових приладів.

P-n переходи, область збіднення, вольт-амперні характеристики, пробій переходу, перехідні характеристики і шуми, гетеропереходи, контакти метал-напівпровідник, формування бар'єру, процеси переносу носіїв, виміри висоти бар'єру, приладні структури, омичні контакти, ємність метал-діелектрик-напівпровідник, ідеальна МДН структура, кремнієва МОН структура. Основні напівпровідникові прилади. Основні напівпровідникові технології.

Самостійне завдання №4. Робота виходу, контактна різниця потенціалів.

#### Модульний контроль №1

##### Контрольні запитання.

1. Які основні властивості наноматеріалів?
2. В чому проявляються квантово-розмірні ефекти в наноматеріалах?
3. Що таке магічні числа?
4. Яка геометрична структура металічних нанокластерів?
5. Яка електронна структура металічних нанокластерів?
6. Як змінюється енергетична зонна діаграма металу при зменшенні кількості атомів?
7. Як змінюється реакційна здатність металів при зменшенні розмірів наночастинок?
8. При якій кількості атомів кластер починає себе вести як об'ємна речовина?
9. Як змінюються оптичні спектри поглинання при зменшенні розмірів наночастинок?
10. Що таке екситон?
11. Поясніть явище кулонівського вибуху.
12. Дайте характеристику вуглецевих зв'язків. Як відбувається їх гібридизація?

13. Описати будову фулерена.
14. Як змінює властивості фулеренів їх легування металами?
15. Навести приклади не вуглецевих шароподібних молекул.
16. Як отримують вуглецеві нанотрубки?
17. Описати основні властивості пористого кремнію
18. Технології формування пористого кремнію. Основні технологічні параметри, що впливають на його властивості.
19. Дати характеристику металічним і напівпровідниковим вуглецевим нанотрубкам.
20. Навести приклади застосування вуглецевих нанотрубок.
21. Які механізми подрібнення полікристалічних матеріалів?
22. Описати електричні властивості наночастинок.
23. Навести приклади наноструктурованих кристалів.
24. Описати встановлення дифузійно-дрейфової рівноваги при формуванні р-п переходу.
25. Навести приклад енергетичної зонної діаграми гетеропереходу.
26. Як відбувається формування збідненого шару в контакті метал-напівпровідник?
27. Способи формування омічних контактів.
28. В чому полягає суть ефекту Шоткі?
29. Навести та пояснити енергетичну зонну діаграму МДН.структури
30. Які методи виміру висоти бар'єру метал-напівпровідник? Дати опис.

### Самостійна робота студентів.

Постійними завданнями для самостійної роботи є:

- робота над лекційним матеріалом з конспектом та рекомендованою літературою;
- виконання домашніх завдань;
- опрацювання частини лекційного матеріалу, винесеного на самостійне вивчення, а саме:

1. Основні етапи розвитку напівпровідникових приладів.
2. Види наноматеріалів та їх основні властивості.
3. Основні види вуглецевих наноструктур.
4. Робота виходу, контактна різниця потенціалів.

Література: [1-4,7]

## **Змістовний модуль 2: Фізичні явища в наноструктурах, що протікають під дією електричного поля**

### ЛЕКЦІЯ 5. (2 години)

Екранування електричного поля в наноструктурах.

Приповерхнева область просторового заряду. Рівняння Пуасона. Різновидності областей просторового заряду. Рішення рівняння Пуасона. Визначення залежності потенціалу в області просторового заряду від координати. Поверхнєве квантування. Екранування електричного поля в 2D системах. Особливості екранування електричного поля в квантових дротах.

Самостійне завдання №1. Квантово-розмірні ефекти.

### ЛЕКЦІЯ 6. (2 години)

Транспортні явища в напівпровідникових структурах.

Стаціонарна дрейфова швидкість. Сплеск в часі дрейфової швидкості при дії електричного поля. Балістичний транспорт в напівпровідниках і субмікронних приладах. Рухливість електронів в системах з селективним легуванням. Особливості електрон-фононної взаємодії в низькорозмірних системах. Розсіяння електронів в 2D системах. Особливості розсіяння квазідвовірних електронів в надградках. ТермоЕРС в квазідвовірних системах.

