

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ФІЗИКИ ТА НАНОМАТЕРІАЛІВ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан фізичного факультету

_____ В.І. Горбенко
(підпис) (ініціали та прізвище)

« _____ » _____ 2017

**ППВС 3 МАТЕРІАЛИ ТА КОНСТРУКЦІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки _____ магістра _____
(назва освітнього ступеня)

спеціальності 105 “Прикладна фізика та наноматеріали”
(шифр, назва спеціальності)

освітньо-професійна програма “Прикладна фізика”
(назва)

Укладач к.ф.-м.н., доц. О.С. Яновський

Обговорено та ухвалено
на засіданні кафедри прикладної фізики та
наноматеріалів
Протокол № _____ від “ _____ ” серпня 2017 р.
Завідувач кафедри прикладної фізики та
наноматеріалів

_____ В.Г. Міщенко
(підпис) (ініціали, прізвище)

Ухвалено науково-методичною радою
фізичного факультету
Протокол № _____ від “ _____ ” вересня 2017 р.
Голова науково-методичної ради фізичного
факультету

_____ Н.І. Тихонська
(підпис) (ініціали, прізвище)

2017 рік

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрямок підготовки, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 4.	Галузь знань 10. Природничі науки (шифр і назва)	Вибіркова	
Розділів – 2		Цикл професійної підготовки	
Загальна кількість годин – 120.	Спеціальність 105 “Прикладна фізика та наноматеріали” (шифр і назва)	Рік підготовки:	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3, самостійної роботи студента – 8,6.		2-й	
	Лекції		
	22 год.		
	Практичні		
	12 год.		
Самостійна робота			
86 год.			
Вид підсумкового контролю: залік			
	Рівень вищої освіти: магістерський		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни “Матеріали та конструкції фотоелектричних перетворювачів” є вивчення основ напівпровідникового матеріалознавства та спеціальних розділів фізики твердого тіла, пов’язаних з технологією виготовлення, конструкцією та функціонуванням фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), які є основою сучасних сонячних елементів та модулів.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни “Матеріали та конструкції фотоелектричних перетворювачів” є засвоєння студентами принципів опису фундаментальних основ взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною, розуміння механізмів відбиття, поглинання, випромінювання світла та різноманітних фотоелектронних ефектів, зокрема вентильної фото-ЕРС у *p-n*-переході, вивчення матеріалів, технологій їх виробництва та конструкцій ФЕП. Програмою курсу передбачено курс лекцій та практичних занять, а також контрольних робіт по окремим найважливішим темам. Значна увага приділяється самостійній роботі студентів..

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- основні механізми поглинання світла;
- основні матеріали для ФЕП;
- різні типи кремнію «сонячної» якості (SoG – Si);
- рівняння фотодіода, вольт-амперну характеристику фотоелектричних перетворювачів, криву потужності;

- типові конструкції та основні етапи виготовлення ФЕП;
- переваги та недоліки сонячних елементів порівняно з іншими джерелами енергії.

вміти:

- аналізувати та обраховувати спектри поглинання та відбиття світла;
- визначати коефіцієнт поглинання при різних механізмах поглинання;
- визначати ширину забороненої зони по краю фундаментального поглинання («оптичну ширину забороненої зони»);
- розрізняти за зовнішнім виглядом або за другими ознаками монокристалічний, мультікристалічний, полікристалічний, мікрокристалічний та аморфний кремній;
- розраховувати та аналізувати вольт-амперну характеристику фотоелектричних перетворювачів;
- визначати ефективність (ккд) сонячних елементів різного типу та конструкцій.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання (компетентностей):

- **інтегральна компетентність:** здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у галузі прикладної фізики та вищої освіти або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів наукових та практичних досліджень, проведення досліджень й здійснення інновацій;

загальні компетентності: здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності; здатність спілкуватися державною та іноземною мовою як усно, так і письмово; навички використання інформаційних і комунікаційних технологій; здатність проведення досліджень на відповідному рівні; здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

спеціальні (фахові, предметні) компетентності: володіння математичним апаратом для вирішення прикладних задач наукоємного виробництва; здатність брати участь у проведенні експериментальних досліджень властивостей фізичної системи, фізичних явищ і процесів; здатність брати участь у виготовленні зразків матеріалів та об'єктів дослідження; здатність до постійного поглиблення знань в галузі прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій; здатність розуміти і використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу станів та властивостей фізичних систем; здатність використовувати знання про фізичну природу об'єктів у роботах по створенню нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів і речовин, зокрема, наноматеріалів.

