КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Декан

___________ Андрій НЕТРЕБА

« ____ » ___________ 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Семінар з наноелектроніки

для студентів

галузь знань	**10 "Природничі науки"**
спеціальність	**105 "Прикладна фізика та наноматеріали"**
освітня програма	**"Прикладна фізика та наноматеріали"**
рівень вищої освіти	**другий освітньо-науковий (магістр)**
вид дисципліни	**вибіркова**

Форма навчання	**денна**
Навчальний рік	**2024-2025**
Семестр	**4**
Кількість кредитів ECTS	**3**
Мова викладання, навчання та оцінювання	**українська**
Форма заключного контролю	**залік**

Викладач:
Карлаш Ганна Юріївна, канд. фіз.-мат. наук, завідувач кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

Пролонговано: на 20__/20__ н. р. ___________ (_______________) « ___ » _________ 20__ р.

на 20__/20__ н. р. ___________ (_______________) « ___ » _________ 20__ р.

Розробники:

Горячко Андрій Миколайович, доктор фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

Карлаш Ганна Юріївна, канд. фіз.-мат. наук, завідувач кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Завідувач кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки'

__________________________ Г. Ю. Карлаш

Протокол № __ від « ___ » ________ 2023 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Протокол № ___ від « ___ » _____________ 2023 р.

Голова науково-методичної комісії С. П. Радченко

« ___ » _____________ 2023 року.

ВСТУП

1. Мета дисципліни – ознайомлення студентів із усіма основними аспектами сучасної наноелектроніки, оволодіння навичками пошуку, синтезу, аналізу та верифікації достовірності інформації, оцінювання перспективи практичного застосування запропонованих технологій/експериментальних підходів/теоретичних моделей в галузі наноелектроніки для застосування в суміжних галузях, таких як оборонна промисловість, ІТ, охорона здоров’я тощо, аналіз методів підвищення ефективності використання наноелектронних пристроїв.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «Семінар з наноелектроніки» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки бакалавра, а саме: “Загальна фізика”, “Фізика твердого тіла”, «Теоретична фізика”, “Диференціальні та інтегральні рівняння”, “Мікро та наноелектроніка”.

Попередні вимоги:

1. студент повинен знати: основні закони, рівняння та співвідношення курсу загальної фізики, курсу фізики твердого тіла, курсу теоретичної фізики, курсу лінійної алгебри, курсу диференціальних та інтегральних рівнянь та курсу теорії електричних кіл.

2. студент повинен вміти: будувати фізичні моделі реальних систем в рамках концепцій квантової фізики, записувати основні в рівняння їхніх математичних формулювань, ідентифікувати основні наближення для практичного розв’язку цих рівнянь, як аналітичними так і чисельними методами.

3. студент повинен знати: базові основи теорії мезоскопічних фізичних систем та традиційної схемотехніки інтегральної мікроелектроніки.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Вивчення дисципліни «Семінар з наноелектроніки» дозоляє вивчити фізичні та схемотехнічні принципи сучасної наноелектроніки та її перспективних поколінь. Розглядаються основні типи базових елементів наноелектронних приладів та наноелектронні схеми високого ступеню інтеграції. Детально аналізуються принципи роботи базових елементів на основі точного квантово-механічного опису, таких як квантові ями, квантові дроти та квантові точки. Слухачі вивчають сучасні та перспективні технології виготовлення цих елементів, як літографічні так і засновані на процесах самозбирання. Розглядаються концепції побудови наноелектронних схем, що є мімікою традиційних схемотехнічних рішень в мікроелектроніці, а також оригінальні концепції на кшталт серійних тунельних переходів, квантових коміркових автоматів, тощо, призначенням яких є генерація та підсилення аналогових сигналів, а також обробка цифрових та зберігання цифрової інформації. Окремо увагу приділено наноелектронним пристроям, що можуть реалізовувати квантові обчислення.

4. Завдання (навчальні цілі):

1. Надати основні відомості з курсу «Семінар з наноелектроніки», які складають важливу частину загально-наукової підготовки магістра за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».
2. Надати основні знання з теорії нанорозмірних електронних приладів, технологій їхнього створення, практичних аспектів застосування та потенціалу подальшого розвитку.
3. Навчити застосовувати знання в галузі наноелектроніки у подальшій професійній діяльності на виробництві, конструкторьских бюро і т.п., а також в подальшому навчанні в аспірантурі.
4. Навчити ефективно комунікувати отримані знання перед аудиторією фахівців, що підвищуватиме конкурентоспроможність випускника магістратури на ринку праці, в т.ч. і за межами України.

