

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана з навчальної роботи

_____ Олексій НЕЧИПОРУК

« ____ » _____ 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика поверхні

для студентів

рівень вищої освіти

другий (магістерський)

галузь знань

10 Природничі науки

спеціальність

105 Прикладна фізика та наноматеріали

освітня програма

Прикладна фізика та наноматеріали

вид дисципліни

вибіркова

Форма навчання

денна

Навчальний рік

2022/2023

Семестр

3

Кількість кредитів ECTS

4

Мова викладання

українська

Форма заключного контролю

залік

Викладач:

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

Пролонговано:

на 20__/20__ н. р. _____ (_____) « ____ » _____ 20__ р.
на 20__/20__ н. р. _____ (_____) « ____ » _____ 20__ р.

Розробник:

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

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Завідувач кафедри квантової радіофізики
та наноелектроніки

_____Ганна КАРЛАШ

Протокол № __ від « __ » _____ 2022 р.

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

Протокол № __ від « __ » _____ 2022 р.

Голова науково-методичної комісії

Сергій РАДЧЕНКО

« __ » _____ 2022 року.

ВСТУП

1. Мета дисципліни – ознайомлення студентів із усіма основними аспектами сучасної мікроелектроніки низьких температур.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «Семинар 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 та рівняння загальної фізики, фізики твердого тіла, фізики напівпровідників, теорії електричних кіл, теорії твердотільних напівпровідникових приладів, курсу мікро- та нано-електроніки.

2. студент повинен вміти: будувати фізичні моделі реальних електронних схем, записувати основні математичні рівняння цих моделей, вміти розв’язати ті з цих рівнянь, які допускають аналітичний розв’язок, та орієнтуватись в існуючих програмних та обчислювальних засобах, необхідних для чисельного розв’язку тих рівнянь, для яких аналітичний розв’язок не є можливим.

3. студент повинен знати: базові основи фізики низьких температур та криогенної техніки.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Вивчення дисципліни «Семинар з криогенної та мікроелектроніки» дозволяє вивчити фізичні та технічні принципи сучасних електронних систем, функціонування яких вимагає підтримання криогенних температур, та які застосовуються в наукових дослідженнях або на підприємствах оборонної та аеро-космічної галузі. Це, в першу чергу, активні елементи аналогової електроніки, що працюють в мікрохвильовому діапазоні. Окрім цього, в даному курсі приділено увагу цифровій електроніці, логічним елементам та елементам пам’яті, що призначені для проведення обчислень в умовах криогенних температур. Розглядаються основи фізики напівпровідників, металів та ізоляторів при низьких та наднизьких температурах, а також функціонування та робочі параметри базових елементів мікроелектронних приладів та інтегральних схем високого ступеню інтеграції при цих температурах. Велику увагу приділено надпровідній електроніці, зокрема заснованій на Джозефсонівських переходах але також і на квантових ямах, квантових дротах, квантових точках та топологічних матеріалах. Детально аналізуються принципи їхньої роботи на основі квантово-механічного опису. Слухачі вивчають основи криогенної техніки, таких як криостати для досягнення азотних, гелієвих та температур субкельвінівського діапазону. Важливою частиною курсу є висвітлення явища шумів в криогенних електронних пристроях, радіаційні ефекти у відповідних напівпровідникових структурах та питання їхньої надійності. Розглянуто сучасні та перспективні криогенні електронні пристрої для реалізації квантових обчислень.

4. Завдання (навчальні цілі):

- Надати основні відомості з курсу «Семинар з криогенної та мікроелектроніки», які складають важливу частину загально-наукової підготовки магістра за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».

- Надати основні знання з теорії криогенних електронних приладів, практичних аспектів криогенної техніки та її застосування для забезпечення необхідних умов роботи спеціалізованих мікроелектронних схем.

- Навчити застосовувати знання в галузі криогенної техніки та мікроелектроніки у подальших власних наукових дослідженнях, а також при розробці та експлуатації приладів криогенної та мікроелектроніки на виробництвах та підприємствах, конструкторських бюро і т.п.

- Навчити продуктивної комунікації отриманих знань та результатів досліджень, розробок, тощо, як перед аудиторією фахівців та і перед загальною аудиторією стейкхолдерів.

Дисципліна спрямована на формування програмних компетентностей:

Загальні компетентності:

- ЗК 2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

- ЗК 11. Здатність працювати в команді.

Фахові компетентності:

- ФК 2. Здатність брати участь у плануванні методики проведення та матеріального забезпечення експериментів та лабораторних досліджень.

