

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 07.07.2023 11:45:30  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП  
«Радиотехнические средства  
передачи, приема и обработки  
сигналов»



**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

**«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»**

для подготовки бакалавров

по направлению

11.03.01 «Радиотехника»

по профилю

**«Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов»**

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

д.т.н., проф. Марголин В.И.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры МИТ  
19.01.2022, протокол № 1

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФРТ, 29.03.2022, протокол № 3

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФРТ
Обеспечивающая кафедра	МИТ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	2
Семестр	3
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	34
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	34
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	86
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	94
Всего (академ. часов)	180
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Экзамен (курс)	2

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»**

Изучение дисциплины «Физические основы микро-и наноэлектроники» позволит студентам грамотно подходить к пониманию основных технологических процессов микроэлектроники и наноэлектроники на базе основных законов квантовой механики, фрактальной геометрии и физики, нелинейной динамики, теории самоорганизации и синергетики. Студенты знакомятся с базовыми технологическими процессами микроэлектроники: нанесением тонких пленок, микро-и нанолитографией; модификацией свойств материалов и получают представление о современной метрологической базе и методах количественного и качественного анализа материалов и твердотельных структур микро-и наноэлектроники.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«PHYSICAL BASIS OF MICRO – AND NANOELECTRONICS»**

The study of discipline «Physical basis of micro-and nanoelectronics» will allow students to competently approach the understanding of the basic processes of microelectronics and nanoelectronics based on the fundamental laws of quantum mechanics, fractal geometry and physics, nonlinear dynamics, the theory of self-organization and synergy. Students are introduced to the basic technological processes of microelectronics: application of thin films, micro and nanolithography; modification of the properties of materials and get an idea of modern metrological basis and methods of quantitative and qualitative analysis of materials and solid-state structures of micro-and nanoelectronics.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

#### 1. Цели изучения дисциплины:

- приобрести знания в области основ технологических процессов микроэлектроники и наноэлектроники;
- сформировать умения и навыки выбора соответствующих технологических процессов производства, методов измерения и контроля параметров изделий микро-и наноэлектроники.

#### 2. Задачи изучения дисциплины:

- изучение законов строения вещества, принципов самоорганизации, технологических процессов формирования тонких пленок, литографии, легирования и модификации свойств вещества; получение знаний о закономерностях образования твердотельных структур; принципах действия микроэлектронных элементов; физических представлений, лежащих в основе методов разработки технологических процессов микро-и наноэлектроники и их метрологического и аналитического обеспечения; методах формирования и модификации топологических решений; обретение умений и навыков в области микро-и наноэлектронной технологии;
- формирование базовых фундаментальных представлений, лежащих в основе технологических процессов микроэлектроники и наноэлектроники, на основе знаний об основных положениях физики твердого тела и квантовой механики, нелинейной динамики, самоорганизации. Формирование взглядов на роль современных концепций фракталов, синергетики и теорий детерминированного хаоса на прогресс в понимании основ наномира и развития нанотехнологий. Формирование умений разбираться в физических принципах и моделях процессов, лежащих в основе современной микро-и нанотехнологии, овладение

навыками анализа новейших физических концепций, теорий и результатов экспериментальных исследований, лежащих в основе современной микро-и наноэлектроники;

-освоение принципов моделирования современных технологических процессов и критической оценки их возможностей и применимости на базе знаний основных технологических процессов микроэлектроники и наноэлектроники, овладения навыками анализа информации в области микро-и наноэлектроники и умения выбирать соответствующие технологические процессы производства, методы измерения и контроля параметров изделий микро-и наноэлектроники.

### 3. Знания:

-законов строения вещества, принципов самоорганизации, технологических процессов формирования тонких пленок, литографии, легирования и модификации свойств вещества;

-фракталов, синергетики и теории детерминированного хаоса;

-принципов действия микроэлектронных элементов;

-методов формирования и модификации топологических решений.

### 4. Умения:

-разбираться в физических принципах и моделях процессов, лежащих в основе современной микро-и нанотехнологии;

-делать выбор в области той или иной технологии в соответствии с техническим заданием;

-моделировать современные технологические процессы и критически оценивать их возможности.

