

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор института физики,
д.ф.-м.н., профессор

С.Б. Вениг

20.06.2023 г.

Рабочая программа дисциплины
**Методы исследования материалов и структур электроники
и нанoeлектроники**

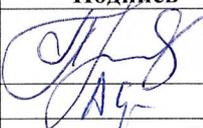
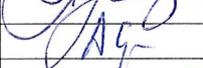
Направление подготовки бакалавриата
11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата
«Микро- и нанoeлектроника,
диагностика нано- и биомедицинских систем»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
очная

Саратов,
2023 г.

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Терин Д.В.		20.06.2023
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		20.06.2023
Заведующий кафедрой	Вениг С.Б.		20.06.2023
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Методы исследования материалов и структур электроники и нанoeлектроники» является ознакомление студентов с методами исследования материалов и структур, с их особенностями, обучение активному использованию и приобретению знаний и умений их практического применения.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и активизация знаний по основным разделам физики твердого тела, теоретической и общей физики, нанотехнологии и обучение использованию фундаментальных знаний и представлений;
- формирование знаний основных предположений, при выполнении которых справедлив рассматриваемый метод;
- формирование и углубление знаний физических основ методов и основных алгоритмов обработки данных измерений;
- формирование знаний составляющих погрешностей методов и умение оценивать области применимости и погрешности используемого метода;
- формирование и углубление знаний методов многопараметровых измерений и современных методов исследовательской работы (вычислительный эксперимент, прямые и обратные задачи, математическое описание процессов и связей методами планируемого эксперимента);
- формирование умений выбирать методы исследования материалов и структур и реализующие их средства, адекватные конкретной задаче, для решения которой проводятся измерения и анализ.
- формирование умений формулировать задачи для поиска в Интернете и использовать возможности Интернета для анализа возможностей решения конкретных задач метрики и их реализации;
- формирование умения применять стандартные математические пакеты программ для решения поставленной задачи;
- формирование умения формулировать отсутствующие знания, требования к аппаратуре и методикам, необходимые для решения поставленной задачи.
- формирование владения рядом современных методов исследования материалов и структур и навыками их практического использования, навыками анализа соответствия различных методов и средств исследований и измерений конкретным целям диагностики.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Методы исследования материалов и структур электроники и нанoeлектроники» относится к обязательным дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений, блока блока Б1 «Дисциплины (модули)» и изучается студентами очной формы обучения института физики СГУ, обучающимися по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», в течение 7 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по физике, математике, химии, термодинамике, электродинамике сплошных сред, квантовой механике, электронным свойствам кристаллов, физике полупроводников и подготавливает студентов к прохождению преддипломной практики и выполнению выпускной квалификационной работы.

3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
<p>ПК-1 Способен подготавливать лабораторное оборудование и проводить измерения физических параметров материалов на лабораторном оборудовании</p>	<p>1.1_Б. ПК-1. Осуществляет настройку и калибровку измерительной аппаратуры, выбирает необходимые эталоны, контролирует исправность и условия хранения аппаратуры и эталонов.</p> <p>2.1_Б. ПК-1. Проводит измерение параметров образцов и вносит результаты в протоколы измерений.</p> <p>3.1_Б. ПК-1. Оценивает достоверность результатов измерений и влияние внешних факторов на процессы измерений.</p>	<p>Знать разнообразие физических явлений, используемых при исследованиях и контроле материалов и структур, основные методы диагностики микро и наноструктур, физическое содержание определяемых величин различными методами, основных направлений развития методов определения свойств материалов и структур после и непосредственно в ходе базовых технологических процессов;</p> <p>способы обработки результатов измерений в соответствии с калибровочными параметрами аппаратуры и условиями измерений.</p> <p>Уметь применять знания для решения задач метрики исследования материалов и структур, использовать современные информационные технологии, применять численные методы для моделирования объектов материаловедения и технологии новых материалов, сопоставлять различные методы определения одних и тех же величин по областям их применения, достоинствам и недостаткам;</p> <p>корректно заносить информацию в базы данных</p> <p>Владеть знаниями, достаточными для привлечения и использования основных методов диагностики микро и наноструктур после и непосредственно в ходе базовых технологических процессов, пониманием физического содержания определяемых величин различными методами, представлением основных направлений развития методов, навыками использования знаний для решения</p>

