МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА

Кафедра фізики та астрономії

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи

Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО

“ 7 ” вересня 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВБ 6.02 «Основи мікро – і наноелектроніки»

Рівень вищої освіти	**другий (магістерський)**
Галузь знань	**10 – природничі науки**
Спеціальність	**104 – фізика та астрономія**
Освітньо-професійна програма	**Фізика та астрономія**

ОНУ

Одеса

2022

Робоча програма навчальної дисципліни «Основи мікро- і наноелектроніки». – Одеса: ОНУ, 2022. – 19 с.

Розробник: Маслєєва Наталя Володимирівна, доцент кафедри фізики та астрономії

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики та астрономії ФМФІТ

Протокол № 1 від «5» вересня 2022 р.

Завідувач кафедри _____ Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПП «Фізика та астрономія» _____ Вадим АДАМЯН

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від «6» вересня 2022 р.

Голова НМК _____ Наталя МАСЛЄЄВА

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___від «___» _____20___ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___від «___» _____20___ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Очна (денна) форма навчання
Загальна кількість кредитів – 5, годин – 150, змістовних модулів – 2.	Галузь знань 10 – природничі науки. Спеціальність: 104 – фізика та астрономія. Рівень вищої освіти: другий (магістерський)	Обов’язкова дисципліна
		Рік підготовки:
		1-й
		Семестр
		2-й
		Лекції
		30 год.
		Практичні, семінарські
		0 год.
		Лабораторні
		20 год.
		Самостійна робота
		100 год.
		Форма підсумкового контролю: іспит

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є підготовка фахівців, здатних розв'язувати спеціалізовані складні задачі і практичні проблеми, пов'язані з дослідженням фізичних об'єктів і систем мікро – і наноелектроніки, процесів і явищ в інтегральних мікросхемах та їх технічним застосуванням.

Завдання:

- Ознайомити здобувачів другого рівня вищої освіти з основними поняттями і визначеннями в мікро – і наноелектроніці;
- Ознайомити з фізичними принципами роботи базових елементів сучасної електроніки та мікропроцесорної техніки;
- Сформувати в здобувачів другого рівня вищої освіти уміння проводити аналіз роботи базових напівпровідникових приладів та розраховувати їх параметри;
- Ознайомити студентів з фізичними основами створення і функціонування структур наноелектроніки,
- Ознайомити здобувачів другого рівня вищої освіти з галузями застосування та перспективами розвитку наноелектроніки.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей.**

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

Загальні компетентності:

ЗК 01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК 04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

Спеціальні (фахові) компетентності:

СК 1. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

СК 3. Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефахівцям.

СК 4. Здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень в області фізики та/або астрономії.

СК 5. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

СК 6. Здатність розробляти наукові та прикладні проекти, керувати ними і оцінювати їх на основі фактів.

СК 7. Здатність організовувати освітній процес та проводити практичні і лабораторні заняття з фізичних та/або астрономічних навчальних дисциплін в закладах вищої освіти.

СК 8. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

В результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен **знати:**

- методи формування мікро та наноструктур;
- елементну базу сучасних інтегральних мікросхем;
- класифікацію інтегральних мікросхем;
- основні типи логічних елементів та їх приладову реалізацію;
- принципи організації і функціонування елементів пам'яті;

– принципи функціонування цифрових і аналогових мікросхем;
– фізичні границі мікромініатюризації мікроелектронних структур;
– особливості транспорту і тунелювання носіїв у нанооб’єктах;
– теоретичні основи одноелектроніки і перспективи реалізації одноелектронних приладів;

Вміти:

– розрахувати профіль легуючих домішок в методі високотемпературної дифузії і іонної імплантації;
– визначити товщину діелектричного шару при заданих режимах окислення;
– розрахувати ємність і опір інтегральних ємностей і резисторів за наданими параметрами;
– визначати основні характеристики інтегральних мікросхем, принципи дії та область застосування;
– навести і зобразити схеми поширених логічних елементів ;
– застосовувати ЦАП і АЦП при автоматизації експериментальних досліджень;.
– здійснювати пошук навчальної, наукової та довідкової літератури та інформаційних ресурсів.

Що забезпечують наступні **програмні результати навчання:**

РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв’язання складних задач і практичних проблем.

РН02. Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.

РН06. Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напряму фізики та/або астрономії, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді.

РН08. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напряму фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємо-корисно спілкуючись із колегами.