Самостійне завдання №2. Основні механізми електропровідності: Пула-Френкеля, Фаулера-Нордгейма, стрибкова провідність та ін.

#### ЛЕКЦІЯ 7. (2 години)

Тунелювання через квантово-розмірні структури.

Тунелювання через двохбар'єрну структуру з квантовою ямою. Вольт-амперна характеристика багат шарових структур. Експериментальні дослідження вольт-амперних характеристик двох бар'єрних квантових структур. Діапазон робочих частот двох бар'єрної квантової структури.

Самостійне завдання №3. ВКБ наближення при описі тунелювання.

#### ЛЕКЦІЯ 8. (2 години)

Структури нанокристалічної пам'яті.

Структури енергонезалежної пам'яті. FLASH пам'ять. SONOS пам'ять. Нанокристалічна пам'ять. NAND і NOR архітектура.

Самостійне завдання №4. Накопичення заряду в МДН структурах з подвійним діелектриком. Основні формули для опису процесу накопичення.

#### ЛЕКЦІЯ 9. (2 години)

Прилади на основі квантового ефекту і гарячих електронів.

Резонансно-тунельні структури. Структури на основі гарячих електронів. Застосування приладів.

Самостійне завдання №5. Матеріали для формування резонансно-тунельних структур. Типи структур.

#### ЛЕКЦІЯ 10. (2 години)

Активні високочастотні діоди.

Часопролітні діоди. Резонансно-тунельні діоди. Діоди на основі між долинного переходу.

Самостійне завдання №6. Виготовлення часопролітних діодів. Основні технологічні операції і матеріали.

#### ЛЕКЦІЯ 11. (2 години)

Високошвидкісні фотонні прилади.

Конструкції і основні принципи функціонування лазерів. Лазери на основі квантових ям і квантових ям з напруженими шарами. Сучасні лазерні структури і фотонні інтегральні схеми. Фотоприймачі і оптоелектронні інтегральні схеми. Лазери на квантових точках.

Самостійне завдання №7. Проблеми роботи лазерів. Деградація характеристик.

#### ЛЕКЦІЯ 12. (2 години)

Напружені двомірні нанощари та структури на їх основі.

Двомірний електронний газ та двомірний дірковий газ. НЕМТ транзистори. МДН транзистори з каналами на основі напружених шарів. Гетероепітаксійні біполярні транзистори.

Самостійне завдання №8. НЕМТ транзистор на основі AlN.

#### ЛЕКЦІЯ 13. (2 години)

Електронні прилади на основі нанодротів та нанотрубок.

Електронні прилади на основі кремнієвих нанодротів. Транзистори на основі одностінних вуглецевих трубок. Технології отримання нанодротів та нанотрубок.

Самостійне завдання №9. Технології формування транзистора на основі кремнієвого наностержня.

#### ЛЕКЦІЯ 14. (2 години)

Гетероструктури з Ge/Si квантовими точками.

Польовий нанотранзистор на основі гетероструктур Ge/Si з квантовими точками. Технологія виготовлення Ge/Si нанотранзисторів. Електричні характеристики. Фотоприймачі на основі p-i-p структур з масивом квантових точок.

Самостійне завдання №10. Фотоелектричні характеристики фототранзистора на основі гетероструктур Ge/Si з квантовими точками

ЛЕКЦІЯ 15. (2 години)

Проблеми одноелектроніки.

Теоретичні основи одноелектроніки. Одноелектронне тунелювання. Реалізація одноелектронних приладів. Застосування одноелектронних приладів.

Самостійне завдання №11. Особливості роботи одноелектронного транзистора.

ЛЕКЦІЯ 16. (2 години)

Тенденції створення нанотранзистора.

Фізичні основи. Конструкції нанотранзистора.

Самостійне завдання №12. Особливості функціонування нанотранзистора.

ЛЕКЦІЯ 17. (2 години)

Мікроелектромеханічні системи та наноелектромеханічні системи.

Наноприлади та наномашини. Конструкції та призначення. Технології MEMS і NEMS. Транзистор на основі наноелектромеханічних систем. Молекулярні та супрамолекулярні перемикачі.