### 5. Навыки:

-анализа новейших физических концепций, теорий и результатов экспериментальных исследований, лежащих в основе современной микро-и наноэлектроники;

-выбора соответствующих технологических процессов производства, методов

измерения и контроля параметров изделий микро-и наноэлектроники.

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

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Математический анализ»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Основы электроники и радиоматериалы»

2. «Физико-химические основы технологии электронных средств»

### 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	Способен выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ
<i>ПК-1.1</i>	<i>Умеет строить физические и математические модели узлов и блоков радиотехнических устройств и систем</i>
<i>ПК-1.2</i>	<i>Владеет навыками компьютерного моделирования</i>
ПК-2	Способен реализовывать программы экспериментальных исследований, включая выбор технических средств и обработку результатов
<i>ПК-2.1</i>	<i>Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов и блоков радиотехнических устройств и систем</i>
<i>ПК-2.2</i>	<i>Умеет проводить исследования характеристик радиотехнических устройств и систем</i>



## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины

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

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1				5
2	Основные положения квантовой механики и физики твердого тела	5	6	12		14
3	Основные положения фрактальной геометрии, фрактальной физики, нелинейной динамики, самоорганизации	6	6			14
4	Физические основы методов получения конденсированных структур	5	6			14
5	Физические основы методов формирования и модификации поверхностных и объемных структур	6	6	5		14
6	Физические основы метрологии и методов контроля в микро-и наноэлектронике	5	5			14
7	Физические основы наноэлектроники	5	5			14
8	Заключение	1			1	5
	Итого, ач	34	34	17	1	94
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	180/5				

#### 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Структура дисциплины, цели и задачи дисциплины, требования к уровню освоения.
2	Основные положения квантовой механики и физики твердого тела	Две основные концепции квантовой механики – Эйнштейна и Нильса Бора. Редукция волновой функции. Понятие нелокальности. Волновой дуализм Де Бройля. Принцип дополнительности Бора. Принцип неопределенности Гейзенберга. Принцип запрета Паули. Уравнение Шрёдингера, волновая функция, туннельный эффект.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
3	Основные положения фрактальной геометрии, фрактальной физики, нелинейной динамики, самоорганизации	<p>Понятие фрактала и фрактальной геометрии. Основные свойства фрактальной структуры. Понятие о фрактальной размерности и ее свойства. Кривая Коха. Математические и реальные фракталы. Методы определения фрактальной размерности. Неоднородные фракталы. Парадоксы фрактального подхода. Понятие перколяции. Фрактальный кластер, образование «вязких пальцев». Моделирование фрактальных структур. Аэрогель. Фрактальные антенны.</p> <p>Основные понятия нелинейной динамики. Эволюция нелинейных систем. Понятия синергетики и динамического хаоса. Аттракторы. Точки бифуркации. Диссипативные системы.</p>
4	Физические основы методов получения конденсированных структур	<p>Интегральные микросхемы и их разновидности. Технологии тонких и наноразмерных пленок. Термическое вакуумное напыление, ионное распыление, магнетронное и ионно-плазменное распыление. Адгезия. Распыление в скрещенных полях. Импульсные плазменные ускорители. Эпитаксия из газовой фазы. Жидкостная эпитаксия, электроэпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия.</p>
5	Физические основы методов формирования и модификации поверхностных и объемных структур	<p>Применение ионных пучков для синтеза тонких пленок. Алмазоподобные наноконкомпозиты. Золь-гель технологии. Теория ДЛФО. Физические основы литографических методов. Фото-электронно-рентгенолитография. Основные характеристики резистов. Глубокая ультрафиолетовая литография. Термодиффузия. Лазерное легирование. Ионная имплантация, теория ЛШШ. Лазерный отжиг. Электронно-лучевой отжиг.</p>
6	Физические основы метрологии и методов контроля в микро-и нанoeлектронике	<p>Просвечивающая электронная микроскопия, растровая электронная микроскопия, дифракция электронов высоких энергий, контраст в РЭМ и его разновидности. Катодолуминесценция, контраст за счет каналирования электронов, магнитный контраст, Оже спектроскопия. Ионный микроанализ и ионная масс-спектрометрия, рентгеновская микроскопия, физические основы эллипсометрии, конфокальная микроскопия. Сканирующая туннельная (туннельно-зондовая) и атомно-силовая микроскопии. Магнитно-силовая микроскопия. Микроскопия ближнего поля.</p>
7	Физические основы нанoeлектроники	<p>Одноэлектроника, кулоновская блокада, одноэлектронные транзисторы. Ячейки Бенара. Самоорганизация в лазере. Самоорганизация в диссипативной среде. Механизмы самоорганизации. Атомно-молекулярная сборка. Реализация процессов самоорганизации в различных системах. Самоорганизация массивов квантовых точек.</p>
8	Заключение	<p>Перспективы развития технологий микро-и нанoeлектроники.</p>