		теоретических и прикладных задач на основе проведения натуральных и вычислительных экспериментов; инструментами статистической обработки информации.
ПК-2 Способен проводить контроль параметров качества изделий микроэлектроники и анализировать причины брака	1.1_Б. ПК-2. Контролирует параметры формируемых слоев и конструктивных элементов. 2.1_Б. ПК-2. Выявляет и анализирует причины возникновения брака при производстве изделий микроэлектроники. 3.1_Б. ПК-2. Работает с конструкторской и технологической документацией.	Знать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований параметров и характеристик материалов и структур электроники и наноэлектроники Уметь решать конкретные задачи по проведению исследований характеристик материалов и структур электроники и наноэлектроники Владеть методикой обработки и анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований, определения элементов новизны в разработке
ПК – 4 Способен проводить анализ современного состояния методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур	1.1_Б. ПК-4. Демонстрирует знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении наноматериалов и наноструктур. 2.1_Б. ПК-4. Применяет основные методы измерений параметров наноматериалов и наноструктур. 3.1_Б. ПК-4. Использует оборудование для измерения параметров наноматериалов и наноструктур в соответствии с его назначением, устройством, принципом действия и руководством по эксплуатации.	Знать современные методы и перечень актуального оборудования для исследования параметров наноматериалов и наноструктур Уметь решать конкретные задачи по проведению исследований характеристик материалов и структур электроники и наноэлектроники, а также определять элементы новизны в разработке Владеть современными методами измерений параметров наноматериалов и наноструктур, приемами практического использования современного исследовательского оборудования.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Се- местр	Неделя се- местра	Виды учебной работы, включая самостоя- тельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успева- емости (<i>по неде- лям семестра</i>) Формы промежу- точной аттеста- ции
				Лек	Лабораторные		Пр	СРС	
					Общая трудо- ем- кость	Из них – прак- тиче- ская подго- товка			
1.	Введение	7	1	2					
2.	Методы измерений электро- физических свойств	7	2	2			2	6	Опрос и решение задач, в ходе ла- бораторных и практических работ
			1, 2		8	4			
3.	Исследование и контроль ре- комбинационных параметров	7	3, 4	4	8	5	2	6	Опрос и решение задач
4.	Основы бесконтактного опре- деления параметров полупро- водниковых материалов и структур	7	5, 6	4	8	5	2	6	Опрос и решение задач, в ходе лекций. лабора- торных и практи- ческих работ
5.	Определение параметров зон- ной структуры	7	7, 8	4	10	6	2	6	Опрос и решение задач, в ходе лекций. лабора- торных и практи- ческих работ
6.	Методы определения пара- метров полупроводниковых структур.	7	9, 10	4	10	6	2	6	Опрос и решение задач, в ходе лекций. лабора- торных и практи- ческих работ
7.	Методы и средства контроля структур в ходе их образова- ния.	7	11, 12	4	8	5	2	6	Опрос и решение задач, в ходе лекций. лабора- торных и практи- ческих работ, контрольная работа
8.	Стандартизация требований к материалам, структурам, при- борам и ИМИС и методам их определения.	7	13-15	6	8	5	2	4	Опрос и решение задач, в ходе лекций. лабора- торных и практи- ческих работ.
	Итого:	7		30	60	36	14	40	36
	Контроль	7			36				
	Промежуточная аттестация	7							Экзамен Зачет
	Общая трудоемкость дисциплины			180					

Содержание дисциплины

1. Введение.

Основные задачи и направления развития методов исследования материалов и структур. Регламентация целей, средств и методов. Основные тенденции и перспективы развития методов исследования материалов и структур.

2. Методы измерений электрофизических свойств.

2.1. Измерения электропроводности: Электропроводность наносистем. Основные специфические трудности и источники погрешностей при измерениях электропроводности. Классификация методов измерений. Измерения на образцах правильной геометрической формы. Измерения на образцах произвольной в плане форме. Четырёхзондовый метод, влияние условий измерения, формы и размеров образцов. Корректирующие функции. Метод Ван дер Пау. Анализ однородности, определение локальной электропроводности в неоднородных материалах. Низкочастотные бесконтактные методы. Классификация методов: методы замещения и методы модуляции свойств элементов схемы. Причины возникновения неоднозначности и методы её исключения.

2.2. Определение концентрации и подвижности носителей заряда на основе гальваномагнитных эффектов и вольт-ёмкостные измерения: Основные гальваномагнитные явления, используемые при исследованиях и контроле материалов и структур. Специфические трудности и источники погрешностей при измерениях эффектов Холла, геометрического и физического магнитосопротивления. Исследования гальваномагнитных явлений в постоянных и переменных магнитных и электрических полях на пластинах правильной и произвольной формы. Метод Ван дер Пау. Эффект Холла и проводимость слоистонеоднородных структур. Вольт-ёмкостные измерения. Влияние механизмов рассеяния, градиентов концентраций и физическое содержание значений концентрации и подвижности носителей заряда, определяемых на основе эффекта Холла, эффектов геометрического и физического магнитосопротивления и вольт-ёмкостных измерений Гаусса.

3. Исследование и контроль рекомбинационных параметров.

3.1. Рекомбинация и времена жизни неравновесных носителей заряда в объёме и у поверхности, физическое содержание и взаимосвязи параметров, базовая система уравнений, основные условия измерений.

3.2. Стационарные методы. Метод стационарной фотопроводимости. Определение времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации. Методы подвижного зонда. Фотогальваномагнитный эффект и измерения рекомбинационных параметров на его основе.

3.3. Нестационарные методы. Определение времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации по спаду фотопроводимости (расчетные соотношения, специфические особенности измерения). Метод модуляции проводимости в точечном контакте. Определение времени жизни при периодическом возбуждении по зависимости отклика от частоты и сдвигу фаз. Определение времени жизни методом сдвинутых импульсов.

4. Основы бесконтактного определения параметров полупроводниковых материалов и структур.

4.1. Распространение электромагнитного излучения в проводящей среде. Комплексные диэлектрическая проницаемость, импеданс и показатель преломления однородных материалов и композитных сред.

4.2. Связи оптических и высокочастотных свойств материалов с их проводимостью, концентрацией, подвижностью и эффективной массой носителей заряда поляризуемостью “решётки” и частотой.

4.3. Низкочастотные бесконтактные методы. Классификация методов (методы замещения и методы модуляции свойств элементов схемы). Причины возникновения неоднозначности и методы её исключения.

4.4. Плазменный резонанс носителей заряда в полупроводниках и металлах и определение концентрации, подвижности и эффективной массы носителей заряда. Дисперсия электромагнитного излучения в полупроводниковой среде в магнитном поле. Эффект Фарадея, цик-

лотронный и магнитоплазменный резонансы и их применение для определения параметров материалов.

5. Определение параметров зонной структуры.

5.1. Анализ особенностей зонной структуры и определение ширины запрещённой зоны:

- по измерениям температурных зависимостей электропроводности и коэффициента Холла;

- по измерениям спектрального распределения поглощения;

- по спектральной зависимости рекомбинационного излучения;

- по спектральной зависимости фотопроводимости.