Самостійне завдання №13. Области використання MEMS і NEMS.

### Модульний контроль №2

#### Контрольні запитання.

1. Як відбувається екранування електричного поля в об'ємних та нанорозмірних матеріалах?
2. Який вид має рівняння Пуасона для збідненої області напівпровідника?
3. При яких умовах реалізується балістичний транспорт в напівпровідниках?
4. Який вид має рівняння Фаулера-Нордгейма?
5. Які граничні умови при рішенні рівняння Пуасона?
6. Навести вираз для статистики Фермі-Дірака.
7. Що таке хімічний потенціал і рівень Фермі?
8. Описати процес утворення області просторового заряду.
9. Рівняння Больцмана.
10. Описати явище сплеску дрейфової швидкості в коротких структурах.
11. Провести порівняння хвилі де Бройля в металі і напівпровіднику.
12. Що таке резонансне тунелювання?
13. Описати метод молекулярно-пучкової епітаксії.
14. Навести приклади двох бар'єрних квантових структур.
15. Навести формулу для розрахунку максимальної частоти генерації.
16. Навести методи формування напівпровідникових нанокристалів для елементів пам'яті.
17. Структура флеш-пам'яті.
18. Навести основні параметри флеш та SONOS пам'яті.
19. Переваги та недоліки різних типів енергонезалежної пам'яті.
20. В чому полягає суть квантово-механічного тунелювання?
21. Пояснити причину появи вольт-амперної характеристики з від'ємним диференціальним опором.
22. Навести розріз 2D резонансно-тунельного транзистора.
23. Описати явище кулонівської блокади.
24. Навести приклад балістично-інжекційної структури.
25. Пояснити принцип роботи резонансного транзистора на гарячих електронах.
26. Який принцип роботи тунельного транзистора?
27. Як утворюються N- та S- подібні вольт-амперні характеристики?
28. При яких умовах відбувається явище міждолинного переходу електронів?

29. Які основні параметри лавинно-пролітних діодів?
30. Пояснити принцип дії лазера.
31. Навести типову конструкцію напівпровідникового лазера.
32. Описати принцип дії лазера на основі квантової ями.
33. Як впливає напруженість шару напівпровідника на рухливість носіїв заряду ?
34. Для чого вводиться градієнт концентрації Ge в шарі SiGe бази гетеробіполярного транзистора?
35. Порівняти величини рухливостей носіїв заряду в об'ємних матеріалах і напружених шарах напівпровідника.
36. Навести приклади використання напружених шарів напівпровідника для створення швидкодіючих приладів.
37. Яка роль буферного шару при формуванні структур з напруженими шарами?
38. В чому полягає підхід «зверху-вниз» при формуванні наноструктур?
39. В чому полягає підхід «знизу-вверх» при формуванні наноструктур?
40. Які основні технологічні операції при формуванні кремнієвих наностержнів?
41. Як можна реалізувати 3D інтеграцію з використанням кремнієвих наностержнів?
42. Як формується елемент пам'яті SONOS на основі кремнієвого наностержня?
43. Навести схематичне зображення механізму появи фотоструму в фототранзисторі на основі квантових точок Ge.
44. Описати ефект самоорганізації напівпровідникових наноструктур на прикладі Ge квантових точок.
45. В чому суть механізму росту Странського-Крастанова?
46. Які переваги фотоприймачів на основі квантових точок в порівнянні з приймачами на основі структур з квантовими ямами?
47. Навести схематичне зображення фотодетектора з вбудованими шарами квантових точок Ge.
48. В чому суть ефекту кулонівської блокади?
49. Навести вираз для напруги, яку необхідно прикласти для подолання кулонівської блокади.
50. Які умови для спостереження кулонівської блокади?
51. Який вплив зовнішніх змінних електричних полів на квантові кулонівські точки.
52. Навести схему кремнієвого одноелектронного транзистора.
53. Які основні проблеми при створенні нанотранзисторів?
54. Які переваги використання FinFET транзисторів?
55. Які тенденції розвитку FinFET транзисторів?
56. Які основні вимоги при розробці КНІ нанотранзисторів?
57. Навести схематичне зображення FinFET з n-каналом.
58. Які тенденції розвитку мікро- і наносистемної техніки?
59. Які основні технологічні процеси при виготовленні елементів MEMS та NEMS?
60. Як проводиться формування багаторівневих структур?
61. Які особливості формування чутливих елементів MEMS та NEMS?
62. Навести приклади практичного використання MEMS та NEMS.