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Дифракция микрочастиц на щели.	4
2. Единичные фотоны. Опыты Аспекта	4
3. Получение особо чистых веществ. Зонная плавка.	3
4. Каскадная плавка	3
5. Исследование движения микрочастиц в потенциальных полях	3
Итого	17

## 4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Вводное занятие.	2
2. Переход от микротехнологии к нанотехнологии. Научное мировоззрение и наномир.	2
3. Основы квантовой механики.	2
4. Основные положения фрактальной геометрии физики. Расчет фрактальной размерности	2
5. Элементная база современной радиоэлектроники	2
6. Термическое вакуумное напыление	2
7. Теория газового разряда	2
8. Ионное катодное распыление	2
9. Ионно-плазменное распыление	2
10. Литографические процессы	2
11. Электронная и рентгеновская литографии	2
12. Ионная имплантация, отжиг	2
13. Просвечивающая электронная микроскопия	2
14. Сканирующая электронная микроскопия	2
15. Туннельно-зондовая микроскопия	2
16. Атомно-силовая и другие виды наномикроскопии	2
17. Коллоквиум	2
Итого	34

## 4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

## 4.5 Реферат

Исходные данные и требования: Целью написания реферата и последующего доклада является овладение студентами навыками работы с научной и технической литературой, развитие умения проводить анализ прочитанного и освоенного материала, умение отобрать необходимые сведения, провести их анализ, сделать выводы и заключения из проработанного материала и научиться излагать их в письменной форме и в виде научного доклада.

Объем реферата должен включать не менее 15 страниц. Рекомендуемое количество страниц 25-30. Обязательно использование не менее 10 отечественных и не менее 5 иностранных источников, опубликованных в последние 5 лет. Обязательно использование электронных баз данных, указанных в п.5.2.

Рефераты оформляются в печатной форме (Word, Times New Roman, шрифт 14), излагающей постановку проблемы, содержание исследования и его основные результаты.

Темы:

№ п/п	Название темы	Перевод темы
1	Теория испарения материалов	The theory of evaporation materials
2	Теория конденсации материалов при осаждении из различных сред	The theory of condensation of material during the deposition of different environments
3	Полимеризация под действием электромагнитного излучения как основа фотолитографии	Polymerization under the action of electromagnetic radiation as the basis of photolithography
4	Характеристики чистоты материалов микроэлектроники и способы очистки	Characteristics of purity of microelectronics materials and methods of cleaning
5	Поверхностные, межфазные и граничные особенности наносостояния	Surface, interfacial and boundary features nanosostroenie
6	Проблема измерений в квантовой механике и наномире	The problem of measurement in quantum mechanics and the nanoworld
7	Метод молекулярного наслаивания в микротехнологии	The method of molecular layering in microtechnology
8	Роль воды, поверхностных пленок воды и водных кластеров в микротехнологии	The role of water, surface films of water and water clusters in microtechnology
9	Феномен самосборки в микро и нанотехнологии	The phenomenon of self-Assembly in micro and nanotechnology

№ п/п	Название темы	Перевод темы
10	Нелинейность как свойство микро и наномира	Non-linearity as a property of the micro and nanoworld

#### 4.6 Индивидуальное домашнее задание

Требованиями по оформлению ИДЗ: количество источников - минимальное 4, максимальное 8, объем - минимальное количество стр. 8 и максимальное 16, формат оформления - на листах формата А4, в Word, шрифт Times New Roman, размер шрифта 14, таблицы, рисунки, чертежи и т.д. оформляются на компьютере, формат сдачи работы - сдается преподавателю в печатном виде.

