

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 25.05.2023 10:25:36  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
**«ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОНИКИ»**  
для подготовки магистров  
по направлению  
11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»  
по программе  
**«Физическая электроника»**

Санкт-Петербург

2022

## **ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**

Разработчики:

заведующий кафедрой, д.т.н., доцент Семенов А.А.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭТ  
16.03.2022, протокол № 3

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФЭЛ, 24.03.2022, протокол № 01/22

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## **1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**

Обеспечивающий факультет	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра	ФЭТ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	1
Семестр	2

## Виды занятий

Лекции (академ. часов)	68
Практические занятия (академ. часов)	34
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	103
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	77
Всего (академ. часов)	180

#### **Вид промежуточной аттестации**

Экзамен (курс) 1

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОНИКИ»**

Основной целью изучения дисциплины «Диагностика материалов электроники» является приобретение навыков применения методов диагностики материалов и элементов электроники. Изучение дисциплины подкрепляется лабораторным практикумом. В результате изучения дисциплины, студенты должны быть готовы к использованию ионных методов диагностики поверхности и объема твердотельных объектов, таких как резерфордовское обратное рассеяние, ионная спектрометрия; и электронных методов, таких как электронная и туннельная микроскопии, рентгеноспектральный и Оже-электронный анализ. Также рассматриваются такие неразрушающие методы исследования твердотельных объектов как рентгеноструктурный микроанализ, атомно-силовая микроскопия и эллипсометрия. Данная дисциплина закладывает основы для последующего изучения твердотельной электроники и микроэлектроники и применения данных дисциплин для разработки современных материалов и элементов электроники. Излагаются основные тенденции совершенствования современных средств диагностики в русле общих направлений развития микро- и наноэлектроники и технологий.

#### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«DIAGNOSTICS OF MATERIALS ELECTRONICS»**

The main purpose of the discipline "Diagnostics of materials electronics" is the skills of methods for diagnosis of materials and electronic components. Study discipline is supported by laboratory exercises. As a result, the discipline, students must be prepared to use ion diagnostics of surface and volume of solid objects, such as Rutherford backscattering, ion spectrometry, and electronic methods, such as electron and tunneling microscopy, X-ray and Auger electron analysis. The non-destructive investigation methods of solid-state objects as X-ray diffraction microanalysis, atomic

force microscopy and ellipsometry are also considered. This discipline provides a foundation for further study of solid state electronics and microelectronics applications of these disciplines to develop advanced materials and electronic components. Outlines the main trends of modern means of improving the diagnostic analysis in line with general trends in the development of micro-and nano-electronics and technology.

### **3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

#### **3.1 Цели и задачи дисциплины**

1. Основной целью изучения дисциплины «Диагностика материалов электроники» является приобретение навыков применения методов диагностики материалов и элементов электроники. Изучение дисциплины подкрепляется лабораторным практикумом. Изучаются тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, передовой отечественный и зарубежный научный опыт в профессиональной сфере деятельности.
2. Основной задачей дисциплины является формирование навыков научных исследований и разработок, а также освоение новых методологических подходов к решению задач в профессиональной сфере деятельности.
3. Учащиеся получат знания о физических основах методов диагностики материалов и элементов электроники, модельные представления о закономерностях, позволяющих получать точную количественную диагностическую информацию из проведенных измерений характеристик материалов и элементов используемых в электронике и микроэлектронике.
4. В результате освоения дисциплины будут сформированы умения, позволяющие ориентироваться в экспериментальном оборудовании, применяемом для диагностики материалов и элементов твердотельной электроники и микроэлектроники, определять целесообразность и последовательность применения диагностических процедур для исследований природы и свойств конкретных материалов и элементов электроники и микроэлектроники.
5. В результате освоения дисциплины учащийся будет владеть навыками применения современных методов диагностики материалов и элементов электроники и микроэлектроники, основанными на использовании комплексных прин-

ципов реализации технологических и диагностических задач в едином цикле.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Вакуумно-плазменные технологии в электронике»
2. «Компьютерные технологии и моделирование в электронике»
3. «Процессы электронных и ионных технологий»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Современные проблемы электроники»
2. «Производственная практика (преддипломная практика)»

