

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.10.2023 12:49:17

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

Инженер-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

5 ЗЕТ

Часов по учебному плану

180

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 9

аудиторные занятия

68

самостоятельная работа

76

часов на контроль

36

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	9 (5.1)		Итого	
	Неделя			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	34	34	34	34
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	76	76	76	76
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	180	180	180	180

Программу составил(и):

ктн, Щемеров Иван Васильевич

Рабочая программа

Методы характеризации полупроводниковых материалов и структур

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-23_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ППЭ и ФПП

Протокол от 21.06.2023 г., №11

Руководитель подразделения Диденко С.И.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Цель дисциплины - сформировать компетенции, используемые при характеристике полупроводниковых материалов и структур, при анализе результатов измерений и при выборе основного направления изучения конкретных свойств полупроводника.
-----	---

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.12
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Вакуумная и плазменная электроника	
2.1.2	Квантоворазмерные структуры в нанoeлектронике	
2.1.3	Магнитные измерения	
2.1.4	Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики	
2.1.5	Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники	
2.1.6	Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.1.7	Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.1.8	Основы радиационной стойкости изделий электронной техники	
2.1.9	Основы технологии электронной компонентной базы	
2.1.10	Приборы квантовой и оптической электроники	
2.1.11	Процессы вакуумной и плазменной электроники	
2.1.12	Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.1.13	Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом	
2.1.14	Элементы и устройства магнитоэлектроники	
2.1.15	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах	
2.1.16	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.1.17	Компьютерные технологии проектирования процессов нанoeлектроники	
2.1.18	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем	
2.1.19	Методы исследования материалов и структур электроники	
2.1.20	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ	
2.1.21	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок	
2.1.22	Полевые полупроводниковые приборы	
2.1.23	Полупроводниковая нанoeлектроника	
2.1.24	Приемники оптического излучения	
2.1.25	Физика импульсного отжига	
2.1.26	Физико-математические модели процессов нанoeлектроники	
2.1.27	Физические основы электроники	
2.1.28	Функциональная нанoeлектроника	
2.1.29	Биполярные полупроводниковые приборы	
2.1.30	Инженерная математика	
2.1.31	Квантовая и оптическая электроника	
2.1.32	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.33	Технология материалов электронной техники	
2.1.34	Физика диэлектриков	
2.1.35	Физика конденсированного состояния	
2.1.36	Физика магнитных явлений	
2.1.37	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.38	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике	
2.1.39	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике	
2.1.40	Статистическая физика	
2.1.41	Физические свойства кристаллов	
2.1.42	Электроника	
2.1.43	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.44	Методы математической физики	
2.1.45	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	

2.1.46	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений
2.1.47	Физика
2.1.48	Физическая химия
2.1.49	Органическая химия
2.1.50	Химия
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Материалы и элементы спинтроники и спинволновой электроники
2.2.2	Мессбауэровская спектроскопия материалов магнитоэлектроники и микросистемной техники
2.2.3	Микросхемотехника
2.2.4	Молекулярно-пучковая и МОС-гидридная технологии
2.2.5	Неразрушающие методы контроля процессов формирования гетерокомпозиций
2.2.6	Планирование научной деятельности
2.2.7	Приборные структуры на некристаллических материалах
2.2.8	Приборные структуры на широкозонных полупроводниках
2.2.9	Приборы и устройства на основе наносистем
2.2.10	Специальные вопросы физики магнитных явлений в конденсированных средах Часть 1
2.2.11	Технология наногетероструктур
2.2.12	Конструирование светоизлучающих устройств
2.2.13	Магнитные наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии
2.2.14	Оборудование для производства наногетероструктурных солнечных элементов
2.2.15	Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства
2.2.16	Проектирование и технология электронной компонентной базы
2.2.17	Радиационно-технологические процессы в электронике
2.2.18	Технологии материалов для радиопоглощения и электромагнитного экранирования
2.2.19	Физика и техника магнитной записи
2.2.20	Физика СВЧ полупроводниковых приборов
2.2.21	Электроника органических полупроводников (материалы, технологии, приборы)
2.2.22	Электронные и оптические свойства широкозонных соединений A2B6
2.2.23	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.24	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.25	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.26	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники
Знать:
ПК-3-31 Предназначение, современные виды оборудования для проведения анализа и измерений параметров наноразмерных объектов
ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники
Знать:
ПК-5-31 Базовые российские и международные стандарты, описывающие методы характеристики полупроводниковых материалов.
ПК-5-32 Предназначение, современные виды оборудования для проведения анализа и измерений параметров наноразмерных объектов
ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области
Знать:
ОПК-2-31 Основы планирования физического эксперимента в области полупроводниковых материалов и структур

ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники
Уметь:
ПК-5-У1 Оптимизировать процесс измерения и подстроить его под конкретные производственные требования.
ПК-5-У2 Выявлять тенденции развития научных исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами и оборудованием.
ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области
Уметь:
ОПК-2-У1 Составлять презентацию выполненной научной работы и защищать полученные результаты
ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники
Уметь:
ПК-3-У1 Проводить измерения параметров полупроводников.
ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники
Владеть:
ПК-5-В1 Навыки работы с современным технологическим оборудованием, применяемым на полупроводниковом производстве
ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области
Владеть:
ОПК-2-В1 Современными методами математического моделирования физических процессов
ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники
Владеть:
ПК-3-В1 Проведение всех этапов характеризации полупроводниковых материалов и структур.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Концентрация и подвижность основных носителей заряда.							

1.1	Концентрация основных носителей заряда. - Формула Друде для удельной электропроводности. Концентрация свободных носителей заряда в невырожденном полупроводнике. Мелкие примеси. - Контактные методы измерения удельного электросопротивления. Потенциал поля точечного контакта. Краевые эффекты. Двухзондовый метод, четырёхзондовый метод, измерение сопротивления растекания (однозондовый метод). - Бесконтактные методы измерения, метод вихревых токов. - Измерения эффекта Холла. /Лек/	9	2		Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
1.2	Подвижность основных носителей заряда. - Механизмы рассеяния носителей. температурная зависимость подвижности. - Эффект Холла при наличии одного типа и нескольких типов носителей заряда. Дрейфовая подвижность. Холловская подвижность. Подвижность двумерного электронного газа. - Измерение времени релаксации. - Измерение магнетосопротивления. /Лек/	9	2		Л1.2Л2.1 Э1			
1.3	Краевые эффекты при измерении удельного электросопротивления четырёхзондовым методом. /Лаб/	9	12	ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л2.1	Проводится на установке для измерения удельного электросопротивления четырёхзондовым методом		
1.4	Подготовка и решение тестов в рамках контрольного опроса перед лекциями 1-2 /Ср/	9	4	ОПК-2-31 ПК-3-31	Л2.2 Э1	В системе Canvas		
1.5	Расчёты и подготовка к защите лабораторной работы №1. /Ср/	9	4			В соответствии с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ		

1.6	Домашняя работа. Электросопротивление. /Ср /	9	6	ОПК-2-31 ОПК-2-У1	Л2.1 Л2.2	Выдаётся на первом занятии, принимается на втором.		
	Раздел 2. Время жизни неравновесных носителей заряда.							
2.1	Время жизни неравновесных носителей заряда. - Глубокие примеси. Центры рекомбинации, центры прилипания. Рекомбинация на поверхности, пассивация. - Уравнение непрерывности. Излучательная, безызлучательная, Оже-рекомбинация. Спад фотопроводимости. - Бесконтактные методы измерения: СВЧ, емкостной, индуктивный. - Контактные методы. Метод Шпитцера, модуляция проводимости в точечном контакте. - Измерение приборных структур. Генерационное время жизни в контакте металл-полупроводник. - Диффузионная длина носителей заряда. /Лек/	9	2		Л1.2Л2.1 Э1			
2.2	Измерение времени жизни по спаду фотоёмкости методом вихревых токов. /Лаб/	9	12		Л2.1	Проводится на установке для измерения времени жизни бесконтактным ВЧ методом.		
2.3	Подготовка и решение тестов в рамках контрольного опроса перед лекцией 3 /Ср/	9	4		Л2.2 Э1	В системе Canvas		
2.4	Расчёты и подготовка к защите лабораторной работы №2. /Ср/	9	4	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1		В соответствии с методическими указаниями по выполнению лабораторной работ		
2.5	Домашняя работа. Время жизни ННЗ. /Ср/	9	6	ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л2.1 Л2.2	Выдаётся на третьем занятии, принимается на четвёртом.		

