

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по учебной работе,
качеству образования – первый
проректор



_____ Хагуров Т.А.
подпись
30» _____ мая _____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.07 ДЕФЕКТЫ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Направление подготовки 03.03.02 Физика

Направленность Фундаментальная физика

Форма обучения очная

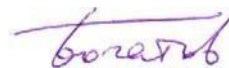
Квалификация бакалавр

Краснодар 2025

Рабочая программа дисциплины «Дефекты в полупроводниках» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 03.03.02 Физика (профиль) «Фундаментальная физика»

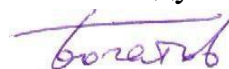
Программу составил: Н.М.Богатов, профессор

подпись



Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры физики и информационных систем протокол № 16 «18» апрель 2025 г. заведующий кафедрой физики и информационных систем Богатов Н.М.

подпись

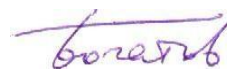


Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета

Протокол № 5 «18» апрель 2025 г.

Председатель УМК факультета Богатов Н.М.

подпись



Рецензенты:

Галуцкий В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры оптоэлектроники

Григорьян Л.Р., генеральный директор ООО НПФ «Мезон»

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель дисциплины

Предмет изучения дисциплины – физические процессы в полупроводниковых материалах.

Учебная дисциплина «Дефекты в полупроводниках» ставит своей целью изучение физических процессов, определяющих свойства и возможность практического использования полупроводниковых материалов, систематизацию, обобщение и углубление базовых естественнонаучных знаний, формирование профессиональных умений в области исследования полупроводников.

1.2 Задачи дисциплины Основные задачи дисциплины:

- сформировать способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания физики, химии, математики, включая знания о физических процессах в полупроводниковых структурах, методах их исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях полупроводниковой электроники;
- сформировать способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения задач исследования физических свойств полупроводников и полупроводниковых структур.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Дефекты в полупроводниках» относится к блоку 1, вариативной части.

Дисциплина логически и содержательно-методически связана с дисциплинами «Физика», «Математика», «Физика конденсированного состояния», «Квантовая теория», «Методы математической физики», «Термодинамика, статистическая физика», «Физика полупроводников». Для освоения данной дисциплины необходимо владеть методами математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, решением алгебраических, дифференциальных и интегральных уравнений; теории функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, дискретной математики; знать основные физические законы; уметь применять математические методы и физические законы для решения практических задач.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: ПК-1; ПК-2; ПК-3.

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1.	ПК-1	Способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных	Атомное строение и физические свойства полупроводников,	Применять современные методы исследования для анализа свойств	Методами определения параметров полупроводников, содержащих

		физических дисциплин.	современные концепции создания полупроводниковых материалов с	дефектов полупроводника х.	дефекты структуры.
--	--	-----------------------	---	----------------------------	--------------------

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
			заданными свойствами. Механизмы влияния дефектов на свойства полупроводниковых структур и вытекающие из этого ограничения.		
	ПК-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.	Методы проведения исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	Проводить исследования с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	Способность ю проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественно

					го и зарубежного опыта
2.	ПК-3	Готовностью применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований	Знать теорию полупроводник ов и физику дефектов в полупроводник ах, методы теоретических и экспериментал ьных	Применять уравнения распределения электрического поля, транспорта электрического заряда, законы взаимодействия света с веществом,	Методами теоретическо го анализа эксперимента льных данных об электрофизич еских и оптических свойствах
№ п.п.	Индекс компет енции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть

			исследований в физике полупроводников.	законы квантовой физики, законы распределения статистической физики для анализа влияния структурных дефектов на свойства полупроводников.	структурных дефектов в полупроводниках.
--	--	--	--	---	---

2. Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Вид учебной работы		Всего часов	Семестры (часы)			
			7			
Контактная работа, в том числе:						
Аудиторные занятия (всего):		52	52			
Занятия лекционного типа		26	26	-	-	-
Лабораторные занятия		26	26	-	-	-
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
Иная контактная работа:						
Контроль самостоятельной работы (КСР)		14	14			
Промежуточная аттестация (ИКР)		0,2	0,2			
Самостоятельная работа, в том числе:		41,8	41,8			
Курсовая работа		-	-	-	-	-
Проработка учебного (теоретического) материала		21	21	-	-	-
Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)		20	20	-	-	-
Реферат		-	-	-	-	-
Подготовка к текущему контролю		0,8	0,8	-	-	-
Контроль:						
Подготовка к экзамену						
Общая трудоёмкость	час.	108	108	-	-	-
	в том числе контактная работа	66,2	66,2			
	зач. ед.	3	3			

2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.
Разделы дисциплины, изучаемые в 8 семестре (для студентов ОФО)

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов						
		Всего	Аудиторная работа					Самостоятельная работа
			Л	ПЗ	ЛР	КСР	ИКР	
1	2	3	4	5	2	7	8	9
1.	Классификация дефектов в полупроводниках.	10	2		2			10
2.	Точечные дефекты.	10	2		2	2		2
3.	Линейные дефекты.	10	2		2	2		2
4.	Границы зерен.	10	2		2	2		6
5.	Образование дефектов.	10	2		2	2		4
6.	Легированные полупроводники.	10	2		2	2		4
7.	Контактные явления.	10	2		2	2		2
8.	Радиационные дефекты в полупроводниках.	10	4		4	2		1,8
9.	Наноразмерные полупроводниковые структуры.	28	8		8		0,2	10
	<i>Всего:</i>	108	26		26	14	0,2	41,8

2.3 Содержание разделов (тем) дисциплины:

2.3.1 Занятия лекционного типа.

№	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
1	2	3	4
	Классификация дефектов в полупроводниках.	Классификация дефектов по их геометрическим, электрическим, структурным свойствам.	Устный опрос. Защита лабораторной работы.
	Точечные дефекты.	Свойства примесей, межузельных атомов, вакансий, дивакансий, кластеров.	Устный опрос. Защита лабораторной работы.
	Линейные дефекты.	Дислокации краевые, винтовые и их свойства.	Устный опрос.
	Границы зерен.	Границы зерен общего типа: малоугловые, среднеугловые, большеугловые. Двойники.	Устный опрос. Защита лабораторной работы.
	Образование дефектов.	Образование дефектов в процессе выращивания, деформации.	Устный опрос. Защита лабораторной работы.

	Легированные полупроводники.	Методы легирования полупроводников. Эффекты сильного легирования	Устный опрос. Защита лабораторной работы.
	Контактные явления.	Поверхностные явления, гетеропереходы, контакты металл-полупроводник.	Устный опрос. Защита лабораторной работы.
	Радиационные дефекты в полупроводниках.	Простые, первичные, вторичные радиационные дефекты и их свойства.	Устный опрос. Защита лабораторной работы.
	Наноразмерные полупроводниковые структуры.	Квантовые стенки, квантовые точки в полупроводниках. Многопереходные полупроводниковые структуры.	Устный опрос. Защита лабораторной работы.

2.3.2 Занятия семинарского типа. Не предусмотрены.

2.3.3 Лабораторные занятия.

№	Наименование лабораторных работ		Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Определение параметров мелкой примеси.	Определить энергию электронного уровня и радиус боровской орбиты.	Защита отчета по лабораторной работе
2.	Определение вектора Бюргерса.	Определить длину и направление вектора Бюргерса.	Защита отчета по лабораторной работе
3.	Определение средней плотности электронных состояний на границе зерен.	Определить зависимость средней плотности электронных состояний от угла рассогласования зерен.	Защита отчета по лабораторной работе
4.	Определение дефектов, созданных электронами в кремнии.	Определить типы дефектов, созданных электронами в кремнии n- и p- типа проводимости.	Защита отчета по лабораторной работе
5.	Определение дефектов, созданных протонами в кремнии.	Определить типы дефектов, созданных протонами в кремнии n- и p- типа проводимости.	Защита отчета по лабораторной работе

6.	Определение деформационного напряжения на границе	Определить зависимость деформационного напряжения от рассогласования параметров решетки на границе контакта полупроводников.	Защита отчета по лабораторной работе
	контакта полупроводников.		