### Самостійна робота студентів.

Постійними завданнями для самостійної роботи є:

- робота над лекційним матеріалом з конспектом та рекомендованою літературою;
- виконання домашніх завдань;
- опрацювання частини лекційного матеріалу, винесеного на самостійне вивчення, а саме:

1. Квантово-розмірні ефекти.

2. Основні механізми електропровідності: Пула-Френкеля, Фаулера-Нордгейма, стрибкова провідність та ін.
3. ВКБ наближення при описі тунелювання.
4. Накопичення заряду в МДН структурах з подвійним діелектриком. Основні формули для опису процесу накопичення.
5. Матеріали для формування резонансно-тунельних структур. Типи структур.
6. Виготовлення часопротітних діодів. Основні технологічні операції і матеріали.
7. Проблеми роботи лазерів. Деградація характеристик.
8. НЕМТ транзистор на основі AlN.
9. Технології формування транзистора на основі кремнієвого наностержня.
10. Фотоелектричні характеристики фототранзистора на основі гетероструктур Ge/Si з квантовими точками
11. Особливості роботи одноелектронного транзистора.
12. Особливості функціонування нанотранзистора.
13. Області використання МЕМС і НЕМС.

Література: [2-8]

### Змістовний модуль 3: Оптичні та квантові комп'ютери

ЛЕКЦІЯ 10. (1 година)

Принципи роботи сучасних комп'ютерів. Переваги і недоліки сучасної елементарної бази. Базові принципи роботи оптичних систем. Самостійне завдання №1. Реалізація К-МДН логічних елементів.

ЛЕКЦІЯ 11. (2 години)

Фур'є оптика. Пристрої для електрооптичних інтерфейсів. Фотонна логіка. Базова елементарна логіка. Поняття оптичної бістабільності і мультистабільності і її характеристики. Класифікація логічних елементів. Самостійне завдання № 2. Реалізація оптичних логічних елементів.

ЛЕКЦІЯ 12. (2 години)

Принцип роботи оптичного процесора.

Самостійне завдання № 3. Застосування оптичного процесора EnLight 256.

ЛЕКЦІЯ 13. (2 години)

Підсистеми для оптичних комп'ютерів. Оптичні волокна. Оптичні вінчестери. Голографічна пам'ять.

Самостійне завдання № 4. Оптична пам'ять на основі органічних речовин.

ЛЕКЦІЯ 14. (2 години)

Гібридні комп'ютери. Підсистеми для оптичних обчислень. Матричні і арифметичні оптичні обчислення. Реалізація паралельного додавання і множення в оптичних системах.

Самостійне завдання № 5. Застосування оптичних методів обробки даних для обробки мультимедійних даних.

ЛЕКЦІЯ 15. (2 години)

Базові поняття квантових обчислень. Поняття про кубіти. Логічні операції і кола. Квантове перетворення Фур'є.

Самостійне завдання № 6. Математичний апарат квантових обчислень.

ЛЕКЦІЯ 16. (2 години)

Моделювання квантових обчислень. Елементи систем для квантових обчислень.

Самостійне завдання № 7. Квантовий паралелізм.

ЛЕКЦІЯ 17. (2 години)

Квантові алгоритми обробки інформації. Квантова пам'ять. Квантові алгоритми пошуку.

Самостійне завдання № 7. Твердотільна квантова пам'ять.

ЛЕКЦІЯ 18. (2 години)

Перспективи застосування оптичних і квантових комп'ютерів. Пошук, обробка даних, криптографія.

Самостійне завдання № 8. Квантові алгоритми кодування інформації.

Модульний контроль №3

Контрольні запитання.