	Раздел 3. Вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики полупроводниковых структур.							
3.1	Вольт-амперные характеристики. - р-п-переход. Диод Шоттки. Вольт-амперные характеристики. Уравнение Шоккли для идеального диода. - Прямая ветвь ВАХ. Коэффициент идеальности. Последовательное сопротивление. Высота барьера Шоттки, контактная разность потенциала. - Обратная ветвь ВАХ. Ток насыщения. Энергия активации тока насыщения. Ток утечки. - Спектральная зависимость ВАХ. /Лек/	9	3	ОПК-2-31	Л1.2Л2.1 Э1			
3.2	Вольт-фарадные характеристики. - Ёмкость р-п-перехода, диода Шоттки, МДП структуры. Барьерная и диффузионная ёмкость. Толщина диэлектрика. - Напряжение отсечки. Профиль концентрации по глубине. - Спектральная зависимость ВФХ, спектрометрия уровней в запрещённой зоне. - Идеальная ВФХ. Высокочастотная и низкочастотная ВФХ. Поверхностные состояния, метод Термана для получения спектра плотности поверхностных состояний. Величина и знак встроенного заряда. - Частотная зависимость ёмкости и проводимости. /Лек/	9	3	ОПК-2-31 ПК-3-31	Л1.2Л2.1 Э1			
3.3	Построение профиля примеси по ВФХ и ВАХ. /Лаб/	9	10	ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л2.1			
3.4	Подготовка и решение тестов в рамках контрольного опроса перед лекциями 4-5 /Ср/	9	4		Л2.2 Э1	В системе Canvas		

3.5	Расчёты и подготовка к защите лабораторной работы №3. /Ср/	9	6	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1		В соответствии с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ		Р3
3.6	Домашняя работа. ВАХ и ВФХ. /Ср/	9	6	ОПК-2-В1	Л2.1 Л1.2	Выдаётся на пятом занятии, принимается на шестом.		
	Раздел 4. Релаксационная спектроскопия глубоких уровней.							
4.1	Релаксационная спектроскопия глубоких уровней. - Релаксация ёмкости после заполняющего импульса. Классический метод Лэнга. Концентрация, сечение захвата, энергия ловушки. - Токовый РСГУ. - Релаксационная спектроскопия при оптическом заполнении. Спектральные характеристики уровней. - Барьеры для захвата, флуктуации потенциала, уширения уровней. Искажение релаксационных кривых. /Лек/	9	3	ПК-3-31	Л1.2Л2.1 Э1			
4.2	Подготовка и решение тестов в рамках контрольного опроса перед лекциями 7-8 /Ср/	9	4		Л2.2 Э1	В системе Canvas		
4.3	Домашняя работа. Спектоскопия глубоких центров. /Ср/	9	6	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л2.2 Л1.2	Выдаётся на седьмом занятии, принимается на восьмом.		
	Раздел 5. Оптические измерения.							

5.1	Оптические измерения. - Спектр поглощения. Край собственного поглощения, примесное поглощение, экситонные линии. - Определение скорости поверхностной рекомбинации по спектру фотопроводимости. - Электролюминисценция. Микрокатодолуминисценция. Эффективность излучательной рекомбинации, центры безызлучательной рекомбинации. Спектры фотолюминисценции. - Оптическая спектроскопия глубоких уровней. /Лек/	9	2	ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-5-32	Л1.2Л2.1 Э1			
5.2	Подготовка и решение тестов в рамках контрольного опроса перед лекцией 9 /Ср/	9	3		Л2.2 Э1	В системе Canvas		
5.3	Практическое занятие 1. Доклады студентов /Пр/	9	6	ОПК-2-В1 ПК-3-В1 ПК-5-В1	Л1.2	Первая треть докладов		
5.4	Практическое занятие 2. Доклады студентов /Пр/	9	6	ОПК-2-В1 ПК-3-В1 ПК-5-В1	Л1.2	Вторая треть докладов		
5.5	Практическое занятие 3. Доклады студентов /Пр/	9	5	ОПК-2-В1 ПК-3-В1 ПК-5-В1	Л1.2	Третья треть докладов		
5.6	Подготовка к докладам /Ср/	9	19		Л2.2 Л1.2			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Домашняя работа 1.		1. Проведение измерения четырёхзондовым методом.
КМ2	Домашняя работа 2		2. Измерение времени жизни неравновесных носителей заряда
КМ3	Домашняя работа 3		3. Анализ ВАХ и ВФХ
КМ4	Домашняя работа 4		4. Построение спектра глубоких уровней