Забезпечення досягнення компетентностей:

ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.;
ЗК 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.;

ЗК 4. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.;
ЗК 5. Здатність спілкуватися іноземною мовою.;
ЗК 6. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.;
ЗК 9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.;
ЗК 10. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).;
ЗК 12. Навички міжособистісної взаємодії.;
ЗК 13. Здатність працювати автономно.;

ФК 1. Здатність брати участь у складанні запитів на виконання наукових та науково-технічних проектів, в тому числі і міжнародних.;
ФК 7. Здатність брати участь в роботі колективів виконавців, у тому числі у міждисциплінарних проектах.;
ФК 8. Здатність брати участь у формуванні запитів щодо матеріально-технічного забезпечення досліджень.;
ФК 9. Здатність до постійного поглиблення знань в галузі прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.;
ФК 12. Здатність використовувати знання про фізичну природу об'єктів у роботах по створенню нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів і речовин, зокрема, наноматеріалів.;
ФК 14. Здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи базові методи дослідницької діяльності.;

8. **Результати навчання за дисципліною**:

Результат навчання (1, знати; 2, вміти; 3, комунікація; 4, автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1	студент повинен **знати**:	практичні заняття з використанням медійних та дистанційних технологій	доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	до 45
1.1	Загальні основи фізики електронних явищ у нанорозмірному масштабі в твердих тілах	=//=	=//=	*До 7*
1.2	Базові підходи до обчислення спектру електронних станів в квантових точках, дротах та ямах	=//=	=//=	*До 7*
1.3	Основні фізичні властивості одно- та дво-вимірних матеріалів та способи їхнього застосування в наноелектроніці	=//=	=//=	*До 6*
1.4	Основні фізичні підходи до виготовлення, в т.ч. серійного, базових елементів наноелектронних схем.	=//=	=//=	*До 9*
1.5	Основні фізичні моделі та механізми протікання електричного струму через тунельні переходи та нанорозмірні області твердого тіла	=//=	=//=	*До 8*
1.6	Особливості спін-залежних явищ в наноелектронних приладах в присутності магнітного поля	=//=	=//=	*До 8*
2	студент повинен **вміти**:	практичні заняття з використанням медійних та дистанційних технологій	доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	до 40
2.1	Володіти навичками пошуку та верифікації достовірності інформації на задану наукову тему, користуючись науковою літературою, у т.ч. періодикою, у т.ч. іноземними мовами, за тематикою наноелектроніки та інтегральної електроніки	=//=	=//=	*До 10*

2.2	Проводити детальний аналіз повноти проведеного дослідження, правомірності застосованих теоретичних моделей, коректність висновків за науковою темою, порівняння з іншими публікаціями на задану тематику	=//=	=//=	*До 15*
2.3	Оцінювати перспективи практичного застосування запропонованих технологій/експериментальних підходів/теоретичних моделей в галузі наноелектроніки для застосування в оборонній промисловості, ІТ, озороні здоров'я тощо	=//=	=//=	*До 15*
3	**комунікація:**	практичні заняття з використанням медійних та дистанційних технологій	доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	до 5
3.1	Здатність грамотно комунікувати важливість розвитку такої галузі як наноелектроніка, та інвестицій в цю галузь, з метою створення рушійної сили для розвитку інших галузей: ІТ, аерокосмічної, оборонної, охорони здоров'я, тощо	=//=	=//=	*До 3*
3.2	Здатність до командної роботи при участі у великих комерційних проектах створення наноелектронних приладів надвеликого ступеню інтеграції	=//=	=//=	*До 2*
4	**автономність та відповідальність:**	практичні заняття з використанням медійних та дистанційних технологій	доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	до 5
4.1	Здатність до самостійної роботи з науковою літературою, в т.ч. періодикою, в т.ч. іноземними мовами, за тематикою наноелектроніки, інтегральної електроніки, квантової фізики	=//=	=//=	*До 3*
4.2	Здатність самостійно визначати практичні перспективи запропонованих концепцій базових елементів інтегральної наноелектроніки	=//=	=//=	*До 2*

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання:

Програмні результати навчання	**Результати навчання дисципліни**												
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1	4.2
ПРН 1. Глибокі знання в галузі сучасної прикладної фізики і фізики наноматеріалів.													
ПРН 2. Розуміння технологій та теоретичних та експериментальних методів дослідження властивостей речовин і матеріалів	+	+							+			+	+
ПРН 3. Знання сучасних обчислювальних та інформаційних технологій.;	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
ПРН 4. Знання іноземної мови.;							+	+	+	+	+	+	+
ПРН 6. Знаходити і аналізувати науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій			+			+	+	+			+	+	
ПРН 9. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.;				+		+	+				+	+	
ПРН 10. Оцінювати важливість матеріалів для досягнення цілей наукового дослідження в галузі прикладної фізики.;	+			+					+	+	+		+
ПРН 12. Інтерпретувати науково-технічну інформацію			+			+			+				
ПРН 13. Представляти і захищати отримані наукові і практичні результати в усній та письмовій формі					+	+	+					+	