### **3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
ПК-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способен обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач
ПК-1.1	<i>Знает принципы построения и функционирования изделий микро-и наноэлектроники</i>
ПК-1.2	<i>Умеет рассчитывать предельно-допустимые и предельные режимы работы изделий микро-и наноэлектроники</i>
ПК-1.3	<i>Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро и наноэлектроники</i>
ПК-5	Способен проектировать технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства
ПК-5.1	<i>Знает требования технологической и нормативной документации новых технологических процессов выпуска изделий микроэлектроники</i>
ПК-5.2	<i>Умеет проектировать технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники</i>
ПК-5.3	<i>Владеет навыками использования автоматизированных систем технологической подготовки производства</i>

## **4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **4.1 Содержание разделов дисциплины**

#### **4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Лек, ач</b>	<b>Пр, ач</b>	<b>ИКР, ач</b>	<b>СР, ач</b>
1	Введение	1	0		1
2	Основные понятия теории рассеяния	4	2		4
3	Физические процессы, происходящие при взаимодействии потоков ионов с конденсированной средой	9	5	1	9
4	Резерфордовское обратное рассеяние	8	4		9
5	Вторичная ионная и атомная масс-спектрометрия	9	5		9
6	Взаимодействие электронного луча с конденсированной средой	9	5		10
7	Электронная микроскопия и рентгено-спектральный микроанализ	4	2		4
8	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия	4	2		4
9	Электронная Оже-спектроскопия	6	3		9
10	Туннельная и атомно-силовая микроскопия	6	3		7
11	Эллипсометрия	7	3		10
12	Заключение	1	0		1
	Итого, ач	68	34	1	77
	Из них ач на контроль	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе				180/5

#### **4.1.2 Содержание**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
1	Введение	Структура и краткое содержание дисциплины, задачи отдельных разделов курса, связь с другими дисциплинами учебного курса.

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
2	Основные понятия теории рассеяния	Упругое рассеяние частиц. Прицельный параметр и сечение рассеяния. Потенциалы взаимодействия Бора и Томаса-Ферми. Квантовомеханический подход к описанию процессов упругого рассеяния. Неупругое рассеяние. Формула Бете-Борна для возбуждения внутриатомных переходов. Сечение ионизации. Энергетические потери при неупругом рассеянии. Рассеяние фотонов. Поглощение света свободными носителями заряда. Фундаментальное, или основное, поглощение света. Примесное и решеточное поглощение электромагнитной энергии. Фононный спектр.
3	Физические процессы, происходящие при взаимодействии потоков ионов с конденсированной средой	Полные и дифференциальные сечения рассеяния. Многообразие (классификация) физических процессов, происходящих при взаимодействии ионного пучка с твердотельной мишенью. Тормозная способность ионов и удельные энергетически потери. Основные положения теории ЛШШ. Приведенные электронная и ядерная тормозные способности. Понятие пробега ускоренной частицы в твердом теле. Энергетические области, различающиеся основным физическим механизмом торможения иона: Понятие страгглинга как физического предела точности определения координаты рассеяния ускоренного иона. Физическая модель ионного распыления Зигмунда. Каскад смещений, инициированных ускоренным ионом и пороговая энергия распыления. Коэффициент распыления. Расчет коэффициента распыления и аппроксимационных зависимостей. Ионное внедрение, распределение внедренной примеси.

