

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

**ПІВС 3 ФЕП ЯК ПЕРСПЕКТИВНІ АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА
ЕНЕРГІЇ**

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	
		Цикл професійної підготовки	
Розділів – 2	Спеціальність 105 “Прикладна фізика та наноматеріали” (шифр і назва)	Рік підготовки:	
Загальна кількість годин – 120.		2-й	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3, самостійної роботи студента – 8,6.	Рівень вищої освіти: магістерський	Лекції	
		22 год.	
		Практичні	
		12 год.	
		Самостійна робота	
		86 год.	
		Вид підсумкового контролю: залік	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни “ФЕП як перспективні альтернативні джерела енергії” є вивчення теоретичних основ спеціальних розділів фізики твердого тіла, пов’язаних з взаємодією електромагнітного випромінювання з речовиною, функціонуванням, технологією створення та конструкцією фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), які є основою одного з альтернативних традиційним джерел енергії.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни “ФЕП як перспективні альтернативні джерела енергії” 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 та конструкцій ФЕП, формування у студентів навичок науково-дослідної роботи. 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:**

- основи зонної теорії, структуру енергетичних зон найважливіших напівпровідників, локалізовані електронні стани;
- елементи динаміки кристалічної ґратки;

- 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 матеріали фотоелектричних перетворювачів (сонячних елементів);
- 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»);
- розраховувати стаціонарне значення і кінетику фотопровідності при різних ступенях збудження;
- розрізняти за зовнішнім виглядом або за другими ознаками монокристалічний, мультикристалічний, 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 “ФЕП як перспективні альтернативні джерела енергії” 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. Основні механізми поглинання. Матеріали для ФЕП.

Тема 1. Вступ. Основи зонної теорії. Елементи динаміки кристалічної ґратки.

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

Загальна характеристика пружних хвиль в кристалах. Гармонічне наближення. Закон дисперсії для коливань. Акустичні та оптичні вітки коливань. Хвилі в трьохмірному кристалі. Фонони. Теплоємність кристалічної ґратки. Температура Дебая.

Тверде тіло як система частинок. Рівняння Шредінгера для кристала. Хвильова функція Блоха. Енергетичний спектр електронів в кристалі. Енергетичні зони. Ефективна маса носіїв заряду. Зонна структура деяких напівпровідників (германія, кремнію, сполучень типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$). Локалізовані стани у твердому тілі.

Тема 2. Взаємодія світла з речовиною. Спектр поглинання.

Відбиття, поглинання та розсіювання світла. Закон Бугера-Ламберта. Коефіцієнти відбиття та поглинання світла. Залежність коефіцієнтів поглинання та відбиття від довжини хвилі (частоти) випромінювання (спектри поглинання та відбиття). Загальний вигляд спектру поглинання. Закони збереження енергії і хвильового вектора (імпульсу) при оптичних переходах.

Тема 3. 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 4. 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 (μ c-Si). Плазмове осадження. Аморфний кремній (a-Si).

Розділ 2. Фотоелектричні ефекти. Основи сонячної енергетики.

Тема 5. Вентильна фото-ЕРС. Вольт-амперна характеристика ФЕП.

Внутрішній фотоэффект (фотопровідність). Власна та домішкова фотопровідність. Стаціонарне значення фотопровідності, залежність його від часу життя нерівноважних носіїв заряду.

Вентильна 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 6. Основи сонячної енергетики.

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 методом трафаретного друку. Вжигання контактів. Тестування готового ФЕП.