Міждисциплінарні зв'язки. Курс “Матеріали та конструкції фотоелектричних перетворювачів” є спецкурсом, який закріплює знання та

вміння, отримані при вивченні таких дисциплін, як "Квантова механіка", "Статистична фізика", "Фізика твердого тіла", "Фізика поверхні", "Вимірювання електрофізичних параметрів напівпровідників". „Основи геометричної кристалографії”, „Основи фізичної хімії”, „Електрика і магнетизм”, “Вакуумні технології в виробництві наноматеріалів” та ін. Практичні заняття вимагають від студентів володіння обчислювальною технікою, азами програмування (дисципліни „Інформатика та програмування”, „Сучасні інформаційні технології”).

3. Програма навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ. Взаємодія світла з речовиною. Основні механізми поглинання. Матеріали для ФЕП.

Тема 1. Вступ. Взаємодія світла з речовиною.

Короткі відомості про предмет, склад та задачі курсу. Його зв'язок з іншими дисциплінами навчального плану.

Відбиття, поглинання та розсіювання світла. Закон Бугера-Ламберта. Коефіцієнти відбиття та поглинання світла. Спектри поглинання та відбиття. Основні механізми поглинання: власне (фундаментальне), екситонне, внутрішньозонне, домішкове, міждомішкове, фононне, плазмонне. Прямі та непрямі оптичні переходи. «Дозволені» та «заборонені» електронні переходи при поглинанні світла. Правила відбору. Поглинання світла із захватом та випромінюванням фононів.

Тема 2. Сировина та матеріали для виробництва фотоелектричних перетворювачів.

Основні матеріали для ФЕП: Si(всіх типів), Ge, SiC, GaAs, CdTe, GaN, CuInSe₂, Cu₂ZnSnS₄ (CZTS), Cu₂ZnSnSe₄ (CZTSe), Cu₂ZnSn(S,Se)₄ (CZTSSe), CdS, CdSe, ZnS, ZnSe, CuO, CuS, органічні матеріали та ін.

Кремній – основний матеріал сонячних елементів. Загальні та оптичні властивості кремнію. Сировина для виробництва кремнію – SiO₂ (кварцити). Виробництво металургійного кремнію (MG-Si). Карботермія. UMG-Si – поліпшений металургійний кремній.

Тема 3. Кремній «сонячної» якості (SoG – Si) та технології його виготовлення.

Монокристалічний кремній (sc-Si). Метод Чохральського, безтигельна зонна плавка. Мультикристалічний кремній (mc-Si). Спрямована кристалізація. Полікристалічний кремній (pc-Si). Хімічне осадження з газової фази. Сіменс-процес. Мікрокристалічний кремній (μc-Si). Плазмове осадження. Аморфний кремній (a-Si).

Розділ 2. Фотовольтаїчний ефект у *p-n*-переході. Типові конструкції та технології виготовлення сонячних елементів.

Тема 4. Вентільна фото-ЕРС. Вольт-амперна характеристика ФЕП.

Вентільна фото-ЕРС (фотовольтаїчний ефект у *p-n*-переході та на бар'єрі Шотткі). Рівняння фотодіода. Вольт-амперна характеристика фотоелектричних перетворювачів. Струм короткого замикання, напруга холостого ходу. Крива потужності. Робоча точка фотоелектричного перетворювача. Fill-factor.

Тема 5. Типові конструкції та основні етапи виготовлення ФЕП.