1. Сучасний стан елементарної бази для комп'ютерної техніки
2. Перерахуйте фактори які обмежують подальше зменшення розмірів елементів комп'ютерної техніки.
3. Порівняйте базові принципи роботи традиційних кремнієвих і оптичних елементів логіки.
4. Як реалізують операції додавання, множення, інверсії в оптичних системах.
5. Методи програмування оптичних обчислювальних систем
6. Наведіть блок-схему оптичного процесора EnLight 256 і поясніть принципи роботи.
7. Які фізичні явища лежать в основі бістабільності і мультισταбільності ? Наведіть прилади, що працюють на основі цих явищ.
8. Як реалізується Фур'є перетворення в оптичних системах ?
9. Принципи роботи оптичних модуляторів і їх застосування в схемах для проведення оптичних обчислень.
10. Паралелізм операцій при оптичних обчисленнях.
11. Матричні оптичні обчислення і їх класифікація.
12. Оптичні інтегральні кола і їх реалізація.
13. Внутрішньоінтегральні і зовнішні з'єднання оптичних модулів і схем.
14. Фізичні принципи збереження оптичної інформації.
15. Голографічна пам'ять.
16. Механізми запису і зчитування інформації в оптичних вінчестерах.
17. Принципи роботи гібридних комп'ютерів. Параметри і застосування.
18. Алгоритми обробки даних в оптичних системах.
19. Сучасний стан квантових обчислень
20. Принципи роботи квантових обчислювальних систем.
21. Реалізація квантових логічних елементів.
22. Алгоритми обробки даних використовуючи квантові логічні елементи.
23. Квантові алгоритми пошуку.
24. Квантова пам'ять.
25. Сфери застосування квантових обчислювальних систем.
26. Перспективи використання квантових обчислень в криптографії

## Докладний план лабораторних робіт

### 2 семестр

#### Змістовний модуль 1: Наноматеріали та їх властивості

##### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. (5 годин)

1. Дослідження струмів витоку індукованих електричним полем в МДН структурах з нанокompозитною плівкою  $\text{SiO}_2(\text{Si})$ .

1.1. Осадження збагачених кремнієм плівок  $\text{SiO}_x$  методом хімічного осадження з парогазової фази при пониженому тиску (LP CVD).

1.2. Формування нанокompозитних плівок  $\text{SiO}_2(\text{Si})$  в результаті високотемпературного відпалу.

1.3. Формування МДН структур з нанокompозитними плівками  $\text{SiO}_2(\text{Si})$  в якості діелектрика.

1.4. Дослідження струмів витоку індукованих електричним полем.

#### Змістовний модуль 2: Фізичні явища в наноструктурах, що протікають під дією електричного поля

##### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. (4 години)

2. Формування та дослідження резонансно-тунельних структур  $\text{SiO}_2\text{-Si-SiO}_2$ .

2.1. Вирощування надтонких плівок двоокису кремнію ( $d=1\text{-}5\text{нм}$ ) термічним окисненням та контроль їх параметрів методом еліпсометрії (товщини, показника заломлення).

2.2. Формування плівок  $\text{SiO}_2$  методом хімічного осадження з парогазової фази при пониженому тиску (LP CVD).

2.3. Формування резонансно-тунельної структури  $\text{SiO}_2\text{-Si-SiO}_2$

2.4. Формування електричних контактів з Al.

2.5. Виміри вольт-амперних характеристик резонансно-тунельної структури  $\text{SiO}_2\text{-Si-SiO}_2\text{-Al}$  на кремнії та їх аналіз. Від'ємна диференційна провідність.

##### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. (4 години)

3. Формування та дослідження елементів енергонезалежної нанокристалічної пам'яті.

3.1. Формування нанокластерів кремнію в діелектричній матриці  $\text{SiO}_2$  методом хімічного осадження з парогазової фази при пониженому тиску та послідуєчого термічного відпалу.

3.2. Формування елементів енергонезалежної нанокристалічної пам'яті  $\text{SiO}_2\text{-Si}(\text{NC})\text{-SiO}_2$ .

3.3. Формування електричних контактів з Al.

3.4. Дослідження параметрів енергонезалежної нанокристалічної пам'яті  $\text{SiO}_2\text{-Si}(\text{NC})\text{-SiO}_2$  (накоплення та стікання заряду, запис/стерання інформаційного заряду та ін.)