3.Зміст навчальної дисципліни

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1.
ОСНОВИ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ

Тема 1. **Основи кремнієвої планарної технології.** Процеси літографії. Фотолітографія, сучасний стан, перспективи розвитку. Перспективи електроно-, рентгенівської, іонної літографії. Процеси локальної зміни властивостей напівпровідників: епітаксія (газофазна, молекулярно-променева); легування напівпровідників (високотемпературна дифузія, іонна імплантація). Процеси модифікації поверхні (метод термічного окислення, травлення, металізація).Складання інтегральних мікросхем (ІМС), особливості виробництва.

Тема 2. Елементна база ІМС. Методи ізоляції елементів. Інтегральні біполярні транзистори (БТ), основні типи. Основні параметри і характеристики БТ. Багатоеміттерні і багатоколекторні транзистори. Транзисторні структури інтегрально-інжекційної логіки. Інтегральні транзисторні структури зі структурою метал-діелектрик-напівпровідник (МДН) з вбудованим і індукованим каналом. Основні параметри і характеристики. Комплементарні структури, перспективні транзисторні структури. Пасивні елементи (інтегральні діоди, резистори, конденсатори), принципи розрахунку параметрів.

Тема 3. Логічні елементи на біполярних і МДН-транзисторах. Класифікація логічних елементів, основні параметри і характеристики**.** Логічні елементи на біполярних структурах (елементи діодно-транзисторної логіки(ДТЛ), транзисторно-транзисторної логіки (ТТЛ), емітерно-зв’язаної

логіки (ЕЗЛ), інтегрально-інжекційної логіки($I^2Л$). Логічні елементи на МДН. КМОН-інвертор.

Тема 4. Цифрові і аналогові інтегральні схеми. Елементи пам'яті, класифікація елементів пам'яті. Елементи пам'яті на біполярних транзисторах, елементи пам'яті на МДНТ. Елементи мікросхем репрограмованих сталих запам'ятовуючих пристроїв. Механізм запису і стирання інформаційного заряду. Тригери, принцип дії, застосування. Мікропроцесори. Прилади з зарядовим зв'язком, застосування . Аналогові інтегральні мікросхеми, класифікація. Поняття про ЦАП і АЦП. Операційний підсилювач.

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2.
ОСНОВИ НАНОЕЛЕКТРОНІКИ

Тема 5. Фізика низьковимірних структур. Бар'єри на шляху переходу від мікро- до наноелектроніки. Низьковимірні структури, особливості енергетичного спектру низьковимірних структур. Транспортні явища в низьковимірних структурах, дрейфова швидкість, електрон-фононна взаємодія, розсіювання носіїв. Балістичний транспорт.

Тема 6. Елементи і прилади наноелектроніки. Проблеми створення кремнієвого нанотранзистора. Тунелювання електронів через квантово-розмірні структури. Резонансно-тунельні транзистори. Гетеротранзистор на квантових точках. Нанотранзистори на основі вуглецевих нанотрубок. Теоретичні основи одноелектроніки. Реалізація і застосування одноелектронних приладів.

4. Структура навчальної дисципліни «Основи мікро – і наноелектроніки»

Назва тем	Кількість годин				
	Очна (денна) форма				
	Усього	у тому числі			
		Лек.	Пр.	Лаб.	СР
1	2	3	4	5	6
Змістовний модуль 1. Основи мікроелектроніки					
Тема 1. Основи кремнієвої планарної технології.	32	4		8	20
Тема 2. Елементна база інтегральних мікросхем.	46	4		12	30
Тема 3. Логічні елементи на біполярних і МДН-транзисторах.	10	6			4
Тема 4. Цифрові і аналогові інтегральні схеми.	32	6			26
Змістовний модуль 2. Основи наноелектроніки					
Тема 5. Фізика низьковимірних структур.	4	4			
Тема 6. Елементи і прилади наноелектроніки.	26	6			20
Усього годин	150	30		20	100

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачені навчальним планом.