Все отчеты оформить по следующей структуре:

1. Титульный лист.
2. Задание, данные варианта.
3. Расчетные формулы, данные вычислений, графики.
4. Выводы.

##### Домашнее задание 1.

1. Самостоятельно изучить темы "Переход от макротехнологии к нанотехнологии и нанотехнологии", "Научное мировоззрение и наномир" пользуясь литературой, приведенной в п.5.

2. Выполнить задание

Определить долю поверхностной фазы для различных диаметров  $d$  и толщин поверхностного слоя  $d$  наночастицы по основной формуле и упрощенной.

##### Домашнее задание 2.

1. Рассчитать длину волны де Бройля для частицы массой  $m$ , движущейся со скоростью  $v$

2. Рассчитать неопределенность в энергии частицы в соответствии соотноше-

нием неопределенности Гейзенберга

### **Домашнее задание 3.**

Рассчитать фрактальную размерность математического фрактала.

### **Домашнее задание 4.**

Рассчитать величину крутизны в области насыщения для транзистора с МДП структурой, обращая особое внимание на размерность.

### **Домашнее задание 5.**

Рассчитать зависимость толщины напыляемой пленки  $d$  от расстояния от центра подложки  $L$  для испарителя малой площади и для точечного испарителя и отношение толщины пленки в центре подложки  $d_0$  к толщине пленки  $d$  на удалении  $L$  от центра в соответствии с данными по индивидуальному заданию, сравнить и сделать выводы.

### **Домашнее задание 6.**

Рассчитать при какой температуре возможна спонтанная ионизация нейтрального атома.  $E_1$  – первый потенциал ионизации,  $E_2$  – второй потенциал ионизации,  $E_3$  – третий потенциал ионизации.

Рассчитать, какой температуре соответствует энергия сродства к электрону  $E_A$ .

Рассчитать, какую энергию теряет электрон с энергией  $E_0$ , столкнувшись с атомом  $M$ .

### **Домашнее задание 7.**

Рассчитать зависимость максимальной энергии  $E_{\max}$ , которая может быть передана ионом нейтральному атому, от энергии налетающего иона для соответствующей пары ион – мишень. Диапазон энергий 30 эВ – 120 кэВ. Шкала логарифмическая.

Рассчитать значение угла падения ионов  $\alpha_{\max}$ , при котором наблюдается максимальный коэффициент распыления материала  $K_{r\max}$ , для той же пары ион –

мишень и значений энергии ионов  $E$ .

### **Домашнее задание 8.**

1 Рассчитать скорость распыления  $v$  при ионно-плазменном распылении для ионов аргона и соответствующей мишени  $M_2$  для плотности тока  $j_1$  (А/см<sup>2</sup>) и коэффициента распыления  $S$ .

### **Домашнее задание 9.**

В качестве домашнего задания студентам предлагается объединиться в группы по 3-5 человек и подготовить презентации по темам:

1. Газофазная эпитаксия
2. Жидкостная эпитаксия
3. Электроэпитаксия
4. Молекулярно-лучевая эпитаксия
5. Применение ионных пучков для синтеза наноразмерных пленок
6. АПУ и АПН
7. Коллоидное состояние вещества
8. Золь-гель технологии

### **Домашнее задание 10.**

Предложить студентам сделать доклады по следующим темам.

1. Понятие о веществах высокой чистоты и существующих критериях и определениях чистоты основной массы материала
2. Понятия об «абсолютно чистом веществе», «примесно-чувствительном свойстве» и влиянии чистоты материала на его свойства
3. Методы и способы получения высокочистых веществ и материалов.
4. Проблема чистоты поверхности.

5. Физическая адсорбция и химическая адсорбция – хемосорбция
6. Особенности свойств воды на наноразмерном уровне
7. Проблема чистоты производственных помещений
8. Проблемы рециркуляции и очистки воздуха в производственных помещениях
9. Специфические требования к персоналу, определяемые особенностями чистых помещений.
10. Проблемы шероховатости поверхности и поверхностных структур.
11. Проблема размерных эффектов в нанотехнологии.

### **Домашнее задание 11.**

Предложить студентам сделать доклады по следующим темам.