Типові конструкції сонячних елементів. Вирощування злитку кремнію. Різка злитку на бруски. Різка брусків на пластини. Технологія трафаретного друку. Текстурування. Формування антивідбивального покриття (ARC). Формування емітера (дифузія фосфору). Ізоляція країв (торців). Нанесення електропровідної пасти для формування фронтальних та заднього контактів методом трафаретного друку. Попередній відпал контактів. Вжигання контактів. Тестування готового ФЕП. ФЕП з «похованими» («прихованими») контактами.

Тема 6. Фотоелектричні модулі та матриці. Ккд сонячних елементів.

Об'єднання ФЕП в модулі (батареї) та матриці. Конструкції модулів. Ефект невідповідності. Температурні ефекти. Деградація сонячних модулів. Граничний термін служби. Термін окупності.

Fill-factor. Ефективність (ккд) сонячних елементів різного типу та конструкцій. Непереборні, рекомбінаційні, електричні та оптичні втрати ккд. Ккд чи вартість 1 Вату? Области застосування сонячних елементів. Переваги та недоліки сонячних елементів порівняно з іншими джерелами енергії.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви тематичних розділів і тем	Кількість годин										
	денна форма						заочна форма				
	усього	у тому числі					усього	у тому числі			
		л	с/п	лаб.	сам.роб.	інд.завд. (при наявності)		л	с/п	лаб.	сам.роб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Розділ 1. Вступ. Взаємодія світла з речовиною. Основні механізми поглинання. Матеріали для ФЕП											
Тема 1. Вступ. Взаємодія світла з речовиною	18	2	2		14						
Тема 2. Сировина та матеріали для виробництва ФЕП	21	4	2		15						
Тема 3. Кремній «сонячної» якості (SoG – Si) та технології його виготовлення	20	4	2		14						
Разом за розділом 1	59	10	6		43						
Розділ 2. Фотовольтаїчний ефект у <i>p-n</i>-переході. Типові конструкції та технології виготовлення сонячних елементів											
Тема 4. Вентільна фото-ЕРС. Вольт-амперна характеристика ФЕП	21	4	2		15						
Тема 5. Типові конструкції та основні етапи виготовлення ФЕП	20	4	2		14						
Тема 6. Фотоелектричні модулі та матриці. Ккд сонячних елементів	20	4	2		14						
Разом за розділом 2	61	12	6		43						
Усього годин	120	22	12		86						

5. Теми лекційних занять

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Взаємодія світла з речовиною.	2
2	Сировина та матеріали для виробництва ФЕП.	4
3	Кремній «сонячної» якості (SoG – Si) та технології його виготовлення.	4
4	Вентильна фото-ЕРС. Вольт-амперна характеристика ФЕП.	4
5	Типові конструкції та основні етапи виготовлення ФЕП.	4
6	Фотоелектричні модулі та матриці. Ккд сонячних елементів.	4
Разом		22

6. Теми практичних занять

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Взаємодія світла з речовиною.	2
2	Сировина та матеріали для виробництва ФЕП.	2
3	Кремній «сонячної» якості (SoG – Si) та технології його виготовлення.	2
4	Вентильна фото-ЕРС. Вольт-амперна характеристика ФЕП.	2
5	Типові конструкції та основні етапи виготовлення ФЕП.	2
6	Фотоелектричні модулі та матриці. Ккд сонячних елементів.	2
Разом		12

7. Самостійна робота

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Взаємодія світла з речовиною. Відбиття, поглинання та розсіювання світла. Закон Бугера-Ламберта. Коефіцієнти відбиття та поглинання світла. Спектри поглинання та відбиття. Основні механізми поглинання.	14
2	Сировина та матеріали для виробництва фотоелектричних перетворювачів. Основні матеріали для ФЕП: Si (всіх типів), Ge, SiC, GaAs, CdTe, GaN, CuInSe ₂ , Cu ₂ ZnSnS ₄ (CZTS), Cu ₂ ZnSnSe ₄ (CZTSe), Cu ₂ ZnSn(S,Se) ₄ (CZTSSe), CdS, CdSe, ZnS. Кремній – основний матеріал сонячних елементів. Виробництво металургійного кремнію (MG-Si). Карботермія. UMG-Si – поліпшений металургійний кремній.	15
3	Кремній «сонячної» якості (SoG-Si) та технології його виготовлення. Монокристалічний кремній (sc-Si). Метод Чохральського, безтигельна зонна плавка. Мультикристалічний кремній (mc-Si). Полікристалічний кремній (pc-Si). Сіменс-процес. Мікрокристалічний кремній (μc-Si). Аморфний кремній (a-Si).	14