7. Теми лабораторних робіт

№	Назва теми (в методичних вказівках)	Кількість годин
	Основи кремнієвої планарної технології	
1	Розрахунок профілю розподілу концентрації домішок після дифузії : а)із сталого джерела;б) із миттєвого джерела; в) після двостадійної дифузії.	4
2	Розрахунок профілю концентрації домішок в методі іонної імплантації.	4
	Елементна база інтегральних мікросхем	
3	Розрахунок металургійної ширини бази біполярного n-p-n-транзистора, отриманого методом подвійної дифузії.	6
4	Розрахунок розподілу домішок у p-n-переході за виміряними значеннями бар'єрної ємності.	6
	Разом	20

8. Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Процеси літографії	6
2.	Процеси локальної зміни властивостей напівпровідника.	6
3.	Процеси обробки поверхні при виготовленні ІМС	4
4.	Складання ІМС і типові технологічні маршрути виготовлення ІМС.	4
5.	Технології виготовлення БТ у ІМС.	6
6.	Паразитні параметри БТ у ІМС.	4
7.	Методи ізоляції елементів ІМС.	8

8.	Технологічні обмеження мінімального розміру елементів ІМС.	4
9.	Фізичні причини обмеження мінімального розміру елементів ІМС, пов’язані із взаємодією елементів.	4
10.	Фізичні причини обмеження ступеня інтеграції, пов’язані із розмірними ефектами.	4
11.	Суматори.	2
12.	Шифратори і дешіфратори.	2
13.	Мультіплексор.	2
14.	Мікропроцесори і мікроконтролери.	4
15.	Аналогова схемотехніка	10
16.	Основи аналогової схемотехніки. Перетворювачі ЦАП- АЦП	8
17.	Перспективи використання нанотрубок у електроніці	8
18.	Одноелектронні прилади	8
19.	Балістичний транспорт	4
	Індивідуальне науково-дослідне завдання (ІНДЗ): Доповідь та мультимедійна презентація за темами: 1. Логічні елементи ІМС. 2. Пристрої пам’яті. 3. Тригери та пристрої на їх основі. 4. Операційні підсилювачі.	8
	Разом	100

9. Методи навчання

При вивченні навчальної дисципліни використовують такі форми роботи – лекція, лабораторна робота, самостійна робота.

Під час викладання дисципліни використовуються методи:

– словесні: лекції, пояснення, бесіди, дискусії;

– наочні: мультимедійні презентації;
– самостійна робота.

Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод.

При проведенні лабораторних занять використовуються наступні методи навчання: частково-пошуковий, або евристичний метод, і дослідницький. При захисті лабораторних робіт та індивідуальних завдань використовується дискусійний метод.

Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод. Самостійна робота передбачає роботу з літературними джерелами (підручниками, навчальними посібниками, періодичною літературою, електронними джерелами), а також консультації з викладачем. У подальшому за темою ІНДЗ студент робить презентацію та доповідь.

10. Форми контролю та методи оцінювання

Поточний контроль здійснюється за результатами виконання 2 контрольних робіт за змістовними модулями, захисту індивідуального завдання. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування на лекції, написання звітів до лабораторних робіт, їх захист. Підсумковий контроль - іспит.

Критерії оцінювання поточного і підсумкового контролю.

Поточний контроль здійснюється шляхом виконання здобувачем навчально-дослідного завдання або написання та захисту реферату. Ці види діяльності оцінюються до 15 балів. Враховується активність студентів на лекціях – усне опитування, оцінюється до 5 балів. Максимальна загальна оцінка за індивідуальну самостійну роботу та опитування - 20 балів.

Періодичний (модульний) контроль здійснюється за допомогою письмової модульної контрольної роботи, яка оцінюється максимально в 20 балів.

Модульна контрольна робота складається з 2 питань, кожне з яких оцінюється за 10 бальною шкалою.

Критерії оцінювання кожного питання з контрольної роботи:

10-9 балів – здобувач правильно і точно відповів на питання, обґрунтовано і логічно виклав матеріал, володіє термінами, робить висновки, виявляє причинно-наслідкові зв'язки;

8-7 балів – здобувач достатньо повно відповів на питання, знає матеріал, володіє термінологією, оцінює причинно-наслідкові зв'язки, але при викладанні не вистачає певної глибини та аргументації, допускає незначні помилки;

6-5 балів – здобувач не в повному обсязі відповів на запитання, відповідь розпливчаста, нечітка, допускає помилки;

4-0 балів – здобувач, виявив низький рівень володіння матеріалом, практично не відповів на питання, допустився грубих помилок. Самий низький бал ставиться за відсутність відповіді.

Критерії оцінювання виконання самостійної роботи

Результати індивідуального завдання представляються у вигляді доповіді (до 10 хв), що супроводжується презентацією (10 - 15 слайдів). Критеріями оцінювання є повнота представленого матеріалу, якість доповіді та презентації, відповідей на запитання викладача та однокурсників.