ПРН 14. Використовувати сучасні методи і технології наукової комунікації українською та іноземними мовами	+	+								+			+
ПРН 15. Розробляти та формулювати свої професійні висновки та розумно їх аргументувати для фахової та нефахової аудиторії		+	+	+			+					+	+
ПРН 17. Об'єктивна самооцінка отриманих результатів та спроможність забезпечувати їх надійність	+				+				+			+	
ПРН 18. Розв'язувати складні наукові, дослідницькі та інженерно-технічні задачі в області прикладної фізики та фізики наноматеріалів, які вимагають поглиблених знань у галузі фізики, математики, комп'ютерних технологій.;		+	+				+				+		

7. Схема формування оцінки

7.1. Форми оцінювання студентів: рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт. Внесок результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні:

- результати навчання 1.1 – 1.6 [**знання**] – до 45 %;
- результат навчання 2.1 – 2.3 [**вміння**] – до 40%;
- результат навчання 3.1-3.2 [**комунікація**] – до 5%;
- результат навчання 4.1-4.2 [**автономність та відповідальність**] – до 10%;

Форми оцінювання студентів:

семестрове оцінювання: контроль здійснюється за таким принципом.

1. Доповідь студента в академічній групі з тем 1-7 : РН 1.1-3, РН 2.1, РН 3.1, РН 4.1 – 30 балів.
2. Доповідь студента англійською мовою в академічній групі з тем 8-14: РН 1.4-6, РН 2.2-3, РН 3.2, РН 4.2 – 30 балів.

Підсумкове оцінювання (у формі заліку): форма заліку – письмово-усна. Всього за залік можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, при цьому, оцінка за залік не може бути меншою **24 балів.**

- **умови допуску до підсумкового заліку:** умовою допуску до заліку є отримання студентом сумарно не менше, ніж *критично-розрахунковий мінімум* за семестр – **36 балів**.

7.2. Організація оцінювання:

Оцінювання за формами контролю:

Семестрова робота	Кількість балів	
	Min. – балів	Max. – балів
1-а доповідь студента в академічній групі	18	30
2-а доповідь англійською мовою студента в академічній групі	18	30

Орієнтований графік оцінювання:

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
1-а доповідь студента в академічній групі	лютий – березень
2-а доповідь студента в академічній групі	квітень-травень
Залік	травень

Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі заліку:

Значення	Семестр	Залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	36	24	60
Максимум	60	40	100

7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
Зараховано / Accepted	60-100%
Не зараховано / Not Accepted	0-59%

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план практичних занять

№ з/п	Назва теми	У тому числі – кількість годин		
		Лекції	Семінарські	Самостійна робота
1	Вступ та огляд курсу “Семінар з наноелектроніки”.	-	1	2
2	Твердотільна реалізація квантових ям, дротів та точок	-	2	4
3	Електронна структура квантових ям, дротів та точок, методи аналітичного та чисельного розрахунку	-	1	4
4	Тунельні бар’єри, твердотільна реалізація та методи обчислення тунельного струму	-	1	2
5	Транзистори та інші активні елементи на основі тунельних бар’єрів	-	1	4
6	Складні молекули як природні базові елементи наноелектронних схем	-	2	4
7	Створення активних елементів та наноелектронних схем на основі двовимірних матеріалів	-	2	4
8	Наноелектроніка НВЧ	-	2	6
9	Цифрова схемотехніка в наноелектронному виконанні, основні концепції та підходи	-	2	4
10	Наноелектронні пристрої зберігання інформації	-	2	6
11	Наноелектроніка та нанофотоніка	-	2	6
12	Магнітні явища в наноелектронних пристроях	-	2	2
13	Наноелектроніка та квантові обчислення	-	2	4
14	Наноелектронні схеми надвисокого ступеню інтеграції	-	2	3
15	Методи підвищення ефективності роботи пристроїв та схем наноелектроніки.	-	4	6
Всього		**-**	**28**	**61**

Загальний обсяг **90** год., в тому числі:
Семінарські **28 год.**
Консультації **1** год.
Самостійна робота **61** год.