4	<p>Вентильна фото-ЕРС. Вольт-амперна характеристика ФЕП. Вентильна фото-ЕРС. Рівняння фотодіода. Вольт-амперна характеристика фотоелектричних перетворювачів. Струм короткого замикання, напруга холостого ходу. Крива потужності. Робоча точка фотоелектричного перетворювача. Fill-factor.</p>	15
5	<p>Типові конструкції та основні етапи виготовлення ФЕП. Типові конструкції сонячних елементів. Вирощування злитку кремнію. Різка злитку на бруски. Різка брусків на пластини. Технологія трафаретного друку. Текстурування. Формування антивідбивального покриття (ARC). Формування емітера (дифузія фосфору). Ізоляція країв (торців). Формування контактів. Тестування готового ФЕП. ФЕП з «похованими» («прихованими») контактами.</p>	14
6	<p>Фотоелектричні модулі та матриці. Ккд сонячних елементів. Сонячні модулі (батареї) та матриці. Конструкції модулів. Ефект невідповідності. Граничний термін служби. Термін окупності. Fill-factor. Ефективність (ккд) сонячних елементів різного типу та конструкцій. Непереборні, рекомбінаційні, електричні та оптичні втрати ккд. Ккд чи вартість 1 Вату? Области застосування сонячних елементів. Переваги та недоліки сонячних елементів порівняно з іншими джерелами енергії.</p>	14
Разом		86

8. Види контролю і система накопичення балів

	Вид контрольного заходу	Кількість контрольних заходів	Кількість балів за 1 захід	Усього балів
1	Підготовка завдання з самостійної роботи (з представленням результатів на практичному занятті)	3	10	30
2	Виконання контрольних завдань до розділів 1 і 2.	4	5	20
3	Виконання тестових завдань в системі Moodle	1	10	10
4	Залік. Проводиться по завершенню вивчення розділів 1 і 2.	1	40	40
	Усього	9		100

Розподіл балів за видами роботи та формами контролю

Форма контролю	Кількість балів	Примітки
ОЦІНЮВАННЯ ПІДГОТОВКИ ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ (З ПРЕДСТАВЛЕННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ НА ПРАКТИЧНОМУ ЗАНЯТТІ)		
Тему заняття відтворено у відповідності до вимог. Студент знає теоретичні основи фізики вакууму, володіє методами одержання та вимірювання вакууму, знає конструкції та фізичні принципи роботи механічних, пароструминних, кріоадсорбційних, сублімаційних та магнітних електророзрядних вакуумних насосів. Впевнено застосовує фундаментальні знання до конкретної теми завдання.	10	За 1 контрольний захід.
Студент володіє матеріалом, проте тема викладена не в повному обсязі.	6	
Студент невпевнено володіє матеріалом, тема не розкрита, є труднощі з термінологією.	2	
Самостійна підготовка не виконана.	0	
ОЦІНЮВАННЯ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ		
Студент впевнено застосовує формули та пояснює проміжні перетворення; аналізує отримані результати, робить правильні висновки, грамотно та докладно відповідає на контрольні запитання, виявляє розуміння питань, що обговорюються, вільно володіє матеріалом.	5	За 1 контрольний захід.
Правильне написання формул; вірний хід рішення; при відповіді на контрольні запитання студент загалом володіє матеріалом, але викладає його непослідовно, користується конспектом.	3	
Студент відповідає на контрольні запитання не послідовно, повільно, незрозуміло.	2	
Студент не виконує відповідні завдання і не відповідає на контрольні запитання.	0	
РЕЗУЛЬТАТ ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОГО ЗАВДАННЯ ОЦІНЮЄТЬСЯ ЗА ТАКОЮ ШКАЛОЮ		