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
4	Резерфордовское обратное рассеяние	Опыты Э.Резерфорда по изучению строения атома. Физические основы РОР. Кинематический фактор. Энергетические потери обратно рассеянного иона. Определение толщины пленок и положений границ разделов в слоистых структурах. Определение состава композитной мишени. Экспериментальное оборудование для измерения РОР-спектров. Регистрирующие детекторы и энергетическое разрешение. Конструкции полупроводниковых детекторов и электростатических анализаторов. Области возможного и эффективного использования детекторов и анализаторов. Разрешение по массам. Разрешение по глубине. Энергетический страгглинг. Метод скользящих углов. Практические примеры исследование спектров имплантированных ионов. Определение химического взаимодействия при анализе слоистых структур. Методы рассеяния ионов средних и низких энергий (РИСЭ и РИНЭ). Канализирование ионов. Критический угол осевого канализирования. Минимальный выход канализированных ионов. Диагностика структурной упорядоченности кристаллических объектов.
5	Вторичная ионная и атомная масс-спектрометрия	Физические основы методов ВИМС. Масс-спектрометрический анализ нейтральных распыленных частиц. ВАМС. Оборудование для проведения анализа методом ВИМС. Требования к первичному ионному пучку. Установки, позволяющие получать сведения о распределении элемента по поверхности, со сканирующим ионным зондом. Порог чувствительности. Факторы, определяющие разрешающую способность. Анализ следов элементов. Ионное изображение. Количественный анализ посредством ВИМС. Глубинные профили концентрации элементов. Приборные факторы, влияющие на разрешение по глубине при измерении профилей концентрации. Влияние ионно-матричных эффектов на разрешение по глубине при измерении профилей концентрации. Уширение внутренней границы раздела. Ионное перемешивание. Исследование поверхности. Глубинные профили концентрации. Распределение частиц по поверхности, микроанализ и объемный анализ.
6	Взаимодействие электронного луча с конденсированной средой	Источники электронных пучков. Термоэлектронная и автоэлектронная эмиссии. Энергия электронного потока. Траектория движения электрона в электрическом и магнитном полях. Управляющие и ускоряющие системы. Основные физические процессы взаимодействия электронов с конденсированной средой. Энергетические потери электрона при распространении в твердом теле. Формула Бете.

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
7	Электронная микроскопия и рентгено-спектральный микроанализ	Растровая (сканирующая) электронная микроскопия (РЭМ). Факторы, определяющие разрешение РЭМ. РЭМ для регистрации поверхностных потенциалов и магнитных полей. Низкотемпературная электронная микроскопия распределений потенциалов в полосковых структурах. Метод регистрации напряжения индуцированных электронным зондом (НИЭЗ). Исследование распределения критической температуры в сверхпроводниковых топологических структурах. Рентгеноспектральные исследования состава твердотельных объектов. Растворный электронный микроскоп-микроанализатор (РЭММА). Схема, конструкция и эксплуатационные характеристики РЭММА. Кристалл-дифракционный и полупроводниковый спектрометры для микрозондовых исследований. Интерпретация результатов рентгеноспектральных измерений. Количественный микроанализ (КРСМА). Просвечивающая электронная микроскопия (ПрЭМ) высокого разрешения. Подготовка образцов для ПрЭМ. Метод дифракции электронных пучков и диагностика структуры пленок. Оборудование для электронографического анализа.
8	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия	Поглощение рентгеновских лучей. Качественный и количественный анализ с применением РФЭС (электронной спектроскопии для химического анализа -ЭС-ХА). Возможность получения информации о структуре и химических свойствах неорганических соединений. Схема метода и конструкция диагностического оборудования. Источники рентгеновского излучения и энергоанализаторы. Требования к образцам. Получение профилей концентрации по глубине с применением ионного травления. Эффекты кратера и зарядки поверхности. Компенсация заряда. РФЭС при скользящем угле.
9	Электронная Оже-спектроскопия	Глубина выхода Оже-электронов. Вероятности ионизации внутренних уровней электронным ударом. Сечение рассеяния Оже-процесса при электронном воздействии. Экспериментальное оборудование Оже-электронной спектроскопии (ОЭС). Дифференцирование, анализ и моделирование Оже-спектров. Элементный и количественный Оже-анализ. Факторы, определяющие разрешающую способность и чувствительность ОЭС. Применение ионного травления для исследования профилей распределения элементов. Сравнительный анализ диагностических возможностей и аналитических характеристик методов ОЭС и ВИМС.

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
10	Туннельная и атомно-силовая микроскопия	Физические предпосылки применения явления туннелирования электронов через энергетические барьеры для целей аналитической диагностики поверхности конденсированных сред. Исследования туннельного эффекта Джозефсона в сверхпроводниках. Дифференцирование ВАХ туннельных контактов. Влияние физических характеристик контактных электродов на ВАХ туннельного перехода. Появление туннельной микроскопии. Конструкция сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Получение и анализ трехмерных изображений с помощью СТМ. Требования к образцам для проведения СТМ. Физические основы атомно-силовой микроскопии (АСМ). Основные отличия СТМ и АСМ. Атомная реконструкция поверхности образцов посредством зондов для АСМ.
11	Эллипсометрия	Плоская электромагнитная волна, её распространение в среде. Отражение плоской электромагнитной волны от исследуемой поверхности. Основное уравнение эллипсометрии. Прямая и обратная задачи. Однородная полубесконечная среда. Однослойная модель. Многослойная модель и оптически неоднородный слой. Композиционные среды. Методы измерения эллипсометрических параметров. Оптические схемы эллипсометров.
12	Заключение	Основные направления развития методов диагностики материалов электроники.