Glossary of terms in Nanoelectronics

Bottom-up assembly - a methodology by which larger structures are made by assembling many smaller ones (*e.g.*, when nanoparticle building blocks are brought together to create larger assemblies).

Top-down assembly - the process of removing material from a larger structure to create smaller ones.

Electron transfer - the passage of an electron from one constituent of a system to another, as from one molecule or ion to another. Applications include photography, xerography, and dye-sensitized injection solar cells.

Electron tunneling - the passage of electrons through a barrier that, according to the principles of classical mechanics, cannot be breached. An example of electron tunneling is the passage of an electron through a thin insulating barrier between two superconductors. Electron tunneling is a pure quantum mechanical effect that cannot be explained by a classical theory.

Field emission - the emission of electrons from the surface of a metallic conductor into a vacuum (or into an insulator) under influence of a strong electric field. In field emission, electrons penetrate through the potential surface barrier by virtue of the quantum-mechanical tunnel effect. Also known as cold emission.

Fuel cell - an electrical cell that converts the intrinsic chemical free energy of a fuel into direct-current electrical energy in a continuous catalytic process. Fuel cells extract the chemical energy bound in fuel and, in combination with air as an oxidant, transform it into electricity. Researchers are hoping to develop fuel cells that could take the place of combustion engines, thereby reducing the world dependence on fossil fuels.

Hierarchical assembly - a controlled means of assembly where individual components have varying levels of assembly affinity to allow for the stepwise growth of a structure. This allows for the formation of complex materials and systems using a bottom-up approach.

Junctions - in electronics, the interface between two different types of materials within diodes, transistors, and other semiconductor devices.

lab-on-a-chip devices - miniaturized analytical systems that integrate a chemical laboratory on a chip. Lab-on-a-chip technology enables portable devices for point-of-care (or on-site) medical diagnostics and environmental monitoring.

Metal organic framework (MOF) - a class of compounds consisting of metal ions that are coordinated to organic ligands to form porous, crystalline structures with applications in catalysis, water remediation, and gas storage.

Microfluidic device - a device that has one or more channels with at least one dimension less than 1 mm. Common fluids used in microfluidic devices include whole blood samples, bacterial cell suspensions, protein or antibody solutions and various buffers. The small amounts of samples needed and relative inexpensiveness of microfluidic devices make them attractive for biomedical research and creating clinically useful technologies. One of the long term goals in the field of microfluidics is to create integrated, portable clinical diagnostic devices for home and bedside use, thereby eliminating time consuming laboratory analysis procedures.

Micromachining - the use of standard semiconductor technologies along with special processes to fabricate miniature mechanical devices and components on silicon and other materials.

Nanomanipulation - the process of manipulating items at an atomic or molecular scale in order to produce precise structures.

Quantum confinement effect - atoms caged inside nanocrystals

Self-assembly - at the molecular level, the spontaneous gathering of molecules into well-defined, stable, structures that are held together by intermolecular forces. In chemical solutions, self-assembly (also called Brownian assembly) results from the random motion of molecules and the affinity of their binding sites for one another. Self-assembly also refers to the joining of complementary surfaces in nanomolecular interaction. Developing simple, efficient methods to organize molecules and molecular clusters into precise, pre-determined structures is an important area of nanotechnology exploration.

9. Рекомендовані літературні джерела:

Основні джерела:

1. P. Harrison. Quantum Wells, Wires and Dots – Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures. – John Wiley & Sons Ltd, 2005. – 482 pp.

2. V.V. Mitin, V.A. Kochelap, M.A. Stroscio. Introduction to Nanoelectronics – Science, Nanotechnology, Engineering, and Applications. – Cambridge University Press, 2008. – 329 pp.

3. B.R. Nag. Physics of Quantum Well Devices. – Kluwer Academic Publishers, 2002. – 296 pp.

3. E.A. Gutierrez-D. Nano-Scaled Semiconductor Devices - Physics, Modelling, Characterisation and Societal Impact. – The Institution of Engineering and Technology, 2016. – 453 pp.

4. Для підготовки доповідей англійською мовою викладач обирає найновіші та найактуальніші (на момент підготовки доповіді) публікації в загальновизнаних міжнародних періодичних фахових виданнях.

Додаткові джерела:

1. S. Datta. Lessons from Nanoelectronics. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2017. – 251 pp.

2. J. Hoekstra. Introduction to Nanoelectronic Single-Electron Circuit Design. – Taylor & Francis Group, LLC, 2009. – 292 pp.

3. E.A. Gutierrez-D. Nano-Scaled Semiconductor Devices - Physics, Modelling, Characterisation and Societal Impact. – The Institution of Engineering and Technology, 2016. – 453 pp.