2.3.4 Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Курсовые работы: не предусмотрены

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	Проработка теоретического материала	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов, ФГБОУ ВО «КубГУ», 2012. - 33 с.
2	Реферат	1. Бушенева Ю.И. Как правильно написать реферат, курсовую и дипломную работы: Учебное пособие для бакалавров [Электронный ресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – М.: Дашков и К, 2016. – 140 с. https://e.lanbook.com/book/93331 . 2. Кузнецов И.Н. Рефераты, курсовые и дипломные работы. Методика подготовки и оформления [Электронный ресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – М.: Дашков и К, 2016. – 340 с. https://e.lanbook.com/book/93303 .
3	Подготовка презентации по теме реферата	Вылегжанина А.О. Деловые и научные презентации [Электронный ресурс]: учебное пособие – Электрон. дан. – М., Берлин: Директ-Медиа, 2016. – 115 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=446660 .

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,

– в форме электронного документа, – в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

3. Образовательные технологии.

Интерактивные образовательные технологии: технология развития критического мышления в процессе дискуссии, лекции с проблемным изложением, использование средств мультимедиа, технология моделирования или информационно-логического проектирования, защита отчетов лабораторных работ в интерактивной форме.

№ п/п	Раздел	Вид работ	Форма	Компетенции
1.	1, 2	Защита отчета лабораторной работы: Определение параметров мелкой примеси.	Интерактивная	ПК-1; ПК-2; ПК-3
2.	3	Защита отчета лабораторной работы: Определение вектора Бюргерса.	Интерактивная	ПК-1; ПК-2; ПК-3
3.	4	Защита отчета лабораторной работы: Определение средней плотности электронных состояний на границе зерен.	Интерактивная	ПК-1; ПК-2; ПК-3
4.	5, 8	Защита отчета лабораторной работы: Определение дефектов, созданных электронами в кремнии.	Интерактивная	ПК-1; ПК-2; ПК-3
5.	5, 8	Защита отчета лабораторной работы: Определение дефектов, созданных протонами в кремнии.	Интерактивная	ПК-1; ПК-2; ПК-3
6.	7, 9	Защита отчета лабораторной работы: Определение деформационного напряжения на границе контакта полупроводников.	Интерактивная	ПК-1; ПК-2; ПК-3

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля.

- контрольные вопросы по разделам учебной программы для самостоятельной подготовки и устного опроса по разделам учебной программы;
- контрольные задания для оценки достигнутых умений и навыков; – контрольные вопросы и задания для защиты лабораторных работ.

По итогам выполнения каждой лабораторной работы студент защищает полученные им экспериментальные результаты и объясняет их теоретически. В процессе защиты студент должен продемонстрировать знание теоретического и экспериментального материала, относящегося к работе, умение использовать математический аппарат, строить математические модели изучаемых физических явлений, владение методами обработки экспериментальных данных, программным обеспечением, современным экспериментальным оборудованием.

4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

Студенты обязаны сдать экзамен в соответствии с расписанием и учебным планом. Экзамен является формой контроля усвоения студентом учебной программы по дисциплине (или ее части), выполнения практических, контрольных, лабораторных работ.

Результаты сдачи экзамена по прослушанному курсу должны оцениваться как итог деятельности студента в семестре, а именно - по посещаемости лекций, результатам работы на практических занятиях, выполнения самостоятельной работы в виде контрольных и лабораторных работ, ответам на вопросы билета или теста в устной или письменной форме. При этом допускается на очной форме обучения пропуск не более 20% занятий, с обязательной отработкой пропущенных семинаров и лабораторных.