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
Р1	Лабораторная работа 1		Четырёхзондовый метод измерения удельного электросопротивления полупроводниковых пластин
Р2	Лабораторная работа 2		Измерение времени нарастания и спада неравновесных носителей заряда бесконтактным ВЧ методом
Р3	Лабораторная работа 3		Построение профиля примеси по результатам измерений вольт-фарадной характеристики

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

По окончании курса проводится экзамен. В рамках экзамена студентам предлагается результат измерения некоторой величины в виде графика, иллюстративного изображения или схемы с табличными данными. От студента требуется подробно и верно ответить на следующие вопросы:

- Что за величина измерялась в ходе эксперимента?
- Каким методом определялась эта величина?
- На каком образце и в каких условиях проводились измерения (если это специфично)?
- Каков результат измерений (в рамках доступной точности)?

Пример см. Приложения.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По дисциплине аттестация предусмотрена в форме зачёта с оценкой. Оценка выставляется в соответствии с количеством баллов, набранных студентом в течение семестра. По каждому разделу дисциплины предусмотрена текущая аттестация в виде лабораторных работ и контрольных опросов, проводимых после каждой лекции.

Фонд оценочных средств промежуточной аттестации состоит из:

- типовых заданий к зачёту;
- отметок о присутствии на лекциях;
- сданных контрольных опросов по материалам прошедших лекций;
- защищённых лабораторных работ;
- выполненной домашней работы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Киреев П. С.	Введение в теорию групп и ее применение в физике твердого тела: Учеб. пособие для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1979
Л1.2	Зи С. М., Трутко А. Ф.	Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ.	Библиотека МИСиС	М.: Энергия, 1973

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Груздов В. В., Колковский Ю. В., Концевой Ю. А.	Контроль новых технологий в твердотельной СВЧ электронике: монография	Электронная библиотека	Москва: Техносфера, 2016
Л2.2	Киреев П. С.	Физика полупроводников: учеб. пособие для студ. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1969

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Курс "методы характеристики полупроводниковых материалов и приборов" в системе LMS "Canvas"	https://lms.misis.ru/courses/3719
----	---	---

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
П.2	ESET NOD32 Antivirus
П.3	Microsoft Office
П.4	LMS Canvas
П.5	MS Teams

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	- Научная электронная библиотека eLIBRARY https://elibrary.ru/
И.2	- Аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science https://apps.webofknowledge.com
И.3	- Аналитическая база (индексы цитирования) Scopus https://www.scopus.com

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
------	------------	-----------

Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
К-510	Учебная аудитория	комплект лабораторного оборудования по ФТТ (АПК ТАУМЕР, установка "ВИК УЭС", компьютер с ПО); электромагнит ФЛ-1; установка для измерения Эффекта Холла, ноутбук с ПО, установка измерения сопротивления полупроводника в магнитном поле (электромагнит, прибор универсальный, источник питания универсальный, источник тока Э378, вольтметр В7-21А); установка определения удельного сопротивления двухзондовым методом (вольтметр В7-21А, источник питания Б5-50, стенд для измерения УЭС 2-зондовым методом с освещением и эталонным сопротивлением); установка изучения поглощения света в полупроводниках (монохроматор УМ-2, фотоприемник, вольтметр В7-16А, пульт питания с лампой ЭПС-112); установка измерения собственной и примесной проводимости полупроводниковых материалов (монохроматор МДР-3, вольтметр В7-138, источник питания с лампой ВК7-7); установка измерения температурной зависимости электропроводности (компьютер с лицензионным ПО, нагреватель, приставка для измерения ширины запрещенной зоны, источник питания Б5-30)

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

При защите лабораторных работ и выполнении домашнего задания используются методические указания к выполнению, размещённые в системе Canvas.

Все материалы по дисциплине: курс лекций по разделам, презентации, типовые вопросы и задачи, методические указания по выполнению лабораторных работ и т.д. приведены в соответствующем курсе на платформе MLS "Canvas".

Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации.