Національний технічний університет України «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»		Кафедра прикладної фізики

Фізика напівпровідникових приладів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

1. Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	***Другий (магістерський)***
Галузь знань	*10 Природничі науки*
Спеціальність	*105 Прикладна фізика та наноматеріали*
Освітня програма	*Прикладна фізика*
Статус дисципліни	*Вибіркова*
Форма навчання	*Очна (денна)*
Рік підготовки, семестр	*4 курс, осінній семестр*
Обсяг дисципліни	*4 кредита, 120 годин, 36 годин лекції, 36 годин практичних, 18 годин самостійна робота*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*Залік, модульна контрольна робота, реферат*
Розклад занять	*http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses*
Мова викладання	*Українська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: *доцент, к.ф.-м.н., Гільчук Андрій Володимирович, моб. (096)9378658, a.v.gilchuk@gmail.com* Практичні: *доцент, к.ф.-м.н., Гільчук Андрій Володимирович, моб. (096)9378658, a.v.gilchuk@gmail.com*
Розміщення курсу	

2. Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

Даний курс розрахований на студентів 4 курсу бакалаврату спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали». Розглянуто основні типи напівпровідникових приладів, фізичні основи їх функціонування, будову, технологію виробництва, закони і тенденції їх розвитку.

Метою кредитного модуля є формування у студентів здатностей:

аналізувати закони і тенденції розвитку напівпровідникових приладів;

проводити пошук та аналіз літературних джерел стосовно нових розробок в галузі напівпровідникових приладів.

Основні завдання кредитного модуля:

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

знання: основ фізики напівпровідникових приладів, технології виготовлення напівпровідникових приладів, типи, застосування, будову і принципи роботи основних сучасних і майбутніх напівпровідникових приладів, тенденції і закони розвитку напівпровідникової галузі;

вміння: розрахунок параметрів напівпровідникових приладів;

досвід симуляцій характеристик напівпровідникових приладів в програмних пакетах типу TCAD.

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК9 Здатність працювати автономно

Фахові компетентності (ФК)

ФК7 Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

ФК11 Здатність використовувати знання основ професійно-орієнтованих дисциплін для виконання наукових досліджень, розв'язання практичних проблем прикладної фізики та для самостійного опанування нових технологій, в тому числі із суміжних галузей, застосовувати отримані знання і практичні навички для прийняття інноваційних рішень при розв'язанні складних практичних задач або в навчанні, зокрема, високих фізичних технологій та/або фізики живих систем та/або фізики енергетичних систем.

Програмні результати навчання (ПРН)

ПРН6 Відшуковувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.

ПРН7 Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для освоєння курсу студенти повинні мати базові знання по дисциплінах «Загальна фізика. Атомна фізика», «Фізика твердого тіла», «Загальна фізика. Електрика і магнетизм». Знання набуті під час вивчення дисципліни можуть знадобитись при роботі над магістерською дисертацією.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ до курсу Фізика напівпровідникових приладів
Тема 1.1. Основи фізики напівпровідників
Тема 1.2. Тенденції розвитку напівпровідникової галузі. Закон Мура
Розділ 2. Принципи роботи напівпровідникових приладів
Тема 2.1. p-n перехід
Тема 2.2. Діод

Тема 2.3. Транзистор
Розділ 3. Будова чипа
Тема 3.1. Типи чипів за призначенням і будовою
Розділ 4. Транзисторна логіка
Тема 4.1. Стандартні комірки
Тема 4.2. Логічні комірки типу НІ, АБО-НІ, І-НІ
Модульна контрольна робота
Розділ 5. Транзистор типу метал-оксид-напівпровідник (MOSFET)
Тема 5.1. Будова і принцип роботи транзистору типу метал-оксид-напівпровідник
Тема 5.2. Характеристики транзистору типу метал-оксид-напівпровідник. Криві Id-Vd, Id-Vg
Розділ 6. Транзистор з вертикальним затвором
Тема 6.1. FINFET
Тема 6.2. Подальший розвиток GAAFET. NWFET, NSFET, CFET, FSFET
Розділ 7. Технології виробництва напівпровідникових приладів
Тема 7.1. FEOL та BEOL
Тема 7.2. Літографія. PVD, CVD, активація домішок
Розділ 8. Пристрої пам'яті
Тема 8.1. Фізичні основи та реалізації пристроїв пам'яті
Розділ 9. Проблеми надійності
Тема 9.1. Перегрів. Електроміграція. Термомеханічні деформації
Розділ 10. 3D чипи
Тема 10.1. Методи 3D інтеграції чипів та супутні проблеми
Залік