Сопоставление значений ширины запрещённой зоны, определяемых различными методами. Исследование зависимостей параметров зонной структуры от температуры, давления и состава.

5.2. Определение эффективных масс носителей заряда в полупроводниковых материалах по результатам измерений термо ЭДС, эффекта Холла и плазменного резонанса носителей заряда, циклотронного и магнитоплазменного резонансов, спектральных зависимостей поглощения и эффекта Фарадея. Сопоставление значений эффективной массы, определенных различными методами. Определение ширины запрещённой зоны по спектру поглощения.

6. Методы определения параметров полупроводниковых структур.

6.1. Влияние пограничных сред на свойства сопредельных слоев в структурах. Физическое содержание определяемых величин. Определение концентрации и подвижности носителей заряда в неоднородных полупроводниковых материалах и структурах. Определение распределения примесей в неоднородных структурах. Вольт-емкостной метод. Электронно- и ионно-зондовые методы анализа состава и электронных свойств. Классификация методов. Методы Оже-спектроскопии, вторичной ионной масспектроскопии, рентгеноспектрального и рентгенофлуоресцентного анализа, обратного Резерфордского рассеяния

6.2. Основные параметры и методы контроля свойств эпитаксиальных структур (определения толщины слоев и их электрофизических свойств). Основные параметры и методы контроля свойств диффузионных структур (определения поверхностной концентрации, положения р-п перехода, поверхностного сопротивления). Основные параметры и методы контроля свойств структур металл – диэлектрик – полупроводник (толщины слоя диэлектрика, его состава и показателя преломления, плотности поверхностных состояний и поверхностного заряда, уровня легирования полупроводника). Тестовые методы контроля. Переходные слои в структурах и методы определения их параметров

7. Методы и средства контроля структур в ходе их образования.

7.1. Определение толщины и скорости роста (травления) полупроводниковых и диэлектрических слоев в ходе их образования в молекулярно-лучевых, газотранспортных и плазмохимических процессах.

7.2. Определение состава и свойств структур в процессах их образования.

7.3. Возможности прогнозирования функциональных параметров устройств на основе контроля *in situ*.

7.4. Определения свойств структур и технологических факторов при приборно-технологическом моделировании, в виртуальных и натуральных системах производства и изучения.

8. Стандартизация требований к материалам, структурам, приборам и ИМИС и методам их определения.

8.1. Международные, государственные и отраслевые системы показателей качества и методов их определения.

8.2. Классификация параметров. Построение систем контроля. Контрольные, периодические и конструктивные испытания. Испытания на длительный срок службы. Испытания на устойчивость к механическим воздействиям и воздействиям окружающей среды. Оптимизация контроля.

Примерный перечень лабораторных работ

1. Математическое описание и моделирование процессов на основе планирования экспериментов (ПФЭ)
2. Определение свойств материалов и структур по отраженному излучению в области плазменного резонанса
3. Эллисометрия непоглощающих сред (определение оптических постоянных материалов, оптических постоянных и толщины слоёв в структурах)
4. Анализ зонной энергетической структуры на основе спектральной зависимости коэффициента поглощения
5. Определение толщин слоёв в эпитаксиальных и диффузионных структурах
6. Определение параметров МДП структур
7. Многопараметровое определение свойств многослойных структур по угловой зависимости отраженного слоистой структурой излучения
8. Многопараметровое определение свойств многослойных структур по отраженному слоистой структурой излучению
9. Определение параметров макро, меза, микро и нанопористого кремния *in situ*
10. Фотолюминесценция пористого кремния
11. Изучение диагностики композитов в наноструктурах на основе эллипсометрических измерений
12. Определение механизма проводимости в неупорядоченных средах
13. Изучение кинетики и оптических свойств нанометровых слоёв в ходе их образования
14. Контроль топологии и состава наноструктур с помощью РЭМ

Учебные электронные пособия и описания всех перечисленных лабораторных работ имеются на кафедре материаловедения, технологий и управления качеством:

- Методы и средства контроля процессов и структур *in situ* /Биленко Д.И., Белобровая О.Я., Галушка В.В., Жаркова Э.А., Мельникова Т.Е., Мысенко И.Б., Полянская В.П., Сагайдачный А.А., Смирнов А.И., Терин Д.В., Хасина Е.И. //Компьютерные учебные программы и инновации. -2008. - № 12. -С.70
- Биленко Д.И, Белобровая О.Я., Галушка В.В., Жаркова Э.А., Мельникова Т.Е., Мысенко И.Б., Полянская В.П., Сагайдачный А.А., Смирнов А.И., Терин Д.В., Хасина Е.И. Методы и средства контроля процессов и структур *in situ*. (ч.1,2). Саратов.2008.173 с.
- Биленко и др. Методы диагностики микро и наносистем: Учебное пособие для студ. фак. нано- и биомедицинских технологий. – Саратов, 2008. – 164 с.
- Биленко Д.И. «Комплексная диэлектрическая проницаемость. Плазменный резонанс свободных носителей заряда в полупроводниках». - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999.
- Руководство к практическим занятиям по курсу «Методы исследования полупроводниковых материалов, приборов и ИМС» /Под ред. Д.И. Биленко. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1980. Ч.1,2.

Примерная тематика практических занятий (семинаров)

1. Омические контакты - Свойства, методы создания, методы определения основных параметров
2. Определение концентрации мелких донорных и акцепторных уровней.
3. Определение профилей концентрации и подвижности носителей заряда в слоисто неоднородных материалах и структурах. Почему и какие уровни мелкие? Основные возможности и методы раздельного определения концентрации донорных и акцепторных уровней в основных полупроводниковых материалах.