#### Змістовний модуль 3: Фізичні процеси в напівпровідникових наноелектронних приладах

##### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. (4 години)

4. Формування кремнієвих наностержнів в порах діелектричної матриці.

4.1. Осадження металічних шарів Al методом термічного випаровування в вакуумі.

4.2. Формування пористого  $\text{Al}_2\text{O}_3$  методом електрохімічного окислення.

4.3. Вирощування плівок Si. Селективний ріст Si наностержнів в порах діелектричної матриці та їх характеристизація (мікроструктура поверхні).

#### Підсумковий контроль – екзамен.



## Перелік рекомендованої літератури

### Основна

1. Пул Ч., Оуэнс Ф. Мир материалов и технологий. Нанотехнологии.- Москва, «Техносфера», 2005, 327 С.
2. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники.- Новосибирск, 2000, 331 С.
3. Sze S.M., Ng Kwong K. Physics of semiconductor devices.- Wiley-Interscience, 2007, 800 P.
4. Sze S.M. Modern semiconductor device physics.- 1998, 547 P.
5. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике. Под ред. Асеева А.Л.- Новосибирск, Из-во сибирского отделения РАН, 2004, 367 С.
6. Нанотехнологии в электронике. Под ред. Чаплыгина Ю.А.- Москва, «Техносфера», 2005, 446 С.
7. Зи С. Физика полупроводниковых приборов.- М., «Мир», 1984, Т.1, Т2.
8. Кравченко А.Ф., Овсяк В.Н. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности.- Новосибирск, 2000.
9. Зи С. Технология СБИС.- М., «Мир», 1986, Т.1, Т.2.
10. Прохоров Е.Д. Твердотельна електроніка. – Підручник, Харківський нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2007, 542 С.
11. Alastair D. McAulay Optical Computer Architectures: The Application of Optical Concepts to Next Generation Computers. - Wiley-Interscience, 1991, 506 P.
12. Deborah Morley Understanding Computers: Today and Tomorrow 12 ed.. - Thomson Course Technology, 2008, 488 P.
13. S. Gupta Optoelectronic Devices and Systems. – Phi Learning Pvt Ltd. -New-Delphi, 2005, 636 P.
14. Mohammad A. Karim, Abdul A.S. Awwal. Optical Computing: An Introduction. - Wiley India Pvt. Ltd., 2010, 376 P.
15. V. Sahni Nanocomputing. The future of computing. –Mac-Graw-Hill. -2008. 174 P.
16. Robert Edward Fischer, Biljana Tadic-Galeb, Paul R. Yoder Optical system design - Spie Press. 828 P.
17. Kurt Engesser, Dov M. Gabbay, Daniel Lehmann. Handbook of Quantum Logic and Quantum Structures. -2008. 726 P.
18. Vedral, Plenio Basics of quantum computation - World Scientific. -1998 -28 P.
19. Gary D. Doolen Introduction to Quantum Computers - World Scientific Publishing Company -1997. 197 P.
20. Macchiavello C., Palma G.M., Zeilinger A. Quantum Computation and Quantum Information Theory. – WS. 2001. 531 P.
21. Стин Э. Квантовые вычисления. – РХД 2000. 111 С.
22. Холево А.С. Введение в квантовую теорию информации. МЦНМО 2002. 127 С.
23. Kollmitzer C., Pivk M. Applied Quantum Cryptography. –Springer. 2010. 227 P.

### Додаткова

1. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников. М., Физматлит, 2002, 560 С.
2. Лозовський В.З., Третяк О.В. Фізика напівпровідників. – Підручник, Київський націон. ун-т ім. Т. Шевченка, 2008, 337 С.
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников.- М. «Энергия», 1976, 416 С.
4. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников.- М., 1977.
5. Као К., Хуанг В. Перенос электронов в твердых телах. –М.1984.
6. Смит Р. Полупроводники. –М.1982.
7. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОН транзисторов.- М., «Техносфера», 2002, 415 С.
8. Feitelson, D., Optical Computing, -The MIT Press, 1988. 220 P.

9. F. J. Duarte. Ultrafast All-Optical Signal Processing Devices. – Wiley. 2008. 258 P.