- ФК 11. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання для опису фізичних об'єктів, пристроїв та процесів.

5. 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 низьких температур в твердих тілах			
1.2	Базові підходи до обчислення фізичних властивостей напівпровідників в діапазоні криогенних температур			
1.3	Основні робочі параметри мікромініатюризованих електронних приладів при низьких температурах			
1.4	Основи криогенної техніки, що працює в різних діапазонах: азотному, гелієвому та субкельвінієському			
1.5	Основні типи криогенних мікрохвильових активних електронних приладів			
1.6	Фізичний принцип дії та типові характеристики основних приладів надпровідної електроніки			
2	студент повинен вміти :	практичні заняття з використанням медійних та дистанційних технологій	доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	до 45
2.1	Будувати еквівалентні схеми електронних приладів, що працюють в криогенних умовах			
2.2	Розраховувати рівень шумів та граничні частоти роботи активних електронних приладів при температурах рідкого азоту та гелію			
2.3	Визначати тепловий баланс інтегральних електронних приладів високого ступеню інтеграції, що функціонують в умовах активного криогенного охолодження			
3	комунікація :	практичні заняття з використанням медійних та дистанційних технологій	доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	до 5
3.1	Здатність ефективно доносити власну думку до співбесідника під час дискусії з науково-технічної тематики			
3.2	Здатність до корельованого докладання зусиль під час виконання масштабних виробничих командних проектів в галузі криогенної електронної техніки			
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 індивідуальної роботи за власною науковою тематикою			
4.2	Здатність до самостійного пошуку науково-технічних публікацій присвячених фізичним принципам функціонування криогенних електронних приладів			

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 4. Знання іноземної мови.		+						+					+	
ПРН 9. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем		+	+				+	+			+		+	
ПРН 13. Представляти і захищати отримані наукові і практичні результати в усній та письмовій формі	+		+			+								
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 45%;
- результат навчання 3.1-3.2 [комунікація] – до 5%;
- результат навчання 4.1-4.2 [автономність та відповідальність] – до 5%;

Форми оцінювання студентів:

Семестрове оцінювання: контроль здійснюється за таким принципом.

1. Доповідь студента в академічній групі з тем 1-5 (письмово): РН 1.1-3, РН 2.1, РН 3.1, РН 4.1 – 30 балів.

2. Доповідь студента в академічній групі з тем 6-10 (письмово): 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 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	вересень-грудень
2-а доповідь студента в академічній групі	лютий-квітень
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	90-100%
Не зараховано / Not Accepted	75-89%
	60-74%
	0-59%

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план практичних занять

№ з/п	Назва теми	У тому числі - кількість годин		
		Лекції	Семинарські	Самостійна робота
1	Фізика кремнію при низьких температурах	-	4	8
2	Аспекти надійності електронних приладів на основі кремнію при криогенних температурах	-	4	8
3	Радіаційні ефекти та шум в кремнієвих електронних приладах при наднизьких температурах	-	4	8
4	Криогенні електронні прилади на основі гетероструктур та багатокомпонентних напівпровідників	-	4	8
5	Криогенні фотодетектори	-	4	8
6	Елементна база надпровідної електроніки	-	4	8
7	Мікрохвильові криогенні електронні прилади	-	4	8
8	Основи криогенної техніки охолоджуваних електронних приладів	-	4	8
9	Спеціальні криоелектронні прилади для проведення квантових очислень	-	4	8
10	Високотемпературні надпровідники в криогенній мікроелектроніці	-	4	8
Всього		-	40	80

Загальний обсяг **120** год., в тому числі:
 Семінарські **40** год.
 Самостійна робота **80** год.

9. Рекомендовані літературні джерела:

Основні джерела:

1. E.A. Gutierrez-D., M.J. Deen, C. Claeys. Low Temperature Electronics: Physics, Devices, Circuits, and Applications. – Academic Press, 2001. – 964 pp.
2. T.M. Flynn. Cryogenic Engineering. – Marcel Dekker, 2005. – 890 pp.
3. T.T. Heikkila. Transport and Fluctuation Phenomena at Low Temperatures. – Oxford University Press, 2013. – 279 pp.

Додаткові джерела:

1. H. Zhai. Ultracold Atomic Physics. – Cambridge University Press, 2021. – 300 pp.
2. V. Polushkin. Nuclear Electronics with Quantum Cryogenic Detectors. – John Wiley & Sons Ltd, 2022. – 429 pp.
3. J.D. Hidary. Quantum Computing: An Applied Approach. – Springer Nature Switzerland AG, 2021. – 422 pp.