Критерії оцінювання виконання лабораторних робіт

Студент повинен виконати всі лабораторні роботи. За виконання розрахунків та оформлення роботи згідно вимог методичних вказівок до лабораторних робіт нараховується 14 балів за кожну роботу. При захисті роботи, за кожну правильну відповідь на запитання додається 2 бали. За неповну відповідь, відповідь, що містить несуттєві помилки додається 1 бал. За неправильну відповідь, або її відсутність бали не додаються. Максимальна

кількість балів за лабораторну роботу не повинна перевищувати 20 балів. При виставленні підсумкової оцінки береться середня арифметична оцінка за всіма лабораторними роботами.

Критерії оцінювання підсумкового контролю

Підсумковий семестровий контроль (іспит) проводиться в усній формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 10 бальною шкалою.

Критерії оцінювання теоретичного питання:

10-9 балів – здобувач правильно і точно відповів на питання, обґрунтовано і логічно виклав матеріал, володіє термінами, робить висновки, виявляє причинно-наслідкові зв'язки;

8-7 балів – здобувач достатньо повно відповів на питання, знає матеріал, володіє термінологією, оцінює причинно-наслідкові зв'язки, але при викладанні не вистачає певної глибини та аргументації, допускає незначні помилки;

6-5 балів – здобувач не в повному обсязі відповів на запитання, відповідь розпливчаста, нечітка, допускає помилки;

4-0 балів – здобувач, виявив низький рівень володіння матеріалом, практично не відповів на питання, допустився грубих помилок. Самий низький бал ставиться за відсутність відповіді.

Кількість балів, що здобувач отримав на іспиті, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена нижче (п.12).

11. Питання для підготовки до поточного та підсумкового контролю

1. Мікроелектроніка, визначення ІМС.
2. Основні етапи технологічних процесів виробництва ІС.
3. Методи отримання монокристалів кремнію.
4. Вирощування монокристалів, сучасні досягнення.

5. Опишіть процеси первинної обробки матеріалів в технології МЕ.
6. Процеси формування топології ІС. Літографія.
7. Просторова роздільна здатність, критерій Релея, шляхи підвищення.
8. Фотолітографія, призначення, види. Сучасний стан.
9. Лазерна літографія, досягнення, перспективи.
10. Літографія ЕУФ.
11. Електронолітографія, переваги та обмеження.
12. Рентгенолітографія, рентгеношаблони, РЛ з синхротронним випроміненням.
13. Іонно-променева літографія.
14. Опишіть процеси епітаксії, її види.
15. Газофазна епітаксія, призначення.
16. Молекулярно-променева епітаксія, досягнення.
17. Легування напівпровідників, метод високотемпературної дифузії.
18. Іонна імплантація, переваги і недоліки.
19. Основні діелектрики в технології ІС, призначення, методи отримання.
20. Процеси травлення в технології МЕ.
21. Процеси металізації в технології МЕ.
22. Основні технологічні процеси складання ІС.
23. Особливості виробництва ІС, «чисті кімнати».
24. Планарна технологія у виробництві ІС.
25. Методи ізоляції елементів ІС.
26. Проекційна фотолітографія, сучасний стан.
27. Назвіть основні типи ІС.
28. Що таке ступінь інтеграції? Класифікація ІС за цим параметром.
29. Основні типи інтегральних транзисторів.
30. МДП-транзистор з індукованим каналом, статичні характеристики.
31. Обгрунтування вибору знаків напруги в МДН-транзисторі.
32. МДН-транзистор з вбудованим каналом.
33. Малосигнальні параметри МДН-транзистора.

34. Вплив товщини підзатворного діелектрика на граничну напругу МДН-транзистора.
35. Вплив довжини каналу на стоко-затворні характеристики МДН-транзистора.
36. Частотні характеристики МДН-транзистора.
37. Комплементарні МДН-структури.
38. Діоди ІС, основні параметри.
39. Інтегральні резистори.
40. Конденсатори ІС
41. Структури КНД, основні переваги.
42. Основні логічні елементи, позначення на схемах.
43. Основні характеристики логічних елементів.
44. Параметри логічних елементів.
45. Інтегральні біполярні транзистори, схеми включення.
46. Параметри біполярних транзисторів.
47. Багатоеміттерні і багатоколекторні БТ.
48. Функції транзисторної логіки з безпосередніми зв'язками. Розвиток ТЛБС.
49. Діодно-транзисторна логіка, еволюція до ТТЛ.
50. Структури інтегральної інжекційної логіки (И2Л), принцип дії.
51. Логічні елементи на МДН-транзисторах з каналом одного типу.
52. Методи ізоляції елементів ІС.
53. Польовий транзистор на гетероструктурах.
54. Перспективні транзисторні структури.
55. Тригер, принцип роботи, швидкодія, умовне позначення.
56. RS, RST-тригер, умовне позначення.
57. JK-тригер.
58. Лічильники JK-тригерах.
59. Принцип організації суматора.
60. Комірки пам'яті на основі МДН-Т.

61. Принцип дії МНОН елемента пам'яті.
62. МДН транзистор з плаваючим затвором.
63. ФЛЕШ пам'ять, способи запису і стирання інформації.
64. Класифікація запам'ятовуючих пристроїв.
65. Матрична організація мікросхем пам'яті.
66. Принципи пропорційної мікромініатюризації.
67. Фізичні обмеження мікромініатюризації.
68. Квантові обмеження в наноструктурах.
69. Низьковимірні структури, застосування в наноелектроніці.
70. Одноелектронне тунелювання.
71. Балістичний транспорт у наноструктурах.

12. Розподіл балів, які отримують здобувачі

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання, виконання і захист лабораторних робіт					Підсумковий контроль (іспит)	Сума балів
Змістовний модуль 1 Теми 1 - 4	Змістовний модуль 2 Теми 5,6	Індивідуальне навчально – дослідне завдання, опитування	Виконання і захист лабораторних робіт	Разом		
Контрольна робота	Контрольна робота					
20	**20**	**20**	**20**	**80**	**20**	**100**

Шкала оцінювання: національна та ECTS

<table>
<tr><td rowspan="2">Сума балів за всі види навчальної діяльності</td><td></td><td colspan="2">Оцінка за національною шкалою</td></tr>
<tr><td>Оцінка ЄКТС</td><td>Для екзамену, курсового проекту (роботу), практики</td><td>Для заліку</td></tr>
<tr><td>90 – 100</td><td>A</td><td>відмінно</td><td rowspan="5">зараховано</td></tr>
<tr><td>85-89</td><td>B</td><td rowspan="2">добре</td></tr>
<tr><td>75-84</td><td>C</td></tr>
<tr><td>70-74</td><td>D</td><td rowspan="2">задовільно</td></tr>
<tr><td>60-69</td><td>E</td></tr>
<tr><td>35-59</td><td>FX</td><td rowspan="2">незадовільно</td><td rowspan="2">не зараховано</td></tr>
<tr><td>1-34</td><td>F</td></tr>
</table>

13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; силабус, конспекти лекцій; презентації; методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, первинний інструктаж з техніки безпеки, порядок виконання лабораторних роботи, інструкції до приладів: http://onu.edu.ua/uk/structure/faculty/fmfit/dystsypliny, http://phys.onu.edu.ua, http://lib.onu.edu.ua

14. Рекомендована література

Основна

1. Матвієнко М. П. Основи електроніки.– К.: Ліра-К, 2017. – 364 с.
2. Фреїк Д. М. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки. / Фреїк Д. М., Чобанюк В. М., Готра З. Ю. – Івано-Франківськ : Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 263 с.

3. Колонтаєвський Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка./ Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. / К.:Каравела, 2009. —416 с.
4. Болюх В. Ф., Данько В. Г. Основи електроніки і мікропроцесорної техніки. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – 257 с.
5. Находкін М.Г. Фізичні основи мікро – та наноелектроніки./ Находкін університет»,2005. – 431 с.М.Г., Шека Д.І. К.: Видавничо – поліграфічний центр «Київський

Додаткова

1. Павлов С. М. Основи мікроелектроніки : навчальний посібник./ Вінниця : ВНТУ, 2010. – 224с.
2. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна схемотехніка: Підручник. – К.: Каравела, 2009. – 296 с.
3. Поплавко Ю.М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка. / Поплавко Ю.М., Борисов О.В., Якименко Ю.І. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
4. Азарєнков М. О. Наноматеріали і нанотехнології. / Азарєнков М. О., Неклюдов І. М., Береснів В. М., Воєводін В. М., Погребняк О.Д., Ковтун Г. П., Соболь О.В., Удовицький В.Г., Литовченко С.В., Турбін П.В., Чишкала В.О. / Харків: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна. – 2014. – 323 с.

15. Електронні інформаційні ресурси

1. http://dspace.onu.edu.ua
2. http:phys.onu.edu.ua
3. http://lib.onu.edu.ua/ukrayinska-nanoelektronika/
4. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/44787
5. https://www.imp.kiev.ua/nanosys/ru/articles/index.html