4. Электрофизические методы анализа профилей распределения концентрации и подвижности носителей заряда на основе методов измерения проводимости, коэффициента Холла и вольт-ёмкостных измерений.
5. Неразрушающие методы определения профилей распределения концентрации и подвижности носителей заряда.
6. Методы измерений топологических параметров материалов и структур.
7. Электронно- и ионнозондовые методы локального анализа состава.
8. Анализ состава структур методами Оже-спектроскопии, вторично-ионной спектроскопии, обратного Резерфордского рассеяния, рентгено-флуоресцентными методами.
9. Основы неразрушающего многопараметрового определения свойств материалов и структур

Примечание: Темы семинарских занятий выбираются по согласованию с преподавателем, читающим лекции, преподавателем, ведущим семинары и предлагаются студентами.

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

При реализации различных видов учебной работы (лекции, лабораторные и практические занятия, самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проблемное обучение;
- исследовательские методы в обучении.

Во время аудиторных занятий проводятся лекции с использованием ПК и мультимедийного проектора, демонстрируются слайды, аппаратура и проводятся натурные эксперименты непосредственно из лабораторий с помощью Skype, Discord, Google Meet. Для лучшего усвоения материала студентам передаются электронные материалы к лекциям.

Практические занятия проводятся в форме тематических семинаров, на которых не только обсуждается заданная проблема, но и решаются прикладные задачи, по ряду проблем используется коллективная мыслительная деятельность. На практических занятиях проводятся встречи с известными специалистами и экспертами.

При проведении практических (семинарских) занятий в активной форме проводится детальный анализ физических основ методов и ограничений при определении параметров материалов и структур

При проведении лабораторных занятий выполняются натурные и вычислительные эксперименты в лабораторном практикуме.

Ряд лабораторных работ выполняется на основе высококомпьютеризированных комплексов (спектральный эллипсометрический комплекс, электронный сканирующий микроскоп) непосредственно в лабораториях научно-исследовательских институтов университета и кафедры материаловедения, технологии и управления качеством. При необходимости студенты могут выполнять работы в компьютерном классе, оснащённом лицензионными математическими пакетами.

В ходе выполнения лабораторных работ студенты получают навыки и могут осуществлять поиск и получение дополнительной информации через постоянно включённый свободный выход в Интернет.

Одним из основных средств обучения является решение студентами специализированных задач по курсу, направленных на обучение применению знаний и приобретению новых на примерах решения конкретных задач выбора, анализа применимости различных методов диагностики и их адаптации к конкретным условиям.

Самостоятельная внеаудиторная работа предполагается в форме проблемно-поисковой и исследовательской деятельности.

Методы обучения, применяемые при изучении дисциплины «Методы исследования материалов и структур электроники и наноэлектроники» способствуют закреплению и совершенствованию знаний, овладению умениями и получению навыков в области диагностики материалов и структур.

Содержание учебного материала диктует выбор методов обучения:

- информационно-развивающие – лекция, объяснение, демонстрация, решение задач;
- самостоятельная работа с рекомендуемой литературой;
- проблемно-поисковые и исследовательские – самостоятельная проработка предлагаемых проблемных вопросов по дисциплине.

Практическая подготовка при реализации данной дисциплины направлена на формирование практических навыков и компетенций по профилю образовательной программы в процессе выполнения лабораторных работ, в ходе которых студенты осваивают методы исследования материалов и структур электроники и наноэлектроники на установках, аналогичных используемых для этих целей на предприятиях электронной промышленности.

Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.
- использование индивидуальных графиков обучения
- использование дистанционных образовательных технологий

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Самостоятельная работа студентов подразумевает работу под руководством преподавателей (консультации и помощь при выполнении домашних заданий) и индивидуальную работу студента в компьютерном классе или библиотеке.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего семестра и заключается в поиске информации с использованием ресурсов Интернета и электронных учебных материалов, периодической литературы и монографий, изучении литературы, подготовке к лекциям, лабораторным, семинарским и практическим занятиям, выполнении заданий лектора.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к выполнению и отчетам по лабораторным работам тщательно изучать описание работы, задавать уточняющие вопросы преподавателю и дежурному инженеру, иметь отдельную тетрадь по лабораторному практикуму, для выполнения заданий и оформления отчетов;
- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать литературу по теме занятия;
- при подготовке к контрольной работе пользоваться лекциями и рекомендованной литературой;
- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время зачета и экзамена.

Перечень заданий для самостоятельной работы, предлагаемых студентам в ходе чтения лекций по каждому тематическому разделу:

Методы измерения и исследования электрофизических свойств:

1. Анализ однородности, определение локальной электропроводности в неоднородных материалах.
2. Низкочастотные бесконтактные методы.
3. Классификация методов: методы замещения и методы модуляции свойств элементов схемы. Причины возникновения неоднозначности и методы её исключения.
4. Основные гальваномагнитные явления, используемые при исследованиях и контроле материалов и структур.
5. Специфические трудности и источники погрешностей при измерениях эффектов Холла, геометрического и физического магнитосопротивления.

Исследование и контроль рекомбинационных параметров.

6. Методы подвижного зонда. Фотогальваномагнитный эффект и измерения рекомбинационных параметров на его основе.
7. Метод модуляции проводимости в точечном контакте.
8. Определение времени жизни при периодическом возбуждении по зависимости отклика от частоты и сдвигу фаз.
9. Определение времени жизни методом сдвинутых импульсов.

Основы бесконтактной метрики.

10. Комплексные диэлектрическая проницаемость, импеданс и показатель преломления однородных материалов и композитных сред.
11. Связи оптических и высокочастотных свойств материалов с их проводимостью, концентрацией, подвижностью и эффективной массой носителей заряда поляризуемостью “решётки” и частотой.