Форма контролю	Кількість балів	Примітки
Студент правильно виконує не менше 90% завдання; робота оформлена акуратно та у відповідності до вимог. Завдання повністю виконано без помилок, що відповідає виявленню студентом всебічного системного і глибокого знання програмного матеріалу; засвоєнню ним основної і додаткової літератури; чіткому володінню понятійним апаратом, методами, методиками та інструментами, передбаченими програмою дисципліни.	5	За 1 контрольний захід.
Студент правильно виконує не менше 60% завдання. Завдання виконано без суттєвих помилок, що відповідає виявленню знань основного програмного матеріалу.	4	
Студент правильно виконує не менше 30% завдання, припускаючи окремих незначних помилок.	3	
Студент правильно виконує менше 20% завдання, проте зроблені грубі помилки.	1	
Студент правильно виконує менше 10% завдань. Більше 90% завдання виконано не вірно.	0	

Критерії оцінювання на екзамені та практичних заняттях

Відповідь на екзамені (заліку) оцінюється на:

відмінно:

- Правильне та повне формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей.
- Пояснення законів, явищ, закономірностей на основі фізичних понять, що самі вже не можуть пояснюватись більш елементарними поняттями.
- Глибокий та вичерпний аналіз взаємозв'язків між явищами та закономірностями.
- Залучення до відповіді понять з суміжних розділів дисципліни.

добре:

- Правильне та повне формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей.
- Пояснення законів, явищ, закономірностей на основі фізичних понять, що самі вже не можуть пояснюватись більш елементарними поняттями.
- Помилки в аналізі взаємозв'язків між явищами та закономірностями.

задовільно:

- Формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей з помилками.
- Пояснення законів, явищ, закономірностей на основі фізичних понять, що самі вже не можуть пояснюватись більш елементарними поняттями

незадовільно:

- Невірне формулювання фізичних законів, явищ, закономірностей.
- Відсутність або невірні відповіді на поставлені додаткові питання.

Практичні заняття (розв'язання задач) оцінюються на:

відмінно:

- Обґрунтування застосованих формул та пояснення проміжних перетворень; аналіз отриманого результату та висновки.

- Правильне написання формул; вірний хід рішення з проміжними викладками; підстановка вихідних даних з урахуванням розмірностей.
- Вірність проведених розрахунків до кінцевого результату, приведення розмірності використаних величин.

добре:

- Труднощі в обґрунтуванні застосованих формул та поясненні проміжних перетворень; аналіз отриманого результату та висновки.
- Правильне написання формул; вірний хід рішення з проміжними викладками; підстановка вихідних даних з урахуванням розмірностей.
- Вірність проведених розрахунків до кінцевого результату, приведення розмірності використаних величин.

задовільно:

- Написання формул з похибками; невірний хід рішення; відсутність числового рішення та розмірностей.

незадовільно:

Відсутність рішення задачі; неправильне застосування або написання формул.

Оцінювання виконання тестових завдань в системі Moodle.

Здійснюється автоматично в залежності від кількості правильних відповідей та налаштування параметрів системи.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

За шкалою ECTS	За шкалою університету	За національною шкалою	
		Екзамен	Залік
A	90 – 100 (відмінно)	5 (відмінно)	Зараховано
B	85 – 89 (дуже добре)	4 (добре)	
C	75 – 84 (добре)		
D	70 – 74 (задовільно)	3 (задовільно)	
E	60 – 69 (достатньо)		
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)	Не зараховано
F	1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)		

9. Рекомендована література

Основна

1. Перлин Е.Ю. Фізика твердого тела. Оптика напівпровідників, діелектриків, металлов. / Е.Ю.Перлин. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008.
2. Готри З.Ю. Фізичні основи електронної техніки / З.Ю. Готри. – Львів: “Бескід”, 2005. – 680 с.
3. Костенко Є.Ю. Фізико-хімічні процеси в напівпровідниках та діелектриках: Навчальний посібник до спецкурсів для студентів фізичного факультету / Є.Ю.Костенко, О.С.Яновський – Запоріжжя: ЗДУ, 2004. – 56 с.
4. Давидюк Г.Є. Нерівноважні процеси в напівпровідниках: Навч. посіб./ Г.Є. Давидюк; Волин. держ. ун-т ім. Л.Українки. - Луцьк, 2000. - 151 с.
5. Киреев П.С. Фізика напівпровідників / С.П. Киреев. - М.: ”Высшая школа”, 1975. - 586 с.
6. Блейкмор Дж. Фізика твердого тела / Дж. Блейкмор. - М.: “Мир”, 1988. - 608 с.
7. Горбачёв В.В. Фізика напівпровідників и металлов / В.В. Горбачёв, Л.Г. Спицина. - М.: “Металлургия”, 1982. - 336 с.
8. Шалимова К.В. Фізика напівпровідників / К.В. Шалимова. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 345с.
9. Зеєгер К. Фізика напівпровідників / К. Зеєгер - М.: “Мир”, 1977. - 616 с.
10. Ашкрофт Н. Фізика твердого тела. В 2-х ч. / Н.Ашкрофт, Н.Мермин. - М.: “Мир”, 1979. – 345с.
11. Бонч-Бруевич В.Л. Фізика напівпровідників / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. - М.: “Наука”, 1990. - 688 с.
12. Сборник задач по фізиці напівпровідників [учеб. пособие для вузов] / В.Л. Бонч-Бруевич, И.П. Звягин, И.В. Карпенко, А.Г. Миронов. - М.: “Наука”, 1987. -144 с.
13. Задачи по фізиці твердого тела / под. ред. Г.Дж. Голдсмита. - М.: “Наука”, 1976. - 432 с.
14. Орешкин П.Т. Фізика напівпровідників и діелектриків / П.Т. Орешкин. - М.: “Высшая школа”, 1977. - 448 с.
15. Смит Р. Полупроводники / Р. Смит. - М.: “Мир”, 1977. - 560 с.
16. Займан Дж. Принципы теории твердого тела / Дж. Зайдман. - М.:”Мир”, 1979. - 416 с.
17. Яновський О.С. Розрахунок найважливіших параметрів напівпровідників: Методичні вказівки до розрахункової частини курсової роботи з дисциплін «Фізика твердого тіла» та «Фізика електронних явищ у твердих тілах» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» напряму підготовки «Фізика» / О.С. Яновський – Запоріжжя: ЗНУ, 2013. – 43 с.

Додаткова

1. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников / А.И. Ансельм. - М.: "Наука", 1978. - 616 с.
2. Епифанов Г.И. Твердотельная электроника / Г.И. Епифанов, Ю.А. Мома. - М.: "Высшая школа", 1986. - 304 с.
3. Третьяк О.В. Основы фізики напівпровідників: підручник: у 2 т. Т. 2 / О.В. Третьяк, В.З. Лозовський ; Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. - К., 2009. - 383 с.
4. Височанський Ю.М. Твердотільна електроніка. Лабораторний практикум / Ю.М. Височанський, А.А. Горват, О.О. Грабар – Ужгород: ІВА, 2001. – 388 с.
5. Аскеров Б.М. Кинетические эффекты в полупроводниках / Б.М. Аскеров. - Л.: "Наука", 1970. - 303 с.
6. Рейсленд Дж. Физика фононов / Дж. Рейсленд. - М.: "Мир", 1975. - 365 с.
7. Цидильковский И.М. Электроны и дырки в полупроводниках / И.М. Цидильковский. - М.: "Наука", 1972. - 543 с.

Інформаційні ресурси

1. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. <http://irbis-nbuv.gov.ua>
2. Сайт видавництва Elsevier. http://www.elsevier.com/wps/find/journal_browse.cws_home
3. Сайт видавництва Springer. <http://www.springer.com/?SGWID=0-102-0-0-0>
4. Сайт видавництва Wiley. <http://www.wiley.com/WileyCDA/>

Погоджено _____
 відділ з навчальної роботи
 « _____ » _____