1. Важнейшие характеристики материалов, используемых в литографических процессах.
2. Контактная, бесконтактная и проекционная печать в литографии. Необходимость мультиплицирования.
3. Необходимость перехода к рентгеновской литографии и литографии в глубоком ультрафиолете. Рентгеновская оптика.
4. Рентгеношаблоны. Необходимость использования мягкого рентгеновского излучения.
5. Методы генерации мягкого рентгеновского излучения.
6. Устройство синхротрона. Достоинства и недостатки.
7. Проекционная и сканирующая электронная литография.
8. Проблема совмещения в электронной литографии.
9. Эффект близости в электронной литографии.
10. Моделирование процессов электронной литографии.



### **Домашнее задание 12.**

самостоятельно изучаются разделы учебника В.И. Марголин, В.А. Жабрев, В.А. Тупик Физические основы микроэлектроники: Учебник для студ. высш. учеб. заведений.- М.: Издательский центр "Академия, 2008.- 400 с."

В качестве домашнего задания предлагается студентам сделать доклады по следующим темам.

1. Вакуумная микроэлектроника, история развития и перспективы
2. Приборы, работающие на принципе автоэлектронной эмиссии
3. Матричные автоэлектронные катоды (МАЭК)
4. Смысл квантового компьютера. Его идеология
5. Проблемы реализации квантового компьютера
6. Перспективные наноматериалы
7. Порошковые нанотехнологии
8. Военные нанотехнологии
9. Нанотехнологии в медицине и биологии.
10. Опасности нанотехнологий. Реальные и мнимые

### **Домашнее задание 13.**

Рассчитать длину пробега и коэффициент отражения электронов для заданной мишени и соответствующих энергий электронов 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 и 10000 эВ.

#### **4.7 Доклад**

По результатам выполненного реферата студентам (п.4.5) предлагается выступить с докладом. Цель доклада - научиться излагать проработанный материал в виде научного доклада для лучшего усвоения темы и проработки навыков презентации. Основные положения доклада и иллюстративный материал рекомендуется оформить в виде презентации (10-12 слайдов). Время выступления регламентировано - 7 минут

#### **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.

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	14
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	10
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	10
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	10
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	10
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
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>94</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 библи.
Основная литература		
1	Марголин, Владимир Игоревич. Основы нанотехнологии. Электронная литография и ионная имплантация [Текст] : Учеб. пособие / В.И. Марголин, В.А.Тупик, 2000. -55 с.	48
2	Основы нанотехнологии [Текст] : учеб. для вузов по направлению 211000 "Конструирование и технология электрон. средств" / [Н. Т. Кузнецов [и др.], 2014. -397 с.	60
3	Введение в нанотехнологию [Текст] : учеб. пособие / В.А. Жабрев [и др.], 2007. -293 с.	27
4	Введение в нанотехнологию [Текст] : учеб. для вузов по направлению 211000-"Конструирование и технология электронных средств" / В. И. Марголин, В. А. Жабрев, Г. Н. Лукьянов, В. А. Тупик, 2012. -457 с.	54
Дополнительная литература		
1	Слабые и сверхслабые воздействия на различные структуры в нанотехнологиях [Текст] : [монография] / В. И. Грачев [и др.], 2015. -323 с.	10
2	Сырков, Андрей Гордианович. Элементы физики поверхности и нанотехнология. Учения и законы Веймарна [Текст] : учеб. пособие / А. Г. Сырков ; под ред. Н. Р. Прокопчука, 2018. -207 с.	50
3	Жабрев, Валентин Александрович. Основы субмикронной технологии [Текст] : Учеб. пособие / В.А.Жабрев, В.И.Марголин, В.А.Мошников, 2001. -115 с.	неогр.

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

№ п/п	Электронный адрес
1	В.Ю. Тимошенко «Фундаментальные основы нанотехнологий» <a href="http://nano.msu.ru/files/basics/2012/lecture01-Timoshenko.pdf">http://nano.msu.ru/files/basics/2012/lecture01-Timoshenko.pdf</a>
2	Nano news net Сайт о нанотехнологиях <a href="https://www.nanonewsnet.ru/">https://www.nanonewsnet.ru/</a>
3	Дифракция микрочастиц на щели: метод. указания к лаб. работам / сост. В.С. Фантиков, В.Н. