

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 6 от 31.05.2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Экспериментальные методы исследования

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

11.03.04 - Электроника и нанoeлектроника

Направленность образовательной программы

Радиофотоника и оптоэлектроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2021 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.13 Экспериментальные методы исследования относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-4: Способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментально о исследования параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	ПК-4.1: Знает методики измерений параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	ПК-4.1: Знать: - основные методы измерения свойств полупроводниковых материалов и интегральных схем; - методы определения химического состава, кристаллографической структуры и электрофизических свойств материалов. - методы, используемые при контроле полупроводниковых приборов и интегральных схем, полученных по планарно-эпитаксиальной технологии их производства. Уметь: - объяснять сущность измерений процессов в полупроводниках и простейших полупроводниковых структурах; - производить анализ и делать количественные оценки параметров физических объектов; - экспериментально определять основные параметры полупроводника – ширину запрещенной зоны, концентрацию, подвижность,	Реферат	Зачёт: Контрольные вопросы

		<i>время жизни, коэффициент диффузии носителей заряда;</i> - <i>изучать оригинальные научные работы и обзоры в области физики и техники измерений.</i>		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
1. Введение. Способы измерения удельного сопротивления полупроводника	16	8		8	8
2. Эффект Холла и его применение для определения типа проводимости полупроводника, подвижности и концентрации носителей заряда	9	4		4	5
3. Применение температурных измерений эффекта Холла и удельного сопротивления для определения ширины запрещенной зоны полупроводника	8	4		4	4
4. Оптические методы определения параметров полупроводников	8	4		4	4
5. ИК-спектроскопия	6	2		2	4
6. Спектроскопия комбинационного рассеяния	6	2		2	4

7. Применение спектроскопии люминесценции для определения ряда параметров прямозонных полупроводниковых материалов	6	2		2	4
8. Вольт-фарадные методы измерения параметров полупроводников	12	6		6	6
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	32	0	33	39

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

С.В. Тихов. Методы исследования полупроводниковых материалов, приборов и интегральных схем, ГГУ, 1990, - 83с.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=25209&DB=1>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Реферат) для оценки сформированности компетенции ПК-4

Темы рефератов

1. Применение сканирующей зондовой микроскопии для контроля поверхности полупроводников и определения толщины тонких слоев различных материалов.
2. Методы измерения теплопроводности тонких слоев полупроводниковых материалов.
3. Измерение квантового эффекта Холла в полупроводниках.
4. Методы определения времени жизни неравновесных носителей в полупроводниках.
5. Применение метода рамановской спектроскопии для определения химического состава твердых растворов полупроводников.
6. Эффект Холла в неоднородных полупроводниках.
7. Влияние лазерного отжига на параметры полупроводников.
8. Методы определения энергетических параметров и концентрации квантовых точек в полупроводниках.
9. Определение параметров диэлектрических материалов методом рамановского рассеяния
10. Применение метода вольт-фарадных характеристик (ВФХ) для определения параметров структур металл-диэлектрик-полупроводник.
11. Методы определения эффекта дальнего действия в полупроводниках.
12. Использование метода электронного парамагнитного резонанса для определения дефектов в диэлектрических слоях.
13. Определение параметров полупроводника из измерений эффекта Холла.
14. Методы контроля морфологии поверхности полупроводников.
15. Определение параметров дефектов в диэлектрических пленках методом люминесценции.
16. Определение малых времен жизни неравновесных носителей в полупроводниках.

Критерии оценивания (оценочное средство - Реферат)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Реферат написан. Тема изложена исчерпывающе. Студент отвечает полностью на вопросы, касающиеся изложенного в реферате метода исследований, показывая удовлетворительное знание базовых понятий и физических основ, лежащих в основе метода. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные

Оценка	Критерии оценивания
	неточности.
не зачтено	Реферат не написан или тема изложена недостаточно, студент не знает физических основ изложенного метода. Оформление реферата не соответствует общепринятым требованиям.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

	обучающегося от ответа		некоторым и недочетами	и недочетами	ошибок и недочетов	ошибок и недочетов	
--	---------------------------	--	------------------------------	-----------------	-----------------------	-----------------------	--

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

5.3.1 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

Оценочное средство - Контрольные вопросы

Зачёт

Критерии оценивания (Контрольные вопросы - Зачёт)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Тема изложена исчерпывающе. Студент отвечает полностью на вопросы зачета, показывая удовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.
не зачтено	Тема изложена недостаточно, имеются неточности. Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, не отвечает на основной и дополнительные вопросы.

Типовые задания (Контрольные вопросы - Зачёт) для оценки сформированности компетенции ПК-4 (Способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения)

1. Способы измерения удельного сопротивления полупроводника. Однозондовый и двухзондовый методы измерения удельного сопротивления полупроводника
2. Четырехзондовый метод измерения для образцов полубесконечных и ограниченных размеров.
3. Применение четырехзондового метода при измерении удельного сопротивления тонких слоев и тонких пластин.
4. Измерение удельного сопротивления пластин произвольной формы (метод Ван дер Пау).
5. Метод контроля удельного сопротивления измерением сопротивления растекания в точечном контакте
6. Эффект Холла и его применение для определения типа проводимости полупроводника, подвижности и концентрации носителей заряда. Одночастотные и двухчастотные методы.
7. Определение подвижности носителей заряда методами тока Холла и геометрического магнитосопротивления.
8. Оптические методы определения параметров полупроводников.
9. Определение концентрации носителей по спектрам поглощения и отражения.
10. Метод определения ширины запрещенной зоны полупроводника из оптических измерений.
11. Метод определения ширины запрещенной зоны полупроводника из измерений температурной зависимости термоэдс.
12. Метод определения ширины запрещенной зоны полупроводника из измерений температурной зависимости эффекта Холла.
13. Методы ИК-спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния.
14. Применение фотолюминесценции для определения параметров прямозонных полупроводниковых материалов.
15. Контроль основных параметров МДП-структуры из измерений ВФХ: определение типа проводимости полупроводника, емкости слоя диэлектрика, заряда в диэлектрике и на границе раздела диэлектрик – полупроводник, плотности поверхностных состояний и их энергетического распределения.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Павлов Лев Павлович. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов : [учеб. для вузов по специальности "Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы"]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1987. - 238, [1] с. : ил. - 0.85., 2 экз.
2. Батавин Виталий Васильевич. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. - М. : Радио и связь, 1985. - 264 с. : ил. - (Измерения в электронике). - 1.10., 1 экз.
3. Воробьев Юрий Васильевич. Методы исследования полупроводников : [учеб. пособие для физ. и радиофиз. специальностей вузов]. - Киев : Вища школа, 1988. - 230, [1] с. : ил. - ISBN 5-11-

000230-4 : 0.75., 1 экз.

4. Уханов Юлий Иванович. Оптические свойства полупроводников / под ред. В. М. Тучкевича. - М. : Наука, 1977. - 366 с. : ил. - (Физика полупроводников и полупроводниковых приборов). - 1.43., 3 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Научная электронная библиотека (электронная библиотека периодических изданий - доступ через компьютеры, подключенные к сети ННГУ): <https://elibrary.ru/defaultx.asp>.
2. Электронная база данных по свойствам полупроводниковых материалов: <http://www.matprop.ru>.
3. Электронная база данных по физическим, химическим и структурным свойствам веществ и соединений (доступ через компьютеры, подключенные к сети ННГУ): <http://www.springermaterials.com>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 11.03.04 - Электроника и наноэлектроника.

Автор(ы): Планкина Светлана Михайловна, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.