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні

1. M Rudan, R Brunetti, Susanna Reggiani Springer Handbook of Semiconductor Devices 2023
2. S Tayal, A K Upadhyay, D K and S B Rah Emerging Low-Power Semiconductor Devices Applications for Future Technology Nodes CRC Press 2023
3. D. Nirmal, J. Ajayan, Patrick J. Fay Semiconductor Devices and Technologies for Future Ultra Low Power Electronics CRC Press 2022

Додаткові

5. Навчальний контент

6. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	**Назва теми лекції та перелік основних питань** *(перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)*
1	**Вступ до курсу фізика напівпровідникових приладів**. Основи фізики напівпровідників. Власні напівпровідники, донори, акцептори
Література:	

Завдання на СРС:	
2	**Тенденції розвитку напівпровідникової галузі.** Метрики швидкодія-потужність-площа-ціна. Закон Мура. Ери в напівпровідниковий галузі
Література:	
Завдання на СРС:	
3	**Принципи роботи напівпровідникових приладів.** P-n перехід, бар'єрна ємність і потенціал
Література:	
Завдання на СРС:	
4	**Принцип роботи напівпровідникового діоду.** Модель дрейфу і дифузії. Закон Шоклі
Література:	
Завдання на СРС:	
5	**Будова і принцип роботи транзистора**. Польовий транзистор. Виток, джерело, затвор. Режими роботи
Література:	
Завдання на СРС:	
6	**Будова чипа.** Елементи чипа. Види чипів за будовою і призначенням
Література:	
Завдання на СРС:	
7	**Транзисторна логіка.** Блоки. Стандартні комірки. Бібліотеки
Література:	
Завдання на СРС:	
8	**Транзисторна логіка.** Комірки НІ, І-НІ, АБО-НІ
Література:	
Завдання на СРС:	
9	**Транзистор типу метал-оксид-напівпровідник (MOSFET).** Будова і принцип роботи MOSFET
Література:	
Завдання на СРС:	
10	**Характеристики транзисторів типу метал-оксид-напівпровідник**. Криві Id-Vd, Id-Vg
Література:	
Завдання на СРС:	
11	**Транзистор з вертикальним затвором**. Будова і принцип FINFET
Література:	
Завдання на СРС:	
12	**Кінець ери FINFET, наступні технології**. GAAFET. NWFET, NSFET, CFET, FSFET

Література:	
Завдання на СРС:	
13	**Технології виготовлення напівпровідникових приладів**. FEOL, BEOL
Література:	
Завдання на СРС:	
14	**Технології виготовлення напівпровідникових приладів**. Літографія. Травлення. Епітаксія. ALD. PVD, CVD, активація домішок
Література:	
Завдання на СРС:	
15	**Пристрої пам'яті**. Фізичні основи та реалізації пристроїв пам'яті
Література:	
Завдання на СРС:	
16	**Проблеми надійності**. Перегрів. Електроміграція. Термомеханічний стрес
Література:	
Завдання на СРС:	
17	**3Д чипи**. Методи 3Д інтеграції та супутні проблеми
Література:	
Завдання на СРС:	

Практичні заняття

№ з/п	**Назва теми заняття**
1	Знайомство з програмним пакетом GTC (Global Tcad Solutions)
Література:	
Завдання на СРС:	
2	Побудова геометрії в пакеті GTS. Вибір матеріалів і властивостей
Література:	
Завдання на СРС:	
3	Задання областей легування і побудова сітки
Література:	
Завдання на СРС:	
4	Напівкласичні моделі для моделювання електричних процесів в напівпровідникових приладах
Література:	
Завдання на СРС:	
5	Симуляція електричних характеристик діоду і транзистора
Література:	
Завдання на СРС:	
6	Симуляція теплових ефектів в напівпровідникових приладах

Література:	

7. Самостійна робота студента/аспіранта

1. Літографія. PVD, CVD процеси

2. Пристрої логіки

3. Пристрої пам'яті

4. Квантово-механічні моделі симуляції електричних процесів на напівпровідникових приладах

5. Компактні моделі напівпровідникових приладів

6. Ера пост Мура, нові напрямки

7. 3Д чипи

.

3. Політика та контроль

8. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Заохочення

Найкращий конспект лекцій – до 5 балів, участь у факультетській олімпіаді по фізиці – від 5 до 10 балів залежно від результату, за наявності підтверджуючих документів. Участь в конференції – 10 балів.