Студенты, у которых количество пропусков, превышает установленную норму, не выполнившие все виды работ и неудовлетворительно работавшие в течение семестра, проходят собеседование с преподавателем, который опрашивает студента на предмет выявления знания основных положений дисциплины по контрольным работам и практическим заданиям.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

- при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;
- при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;
- при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения: – в печатной форме увеличенным шрифтом, – в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля).

5.1 Основная литература:

1. Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 624 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71742>.

2. Тимофеев, В.Б. Оптическая спектроскопия объемных полупроводников и наноструктур [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 512 с.

Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/56612>.

3. Бурбаева, Н.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2012. — 312 с.

Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5261>.

Для освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья имеются издания в электронном виде в электронно-библиотечных системах «Лань» и «Юрайт».

5.2 Дополнительная литература:

1. Акципетров, О.А. Нелинейная оптика кремния и кремниевых наноструктур [Электронный ресурс] : монография / О.А. Акципетров, И.М. Баранова, К.Н. Евтюхов. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2012. — 544 с.

Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5255>.

2. Бурбаева, Н.В. Сборник задач по полупроводниковой электронике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н.В. Бурбаева, Т.С. Днепровская. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2006. — 168 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2126>.

3. Богатов, Н.М. Физика полупроводников: лабораторный практикум / Н.М. Богатов, Л.Р. Григорьян, М.С. Коваленко, О.Е. Митина. — Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2017. — 110 с.

5.3. Периодические издания:

1. Физика и техника полупроводников
2. Физика твердого тела
3. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования

6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля). 1. <http://moodle.kubsu.ru/course/view.php?id=378#section-2>

2. <http://e.lanbook.com/>
3. <http://www.sciencedirect.com/>
4. <http://www.scopus.com/>
5. <http://www.elibrary.ru/>
6. <http://iopscience.iop.org/>

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля).

Сопровождение самостоятельной работы студентов организовано в следующих формах:

- выполнение домашних заданий по лабораторным занятиям.

- подготовка к устной защите лабораторных работ.
- изучение разделов дисциплин по средством рекомендуемой литературы.
- консультации, организованные для разъяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении вопросов дисциплины.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю).

8.1 Перечень информационных технологий.

1. Использование специализированных пакетов математических программ (MathLab, MathCad и др.).
2. Работа в MS Office, ОС Linux и Windows при подготовке отчетов по лабораторным работам.

8.2 Перечень необходимого программного обеспечения.

1. ПО «LIDER» для управления измерителем параметров полупроводниковых приборов ИППП-1.
2. ПО для управления спектрофотометрами СФ-256 УВИ и БИК.
3. ПО MS Excel
4. ПО MS Word
5. ПО Paint

8.3 Перечень информационных справочных систем:

1. Справочно-правовая система «Консультант Плюс» (<http://www.consultant.ru>)
2. Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU (<http://www.elibrary.ru/>)

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Для проведения занятий по дисциплине «Дефекты в полупроводниках» имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам:

- лекционная аудитория, оснащенная мультимедийными проекторами с возможностью подключения к Wi-Fi, документ-камерой, маркерными досками для демонстрации учебного материала;
- специализированный класс, с компьютерами и подключенным к ним периферийным измерительным прибором;
- аппаратное и программное обеспечение, соответствующие методические материалы для проведения самостоятельной работы по дисциплине; – литература в библиотеке университета.

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность
1.	Лекционные занятия	Лекционная аудитория 148С, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО): ОС Windows, MS Office.
2.	Семинарские занятия	Не запланированы.
3.	Лабораторные занятия	Лаборатория 132С, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения: измеритель параметров полупроводниковых приборов ИППП-1, спектрофотометр СФ-256 УВИ, спектрофотометр СФ-256 БИК, ПК для обработки экспериментальных данных.
4.	Курсовое проектирование	Кабинет для выполнения курсовых работ, аудитория 204С.
5.	Групповые (индивидуальные) консультации	Аудитория 148С, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО): ОС Windows, MS Office.
6.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория 148С, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО): ОС Windows, MS Office.
7.	Самостоятельная работа	Кабинет электронных ресурсов для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. Аудитория для самостоятельной работы 204С.