Определение параметров и исследование зонной структуры.

12. Определение ширины запрещённой зоны:
 - по измерениям температурных зависимостей электропроводности и коэффициента Холла;
 - по измерениям спектрального распределения поглощения;
 - по спектральной зависимости рекомбинационного излучения;
 - по спектральной зависимости фотопроводимости.
13. Определение ширины запрещённой зоны по спектру поглощения.

Методы определения параметров структур.

14. Классификация методов.
15. Методы Оже-спектроскопии, вторичной ионной масспектроскопии, рентгеноспектрального и рентгенофлуоресцентного анализа, обратного Резерфордского рассеяния

Методы и средства контроля структур в ходе процессов их образования

16. Определение толщины и скорости роста (травления) полупроводниковых и диэлектрических слоев в ходе их образования в молекулярно-лучевых, газотранспортных и плазмохимических процессах.
17. Определение состава и свойств структур в процессах их образования.

Примерные задания контрольной работы

1. Медленные процессы, когда за время, в течение которого образец не меняется по свойствам и можно снять несколько спектров. Требования к измерительной технике по воздействию в этом случае не слишком жесткие.

2. Охарактеризуйте группы процессов, в которых можно делать прерывание – процессы, в которых после каждого измерения не происходит изменения образца и факт прерывания не влияет на свойства образующейся структуры.

3. Охарактеризуйте быстрые процессы, в которых прерывание является технологическим фактором, меняющим свойства структуры. В этом случае необходимо использование максимально быстродействующего прибора. Это может быть лазерный эллипсометр с расщеплением луча, спектральный эллипсометр.

4. Охарактеризуйте основные источники погрешностей оптической микроскопии.

5. Охарактеризуйте основные источники погрешностей зондовой микроскопии.

6. Погрешности косвенных методов измерения. Обработка данных для минимизации погрешности.

7. Распространение погрешностей и ошибок в процессе обработки данных.

8. Основные источники артефактов в сканирующем зондовом микроскопе.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета и экзамена (7-й семестр).

Зачет выставляется по результатам выполнения лабораторных работ и отчета по полученным результатам.

**Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации
по итогам освоения дисциплины
(в форме экзамена)**

1. Получите расчётную формулу для измерения проводимости четырёхзондовым методом при расположении зондов по углам квадрата.
2. Проведены измерения фотопроводимости при различных частотах модуляции фотовозбуждения. Определите время жизни неравновесных носителей заряда и проверьте применимость предлагаемого метода.
3. Получите расчётную формулу для определения проводимости четырёхзондовым методом для случая, когда 2-ой и 3-ий зонды токовые, а 1-ый и 4-ый потенциальные.
4. Измерения разности фаз между сигналами фотопроводимости и возбуждения проведены при различных частотах фотовозбуждения. Предложите способ представления экспериментальных данных для проверки применимости предлагаемой методики и определите время жизни неравновесных носителей заряда.
5. Время жизни неравновесных носителей заряда определяется по спаду фотопроводимости. Обоснуйте выбор временного интервала на зависимости измеряемого сигнала от времени.
6. Измерения проводимости полупроводникового материала проводятся методом Ван дер Пау. Как проверить однородность проводимости образца?
7. Как отличить напряжение асимметрии от ЭДС Нернста и исключить влияние обоих напряжений на измерения эффекта Холла?
8. Результаты измерений проводимости образца методом Ван дер Пау больше проводимости, определённой трёхзондовым методом в несколько раз. Назовите возможные причины.
9. Толщина плёнки меньше толщины обеднённого слоя при пробое. Удельное сопротивление плёнки измеряется трёхзондовым методом. Как влияет проводимость подложки на результаты измерений?
10. Значения относительного изменения удельного сопротивления при измерениях физического и геометрического магнитосопротивления отличаются в 2 раза. Предложите объяснение и используйте его для оценки механизма рассеяния носителей заряда.
11. При измерениях проводимости замена прибора, измеряющего разность потенциалов, с внутренним сопротивлением 10 МОм на прибор с сопротивлением 100 МОм привела к изменению определяемого значения проводимости образца в 2 раза. Как по этим данным определить истинное значение проводимости?
12. Значения концентрации носителей заряда, определённые вольт-ёмкостным методом и по эффекту Холла отличаются более чем на 50% ($5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ соответственно). Назовите возможные причины.