Пропущені контрольні заходи

Результат модульної контрольної роботи для студента(-ки), який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, студент(-ка) має можливість написати модульну контрольну роботу, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів. Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається.

Тематичне завдання, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання, не оцінюється.

Календарний рубіжний контроль

Проміжна атестація студентів (далі – атестація) є календарним рубіжним контролем. Метою проведення атестації є підвищення якості навчання студентів та моніторинг виконання графіка освітнього процесу студентами [1].

Критерій			Перша атестація	Друга атестація
Термін атестації [2]			8-ий тиждень	16-ий тиждень
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг [3]		≥ 10 балів	≥ 30 балів
	Поточний контрольний захід	Модульна контрольна робота	+	+

[1] Рейтингові системи оцінювання результатів навчання: Рекомендації до розроблення і застосування. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 20 с.
[2] Там само.
[3] Там само.

	Поточний контрольний захід	Захист реферату	+	+

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: https://kpi.ua/code.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: https://kpi.ua/code.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Дистанційне навчання (необов'язковий пункт)

Дистанційне навчання здійснюється через ZOOM, Telegram, електронну пошту тощо. Проводяться заняття онлайн, надаються всі необхідні матеріали, видаються завдання для самостійної роботи з можливістю консультування з викладачем, подальша їх перевірка та оцінювання.

9. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Видами контролю успішності засвоєння матеріалу є оцінка за відвідування лекцій і практичних занять, відповіді і рішення завдань на практичних заняттях, модульну контрольну роботу (МКР), виконання і захист розрахунково-графічної роботи та семестровий контроль (залік).

Активність на лекційних заняттях

За кожну правильну відповідь з місця можна отримати 1 бал. Максимальна кількість балів – 10.

Відповіді і рішення завдань на практичних заняттях

За кожну правильно вирішену задачу можна отримати 5 балів. Максимальна кількість балів – 20.

Модульна контрольна робота (МКР)

Модульна контрольна робота складається з 2 частин, проводиться після вивчення 4 та 8 тем в письмовому вигляді і складається з теоретичних питань і задачі.

Максимальна кількість балів за контрольну роботу – 20 балів.

- вичерпна відповідь – 20 балів;
- відповідь з незначними неточностями – 15-19 балів;
- неповна відповідь та незначні помилки – 10 – 15 балів;

– грубі помилки – 1-9
– незадовільна відповідь – 0 балів.

Виконання і захист реферату

Кожному студенту видається індивідуальна тема реферату з урахуванням інтересу студента до певних напрямків розвитку напівпровідникових приладів. За обраною темою необхідно підготувати реферат та презентацію по ньому. Реферат має складати щонайменше 20 сторінок 14 шрифтом, 1.5 інтервалом. Реферат має базуватись на щонайменше 5 англомовних джерелах (статтях), опублікованих в реферованих (Scopus, Web of Science) наукових журналах за останні 3 роки. Захист реферату відбувається у форматі доповіді та публічної дискусії. Максимальний бал 20.

Умови допуску до заліку

Обов'язкова умова допуску до заліку		Критерій
1	Поточний рейтинг	RD ≥ 30
2	Модульна контрольна робота	Виконані обидві частини
3	Реферат	Виконаний і захищений

Семестровий контроль (залік)

Залік проводиться в усній формі, підготовка відповіді і рішення задачі подаються у письмовій формі.

Квиток включає 3 завдання – 2 теоретичних питання і 1 завдання. Максимальна кількість балів:

2 теоретичних питання – 20 балів.

Рішення задачі – 10 балів.

Додаткове питання (1), повна відповідь – 5 балів.

Максимальний бал за кожне завдання відповідає повній відповіді, відповідному курсу лекцій. Середній – при правильній відповіді допущені непринципові помилки.

Остаточна оцінка **RD** є сумою рейтингових балів отриманих за поточний контроль та балів отриманих за залік після співбесіди зі студентом.

№	Контрольний захід	Бал
1	Активність на лекційних заняттях	10
2	Відповіді і вирішення завдань на практичних заняттях	20
3	Модульна контрольна робота. Частина 1	20
4	Модульна контрольна робота. Частина 2	20
5	Реферат	30
	Всього	100

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	*Оцінка*
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

Не виконані умови допуску	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент, к.ф.-м.н, Гільчук Андрій Володимирович

Ухвалено кафедрою прикладної фізики (протокол № 6-2024 від 11.06.2024)

Затверджено Методичною комісією НН ФТІ (протокол № 6 від 27.06.2024)