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

## 4.3 Перечень практических занятий

<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
1. Основные понятия теории рассеяния.	2
2. Основные понятия сечения рассеяния атомных частиц.	5
3. Физические процессы взаимодействия ионов со средой.	4
4. Резерфордовское обратное рассеяние (POP).	5
5. Вторичная ионная и атомная масс-спектрометрия.	5
6. Электронная микроскопия и рентгено-спектральный микроанализ.	2
7. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС).	2
8. Электронная Оже-спектроскопия (ОЭС).	3
9. Туннельная и атомно-силовая микроскопия.	3
10. Эллипсометрия	3

<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
Итого	34

#### **4.4 Курсовое проектирование**

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

#### **4.5 Реферат**

Исходные данные и требования: Исходными данными для написания рефератов является курс лекций и материалы учебных занятий, освоенные студентом за время прохождения дисциплины. К реферату предъявляются следующие требования для оценки преподавателем: реферат должен содержать не менее 10 используемых источников, быть не более 20 страниц по объему, оформление производится в Word, шрифт, размер шрифта и оформление рисунков, таблиц должны соответствовать принятым в университете требованиям подготовки научных и учебных работ, либо ГОСТу 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ. Структура и правила оформления. Реферат должен соответствовать и раскрывать заявленную тему. Реферат сдается преподавателю в электронном виде.

Темы:

<b>№ п/п</b>	<b>Название темы</b>	<b>Перевод темы</b>
1	Резерфордовское обратное рассеяние (POP) и рассеяние ионов средних энергий (РИСЭ).	Rutherford backscattering (RBS) and medium-energy ion scattering (MEIS).
2	Вторичная ионная и атомная масс-спектрометрия (ВИМС и ВАМС).	Secondary ion and atomic mass spectrometry (SIMS and AMS).
3	Электронная растровая и просвечивающая микроскопии.	Transmission electron microscope (TEM) and scanning transmission electron microscope (STEM).
4	Рентгеноспектральный микроанализ.	Electron micro probe analyzer (EMPA).
5	Рентгеноструктурный микроанализ.	X-ray crystallography.
6	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС).	X-ray photoelectron spectroscopy (XPS).
7	Электронная Оже-спектроскопия (ОЭС).	Auger electron spectroscopy (AES).

<b>№ п/п</b>	<b>Название темы</b>	<b>Перевод темы</b>
8	Туннельная и атомно-силовая микроскопия.	Scanning tunneling microscope (STM) and atomic force microscopy (AFM).
9	Эллипсометрия.	Ellipsometry.
10	Магнитооптические методы.	Magneto-optical methods.
11	Поляризационная микроскопия.	Polarized light microscopy.

#### **4.6 Индивидуальное домашнее задание**

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

#### **4.7 Доклад**

Доклад не предусмотрен.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### **4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Самостоятельное изучение студентами теоретических основ дисциплины обеспечено необходимыми учебно-методическими материалами (учебники, учебные пособия, конспект лекций и т.п.), выполненными в печатном или электронном виде.

По каждой теме содержания рабочей программы могут быть предусмотрены индивидуальные домашние задания (расчетно-графические работы, рефераты, конспекты изученного материала, доклады и т.п.).

Изучение студентами дисциплины сопровождается проведением регулярных консультаций преподавателей, обеспечивающих практические занятия по дисциплине, за счет бюджета времени, отводимого на консультации (внеаудиторные занятия, относящиеся к разделу «Самостоятельные часы для изучения дисциплины»).