13. Изучение профиля распределения концентрации носителей заряда проводится вольт-ёмкостным методом. Каково влияние погрешности в определении площади обедняющего контакта на абсолютные и относительные значения концентрации?
14. Значения концентрации носителей заряда, определённые по измерениям эффекта Холла и вольт-ёмкостным методом, отличаются в 2 раза. Назовите возможные причины.
15. Измерения концентрации носителей заряда проводятся вольт-ёмкостным методом. Что ограничивает предельную глубину, на которой может быть определена концентрация? Оцените её при ожидаемой концентрации $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.
16. Измерения диффузионной длины проводятся методом подвижного светового зонда. Как проверить линейность коллектора и исключить нелинейность при необходимости?
17. Вы располагаете аппаратурой для измерения времени жизни по стационарной фотопроводимости. Как установить линейна или нелинейна рекомбинация неравновесных носителей заряда?
18. Значения проводимости, измеренные на постоянном токе и на переменном, не совпадают. Назовите возможные причины.
19. Можно ли получить сведения о механизме рассеяния носителей заряда измерениями эффекта Холла и магнитосопротивления?
20. На каких частотах можно наблюдать ЭДС Холла, Нернста и асимметрии при измерениях эффекта Холла на переменном токе и постоянном магнитном поле.
21. Можно ли определить подвижность носителей заряда, измеряя их время жизни и диффузионную длину.
22. Проводимости слоя и подложки могут находиться в пределах от 10 до 100 $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ и от 0.1 до 1 $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ соответственно, толщина слоя от 10 до 100 мкм. При каких межзондовых расстояниях можно пренебречь проводимостью подложки при измерениях проводимости слоя четырёхзондовым методом?
23. Значения проводимости образца, определённые на постоянном токе, во много раз меньше значений, определённых на частоте 10^{14} Гц . Назовите возможные причины.
24. Лазерный луч мощностью 10 мВт (длина волны 1.06 мкм, диаметр луча 3 мм) возбуждает неравновесные носители в кремнии. Как определить скорость возбуждения? Зависит ли скорость возбуждения от толщины плоскопараллельной пластины и концентрации примесей?
25. Сопоставьте качественные методы определения неоднородности полупроводниковых материалов по проводимости и порекомендуйте метод, обладающий среди них наибольшим разрешением по поверхности образца.
26. Проанализируйте качественно, как может повлиять увеличение скорости поверхностной рекомбинации на стороне образца, противоположной освещаемой, на ток короткого замыкания фотоэлектромагнитного эффекта.
27. При определении концентрации носителей заряда погрешность измерения ёмкости возросла с 0.05 до 0.1. Во сколько раз увеличится погрешность определения концентрации носителей заряда?
28. Измерения магнитосопротивления проводятся на так называемом диске Карбино, представляющем собой диск с контактами. Один из контактов - круг, размещённый в центре образца, а второй охватывает торец (периферию) диска. Получите формулу, связывающую удельное сопротивление и сопротивление образца.
29. Как влияет проводимость подложки на значение проводимости слоя, определяемое 3-х зондовым методом, если толщина слоя меньше толщины обеднённого слоя при пробое?
30. Сопоставьте зависимости спада концентрации носителей заряда от времени после прекращения фотовозбуждения для двух случаев – сопоставимая и пренебрежимо малая скорости рекомбинации на поверхности по сравнению со скоростью рекомбинации в объёме.

31. Сопротивление образца 40 Ом, какими должны быть сопротивления приборов, подключаемым к Холловским контактам, при измерениях эффектов геометрического сопротивления, физического сопротивления и ЭДС Холла?
32. Как получить сведения о механизме рассеяния носителей заряда по измерениям магнетосопротивления?
33. Проводимость плёнки существенно меньше проводимости подложки. Предложите способ определения проводимости плёнки и проанализируйте его применимость для плёнок различной толщины.
34. На длине волны 0.9 мкм коэффициент поглощения равен 100 см^{-1} , а при $\lambda = 1.2 \text{ мкм}$ - 10 см^{-1} . При какой минимальной толщине образца можно создать условия объёмного и поверхностного возбуждения неравновесных носителей заряда?
35. Значения проводимости, определённые на частоте 200 ГГц и рассчитанные по значениям концентрации и подвижности носителей заряда, найденным по спектральной зависимости отражения в области плазменного резонанса, существенно различны. Назовите возможные причины.
36. Как определить эффективную массу носителей заряда по спектральной зависимости коэффициента отражения?
37. Толщина эпитаксиального слоя в структурах типа низколегированный слой на высоколегированной подложке определяется интерференционным методом. Необходимое для уверенной регистрации интерференции отличие в значениях показателей преломления $\sim 10^{-2}$. Определить зависимость минимальной длины волны необходимого спектрального диапазона от свойств подложки.
38. Предполагаемые диапазоны значений эффективной массы, концентрации и подвижности носителей заряда 0.01-0.2 m_0 , 10^{14} - 10^{16} см^{-3} и 10^2 - $10^3 \text{ см}^2/\text{Вс}$ соответственно. Предложите способ и диапазон частот для определения концентрации и подвижности носителей заряда.
39. Заданы погрешности определения ёмкости, площади перехода и напряжения смещения (5%, ;% и 1% соответственно). С какой погрешностью определяется концентрация носителей заряда и её распределение по глубине образца вольт-ёмкостным методом?
40. Значения проводимости, определённые на частоте 20 ГГц и рассчитанные по значениям концентрации и подвижности носителей заряда, найденным по спектральной зависимости отражения в области плазменного резонанса, существенно различны. Назовите возможные причины.
41. Диапазоны удельных сопротивлений подложек и плёнок 1-100 Ом см и 10^3 - 10^4 Ом см соответственно. При каких межзондовых расстояниях можно не учитывать проводимости подложки, не увеличивая погрешности измерений проводимости плёнок четырёхзондовым методом более чем на 5%?
42. В предположении справедливости полуклассических соотношений определить подвижность носителей заряда по следующим данным: толщина образца, коэффициент поглощения, значение магнитного поля и угол поворота плоскости поляризации в эффекте Фарадея, предложите способ проверки предположения.
43. Лазерный луч мощностью 10 мВт (длина волны 1.06 мкм, диаметр луча 3 мм) возбуждает неравновесные носители в кремнии. Зависит ли скорость возбуждения от температуры, толщины плоскопараллельной пластины и концентрации примесей?
44. В предположении, что потери вызваны рассеянием свободных носителей заряда, предложите способ определения времени релаксации и концентрации носителей заряда и подтверждения предположения по значениям действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости.
45. Предполагаемые диапазоны значений эффективной массы, подвижности и концентрации носителей заряда 0.01- 0.2 массы свободного электрона, 100 - 1000 $\text{см}^2/\text{Вс}$, 10^{19} - 10^{20} см^{-3} . Предложите способ и диапазон частот для бесконтактного определения концентрации и подвижности носителей заряда

46. Может ли уровень фотовозбуждения изменить его характер (поверхностное, объёмное)?
47. Как определить эффективную массу носителей заряда по спектральной зависимости коэффициента отражения?
48. Результаты измерений толщины слоя по интерференции отражённого излучения и по взвешиванию различаются больше чем погрешности в методах измерений. Возможные причины и способы их подтверждения.
49. По толщине образца концентрация N и подвижность m носителей заряда изменяются по законам $N(x)=N_0\exp(-ax)$ и $m=m_0N^{-b}$ соответственно. Экспериментально определены значения коэффициента Холла - R_x и проводимость образца - s . Сопоставьте значения холловских концентрации и подвижности носителей заряда со средними по образцу значениями.
50. Можно ли получить сведения о механизме рассеяния носителей заряда по следующим данным: коэффициент Холла, плазменная частота, циклотронная частота.
51. Почему и как изменение температуры может повлиять на характер фотовозбуждения носителей заряда в полупроводниковом материале?
52. Как изменить скорость распространения электромагнитной волны в полупроводниковом материале?
53. Предложите и сопоставьте способы бесконтактного определения распределения концентрации носителей заряда по площади пластины.

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

7.1. Учебный рейтинг по дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники и наноэлектроники» при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена.

1	2	3	4	5	6	7	8	
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
7	15	10	10	10	20	0	35	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

7 семестр

Лекции

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 15 баллов.

Лабораторные занятия

Посещаемость, отчёты по лабораторным работам – от 0 до 20 баллов.

Практические занятия:

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 10 баллов.

Самостоятельная работа

Оформление отчётов по лабораторным работам, выполнение заданий на самостоятельную работу, контрольная работа – от 0 до 20 баллов.

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности:

Не предусмотрено.

Промежуточная аттестация (экзамен)

Экзамен проводится в устной форме и предполагает ответ на 2 вопроса билета.

При проведении промежуточной аттестации
 ответ на «отлично» оценивается от **21** до **35** баллов;
 ответ на «хорошо» оценивается от **11** до **20** баллов;

ответ на «удовлетворительно» оценивается от **6** до **10** баллов;

ответ на неудовлетворительно оценивается от **0** до **5** баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 7 семестр по дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники и нанoeлектроники» при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена составляет 100 баллов.

Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники и нано электроники» в оценку (экзамен):

86 - 100 баллов	«отлично»
70 - 85 баллов	«хорошо»
50 - 69 баллов	«удовлетворительно»
меньше 50 баллов	«неудовлетворительно»

7.2. Учебный рейтинг по дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники и нанoeлектроники» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
7	0	20	40	20	20	0	0	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

7 семестр

Лекции

Не предусмотрены.

Лабораторные занятия

Посещаемость, отчёты по лабораторным работам – от 0 до 40 баллов.

Практические занятия:

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 40 баллов.

Самостоятельная работа

Оформление отчётов по лабораторным работам, выполнение заданий на самостоятельную работу, контрольная работа – от 0 до 20 баллов.

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности:

Не предусмотрены.

Промежуточная аттестация (зачёт)

Зачёт выставляется на основании набранных студентом баллов по итогам лабораторных и практических занятий, а также самостоятельной работы.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 7 семестр по дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники и нанoeлектроники» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта составляет 100 баллов.

Таблица 2.1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники и нанoeлектроники» в оценку (зачёт).

60 баллов и более	«зачтено»
меньше 60 баллов	«не зачтено»

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) литература:

1. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур. Сканирующая зондовая микроскопия. Часть 1 [Электронный ресурс] / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2013. - 134 с. — ЭБС IPR BOOKS. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/45104.html>
2. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур. Часть II [Электронный ресурс] / А. А. Величко, Н. И. Филимонова. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2014. - 227 с. — ЭБС IPR BOOKS. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/45105.html>
3. Методы и средства контроля процессов и структур in situ: учебное пособие для студентов, магистрантов и аспирантов направлений "Электроника и нанозлектроника", "Материаловедение и технологии материалов", "Биотехнические системы и технологии" : в 2 ч. / Д. И. Биленко [и др.] ; под общ. ред. Д. И. Биленко и С. Б. Венига ; Сарат. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. - Саратов: Издательство Саратовского университета, 2014. - (Материаловедение и технология новых материалов). **Ч. 1.** - Саратов: Издательство Саратовского университета, 2014. - 200 с. (38 экз.)
4. Получение и исследование наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям / под ред. А.С. Сигова. - М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 146 с. (70 экз.)
5. Микроскопические методы исследования материалов [Электронный ресурс]: монография/ Кларк Э.Р., Эберхард К.Н.— М.: Техносфера, 2007. — 376 с. — ЭБС IPR BOOKS. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/12728.html>
6. Микроскопические методы исследования материалов [Текст] / Э. Р. Кларк, К. Н. Эберхардт ; пер. с англ. С. Л. Баженова ; Ин-т синтез. полимер. материалов им. Е. Н. Ениколопова РАН. - Москва: Техносфера, 2007. - 376 с. (7 экз.)
7. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов: учеб. для студентов вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1987. - 240 с. (5 экз.)
8. Приборы и методы измерения электрических величин: учеб. пособие для вузов / Э.Г. Атамалян. - 3-е изд., доп. и перераб. - М.: Дрофа, 2005. - 415 с. **Гриф УМО** (6 экз.)
9. Методы и средства измерений [Электронный ресурс]: учебное пособие / Бикулов А.М.— М.: Академия стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. — 132 с.— ЭБС IPR BOOKS. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/44250.html>
10. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ: учеб. пособие / Г.В. Фетисов; под ред. Л.А. Асланова. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 671 с. **Гриф УМО** (5 экз.)

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Операционные системы, программные средства офисного назначения:

1. Microsoft Windows XP Professional, Microsoft Windows 7, Microsoft Windows 8 – лицензия № 61137891 от 09.11.2012
2. Microsoft Office профессиональный 2007 (Word, Excel, Access, PowerPoint, Outlook, InfoPath, Publisher) – лицензия № 42226296
3. Microsoft Office Standart 2010 – лицензия № 67334291
4. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstation

Специализированное программное обеспечение:

1. QuantumWise Virtual Nano Lab 12 – лицензия № 20120636
2. LabVIEW 8.5 – лицензия M71X16241 от 28.05.2010
3. Wolfram Mathematica 7 – лицензия L3266-6743 от 12.02.2010
4. PTC Mathcad 14 – лицензия №2527097 от 27.02.2010
5. The MathWorks MATLAB – лицензия № 577478 от 27.02.2010
6. Multisim Education – лицензия M64X94555 от 03.02.2007

Интернет-ресурсы

1. Каталог образовательных Интернет-ресурсов. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>
2. Зональная научная библиотека им. В.А. Артисевич Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>
3. Электронное учебное пособие Биленко Д.И. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Плазменный резонанс свободных носителей заряда в полупроводниках. – Режим доступа:
http://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2014/12/15/kompleksnaya_dielektricheskaya_pronicaemost_plazmennyy_rezonans1.doc (Дата обращения 28.08.21)

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия по дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники и наноэлектроники» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, наглядными демонстрационными материалами, мультимедийными установками. Оборудование и возможности учебно-научной лаборатории микроэлектроники и описаны на сайте лаборатории.

В частности, студенты имеют возможность использовать при выполнении лабораторных работ:

Инженерно-исследовательский участок (общая площадь 36 кв.м.) с приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением и отдельными (автономными) вентиляционными устройствами для отсоса воздуха из вытяжных шкафов:

- Четыре вытяжных шкафа;
- Установка по получению образцов пористого кремния с контролем *in situ*;
- Установка плазмохимического синтеза пленок и сверхрешеток на основе пленок аморфного гидрогенизированного и нитридизированного кремния,
- Установка по получению пленок двуокиси ванадия,
- Установка по получению дистиллированной воды,
- Установка по получению бидистиллированной воды,
- Участок для обработки химической посуды (водопровод, канализация),

Участок универсального вакуумного откачного поста, ВУП-5 трехфазный (380 В) потребляемая мощность 5 кВт (общая площадь 36 кв.м.).

Участок оптических исследований (общая площадь 18 кв.м):

- Эллипсометр – ЛЭФ 3М - 2 шт.
- Спектральный быстродействующий эллипсометрический комплекс (Эллипс – 1000 АСГ),

- Спектрофотометр СФ-56 Ломо Спектр,
- Спектрофотометр СФ-2000,
- Спектрофотометр СФ-26 Ломо,
- ИК спектрометр Specord M80,
- Участок оптической микроскопии (Универсальный прецизионный оптометрический комплекс).

Весовая (общая площадь 12 кв.м):

- Весы ExplorerPro,
- Установка ДСК анализа Thermal Analyser DTAS 1300.

Участок электрофизических и электродинамических исследований (общая площадь 18 кв. м) с приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением:

- Высокочастотный прецизионный измеритель RLC 6500 P,
- Высокочастотный прецизионный измеритель RLC 6400 B,
- Измеритель иммитанса LCR 819.

Участок зондовой туннельной микроскопии (общая площадь 9 кв.м):

- Нанотехнологический комплекс «Умка» – 4 шт.

Дополнительно организуются экскурсии в исследовательских лабораториях ОНИ НСиБС СГУ по соглашению между ОНИ НСиБС и института физики, института химии и биологических факультетов СГУ.

Место проведения практической подготовки лаборатория микроэлектроники

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» с учётом профиля подготовки «Микро- и нанoeлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем».

Автор:

доцент кафедры материаловедения,
технологии и управления качеством, к.ф.-м.н, доцент Д.В. Терин

Программа разработана в 2019 г. и одобрена на заседании кафедры материаловедения, технологии и управления качеством от 23.09.2019 г., протокол № 2.

Программа актуализирована в 2021 г. и одобрена на заседании кафедры материаловедения, технологии и управления качеством от 20.09.2021 г., протокол № 2.

Программа актуализирована в 2023 г. и одобрена на заседании кафедры материаловедения, технологии и управления качеством от 20.06.2023 г., протокол № 11.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература:

1. Многопараметровая диагностика микро- и наноструктур / Д. И. Биленко [и др.]; Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. - Саратов: Издательство Саратовского университета, 2015. – 132 с. (3 экз.)
2. Многопараметровая диагностика микро- и наноструктур. Биленко Д.И, Белобровая О.Я., Галушка В.В., Сагайдачный А.А., Терин Д.В. Свидетельство об отраслевой регистрации № 10716 от 05.06.2008. Номер гос. регистрации 50200801139. Дата регистрации 02 июня 2008 г. Саратов, 2008. - 173 с.
3. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Плазменный резонанс свободных носителей заряда в полупроводниках / Д.И. Биленко. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999. – 44 с. (1 экз.)
4. Микроскопические методы исследования материалов / Э.Р. Кларк, К.Н. Эберхардт; пер. с англ. С.Л. Баженова; Ин-т синтез. полимер. материалов им. Е.Н. Ениколопова РАН. – М.: Техносфера, 2007. – 371 с. (1 экз.)
5. Физика полупроводников: учеб. пособие / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1977. – 672 с. (1 экз.)
6. Статьи в отечественной и зарубежной печати по рекомендации преподавателя