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 Ват? 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.			л	с/п	лаб.	сам.роб.	
						інд.завд. (при наявності)						інд.за вд. (при наявності)
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	
Розділ 1. Вступ. Взаємодія світла з речовиною. Основні механізми поглинання												
Тема 1. Вступ. Основи зонної теорії. Елементи динаміки кристалічної ґратки	18	2	2		14							
Тема 2. Взаємодія світла з речовиною. Спектр поглинання	21	4	2		15							
Тема 3. Матеріали для виробництва фотоелектричних перетворювачів	20	4	2		14							
Тема 4. Кремній «сонячної» якості (SoG – Si) та технології його виготовлення	21	4	2		15							
Разом за розділом 1	80	14	8		58							
Розділ 2. Фотоелектричні ефекти. Основи сонячної енергетики.												
Тема 5. Вентильна фото-ЕРС. Вольтамперна характеристика ФЕП	20	4	2		14							
Тема 6. Основи сонячної енергетики	20	4	2		14							
Разом за розділом 2	40	8	4		28							
Усього годин	120	22	12		86							

5. Теми лекційних занять

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Основи зонної теорії. Елементи динаміки кристалічної ґратки.	2
2	Взаємодія світла з речовиною. Спектр поглинання.	4
3	Матеріали для виробництва фотоелектричних перетворювачів.	4
4	Кремній «сонячної» якості (SoG – Si) та технології його виготовлення.	4
5	Вентільна фото-ЕРС. Вольт-амперна характеристика ФЕП.	4
6	Основи сонячної енергетики.	4
Разом		22

6. Теми практичних занять

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Основи зонної теорії. Елементи динаміки кристалічної ґратки.	2
2	Взаємодія світла з речовиною. Спектр поглинання.	2
3	Матеріали для виробництва фотоелектричних перетворювачів.	2
4	Кремній «сонячної» якості (SoG – Si) та технології його виготовлення.	2
5	Вентільна фото-ЕРС. Вольт-амперна характеристика ФЕП.	2
6	Основи сонячної енергетики.	2
Разом		12

7. Самостійна робота

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Основи зонної теорії. Елементи динаміки кристалічної ґратки. Гармонічне наближення. Закон дисперсії для коливань. Акустичні та оптичні вітки коливань. Фонони. Теплоємність. Температура Дебая. Енергетичний спектр електронів в кристалі. Зонна структура деяких напівпровідників (германія, кремнію, сполучень типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$). Локалізовані стани у твердому тілі.	14
2	Взаємодія світла з речовиною. Спектр поглинання. Закон Бугера-Ламберта. Коефіцієнти відбиття та поглинання світла. Спектри поглинання та відбиття. Загальний вигляд спектру поглинання.	15
3	Матеріали для виробництва фотоелектричних перетворювачів. Основні матеріали для ФЕП: Si(всіх типів), Ge, SiC, GaAs, CdTe, GaN, $CuInSe_2$, Cu_2ZnSnS_4 (CZTS), $Cu_2ZnSnSe_4$ (CZTSe), $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ (CZTSSe), CdS, CdSe, ZnS, ZnSe, CuO, CuS, органічні матеріали та ін.	14

4	<p>Кремній «сонячної» якості (SoG – Si) та технології його виготовлення. Монокристалічний кремній (sc-Si). Метод Чохральського. Мультікристалічний кремній (mc-Si). Спрямована кристалізація. Полікристалічний кремній (pc-Si). Сіменс-процес. Мікрокристалічний кремній (μc-Si). Аморфний кремній (a-Si).</p>	15
5	<p>Вентільна фото-ЕРС. Вольт-амперна характеристика ФЕП. Вентільна фото-ЕРС (фотовольтаїчний ефект у <i>p-n</i>-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.</p>	14
6	<p>Основи сонячної енергетики. Типові конструкції сонячних елементів. Технологія трафаретного друку. Текстурування. Формування антивідбивального покриття (ARC). Формування емітера (дифузія фосфору). Ізоляція країв (торців). Формування контактів методом трафаретного друку. 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. Переваги та недоліки сонячних елементів порівняно з іншими джерелами енергії. Ккд чи вартість 1 Ват? Области застосування сонячних елементів.</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, металів. / 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 металів / 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.Мермін. - 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
 « _____ » _____