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	15
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	4
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	3
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	15
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	0
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	5

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>77</b>

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Вольпяс, Валерий Александрович. Физические основы электронно-ионной технологии [Текст] : Учеб. пособие / В.А. Вольпяс, А.В. Тумаркин, 2004. -44 с.	58
2	Барченко, Владимир Тимофеевич. Ионно-плазменные технологии в электронном производстве [Текст] / В.Т. Барченко, Ю.А. Быстров, Е.А. Колгин ; под ред. Ю.А. Быстрова, 2001. -331 с.	138
3	Карманенко, Сергей Федорович. Ионные пучки в технологических и диагностических процессах электроники [Текст] : Текст лекций / С.Ф. Карманенко, 2004. -64 с.	58
4	Сорокин, Валерий Сергеевич. Материалы и элементы электронной техники [Текст] : учеб. для вузов по направлению подгот. бакалавров, магистров и специалистов 210100 "Электроника и микроэлектроника" : в 2 т. Т. 2 : Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники, 2006. -377 с.	521
5	Анализ технологических режимов процесса ионно-плазменного распыления [Текст] : Метод. указания к практ. занятиям по дисциплине "Технология материалов и изделий электронной техники" / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2004. -32 с.	30
6	Применение ионных пучков в технологических и диагностических процессах электроники [Текст] : учеб. пособие [по курсу "Физика электронных и ионных процессов"] / Р.Н.Ильин, С.Ф.Карманенко, В.И.Сахаров, И.Т.Серенков, 2002. -80 с.	60
7	Александрова, Ольга Анатольевна. Физика и химия материалов оптоэлектроники и наноэлектроники [Текст] : практикум / О.А. Александрова, В.А. Мошников, 2007. -68 с.	33
8	Вольпяс, Валерий Александрович. Моделирование процессов распыления и переноса в ионно-плазменной технологии [Текст] / В.А. Вольпяс, А.Б. Козырев, В.П. Афанасьев, 2007. -153 с.	100
9	Вольпяс, Валерий Александрович. Физика слабоионизированной плазмы. Прикладные вопросы ионно-плазменного распыления [Текст] : [Учеб. пособие] / В.А. Вольпяс, А.Б. Козырев, 1997. -130 с.	7
Дополнительная литература		
1	Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст] : учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 3 : Квантовая механика. Нерелятивистская теория, 1989. -767 с.	8

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
2	Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия [Текст] : учеб. для вузов по специальности "Физика металлов" и "Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов" / [Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Растворгусев], 1982. -631 с.	25
3	Синельников, Борис Михайлович. Физическая химия кристаллов с дефектами [Текст] : учеб. пособие для вузов по специальности "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и "Микросистемная техника" направления подгот. диплом. специалистов "Электроника и микроэлектроника" / Б.М. Синельников, 2005. -136 с.	10

## 5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Кристаллографическая и кристаллохимическая база данных для минералов и их структурных аналогов <a href="http://database.iem.ac.ru">http://database.iem.ac.ru</a>
2	База данных открытого доступа, предлагающая свойства материалов для ускорения разработки технологий путем прогнозирования того, как могут быть использованы новые материалы - как реальные, так и гипотетические. <a href="https://materialsproject.org/">https://materialsproject.org/</a>

## 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=10588>

## **6 Критерии оценивания и оценочные материалы**

### **6.1 Критерии оценивания**

Для дисциплины «Диагностика материалов электронники» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

#### **Экзамен**

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач

## **Особенности допуска**

Учащийся допускается к экзамену в случае достаточного количества посещенных занятий (не менее 80% лекционных занятий), успешного выполнения всех практических работ и защиты реферата.

## **6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

### **Вопросы к экзамену**

<b>№ п/п</b>	<b>Описание</b>
1	Основные понятия теории рассеяния
2	Резерфордовское обратное рассеяние
3	Взаимодействие потоков ионов с твердым телом
4	Вторичная ионная и атомная масс-спектрометрия
5	Электронная растровая и просвечивающая микроскопии
6	Рентгеноспектральный микроанализ
7	Рентгеноструктурный микроанализ
8	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия
9	Электронная Оже-спектроскопия
10	Туннельная и атомно-силовая микроскопия
11	Эллипсометрия. Основное уравнение эллипсометрии. Однослочная модель
12	Магнитооптические методы
13	Поляризационная микроскопия
14	Взаимодействие электронного луча с конденсированной средой
15	Методы рассеяния ионов средних и низких энергий
16	Эллипсометрия. Многослойная модель и оптически неоднородный слой
17	Основные положения теории ЛШШ. Тормозная способность ионов и удельные энергетические потери. Коэффициент распыления
18	Канализование. Диагностика структурной упорядоченности кристаллов
19	Основные положения теории ЛШШ. Понятие пробега ускоренной частицы в твердом теле. Понятие страгглинга
20	Траектория движения электрона в электрическом и магнитном полях. Управляющие и ускоряющие системы
21	Энергетические потери электрона при распространении в твердом теле. Формула Бете

### **Форма билета**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

---

## **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

Дисциплина Диагностика материалов электроники ФЭЛ

1. Квантовомеханический подход к описанию процессов упругого рассеяния
2. Конструкции полупроводниковых детекторов и электростатических анализаторов.
3. Задача.

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ФЭТ

**А.А. Семенов**

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### **6.3 График текущего контроля успеваемости**

<b>Неделя</b>	<b>Темы занятий</b>	<b>Вид контроля</b>
1	Резерфордовское обратное рассеяние Основные понятия теории рассеяния Физические процессы, происходящие при взаимодействии потоков ионов с конденсированной средой	Практическая работа
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8	Вторичная ионная и атомная масс-спектрометрия Взаимодействие электронного луча с конденсированной средой Электронная микроскопия и рентгено-спектральный микролюминесценция Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия Электронная Оже-спектроскопия Туннельная и атомно-силовая микроскопия Эллипсометрия	Практическая работа
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16	Основные понятия теории рассеяния Физические процессы, происходящие при взаимодействии потоков ионов с конденсированной средой Резерфордовское обратное рассеяние Вторичная ионная и атомная масс-спектрометрия Взаимодействие электронного луча с конденсированной средой Электронная микроскопия и рентгено-спектральный микролюминесценция Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия Электронная Оже-спектроскопия	Практическая работа
17		
		Реферат

### **6.4 Методика текущего контроля**

#### **на лекционных занятиях**

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

#### **на практических (семинарских) занятиях**

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

### **самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

### **при выполнении реферата**

Текущий контроль при выполнении реферата осуществляется в соответствии с выбранной темой.

Оформление выполняется в соответствии с требованиями к студенческим работам принятым в СПбГЭТУ.

Выполненные рефераты студенты сдают на рецензию преподавателю. Приверенный преподавателем реферат каждый студент защищает на практическом занятии. Защита реферата осуществляется в соответствии с требованиями «Положения о промежуточной аттестации». Критериями оценки реферата является ясность и оригинальность изложения материала, его полнота и осмысленность.

### **Критерии оценки реферата:**

”отлично” – оцениваются рефераты, содержание которых основано на глубоком и всестороннем знании темы, изученной литературы, изложено логично, аргументировано и в полном объеме. Основные понятия, выводы и обобщения сформулированы убедительно и доказательно. Реферат удовлетворяет всем требованиям по оформлению и объему, присутствуют ссылки на используемую литературу. Реферат удовлетворяет требованию по оригинальности текста (оригинальность должна быть не менее 80%).

”хорошо” - оцениваются рефераты, основанные на твердом знании исследуемой темы. Возможны недостатки в систематизации или в обобщении материала, неточности в выводах. Студент твердо знает основные категории, умело применяет их для изложения материала. Реферат удовлетворяет всем требованиям по оформлению и объему, присутствуют ссылки на используемую литературу. Реферат удовлетворяет требованию по оригинальности текста (оригинальность должна быть не менее 70%).

”удовлетворительно” - оцениваются рефераты, которые базируются на знании основ предмета, но имеются значительные пробелы в изложении материала, затруднения в его изложении и систематизации, выводы слабо аргументированы, в содержании допущены теоретические ошибки. Реферат частично удовлетворяет требованиям по оформлению и объему, в тексте отсутствуют ссылки на используемую литературу. Реферат не удовлетворяет требованию по оригинальности текста (оригинальность должна быть не менее 60%).

”неудовлетворительно” - оцениваются рефераты, в которых обнаружено неверное изложение основных вопросов темы, обобщений и выводов нет. Реферат не удовлетворяет требованию по оригинальности текста (оригинальность должна быть не менее 60%). Также оценка неудовлетворительно ставится, если студент не представил реферат.

## **7 Описание информационных технологий и материально-технической базы**

<b>Тип занятий</b>	<b>Тип помещения</b>	<b>Требования к помещению</b>	<b>Требования к программному обеспечению</b>
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, доска, экран, проектор, ПК.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя. Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## **ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата</b>	<b>Изменение</b>	<b>Дата и номер протокола заседания УМК</b>	<b>Автор</b>	<b>Начальник ОМОЛА</b>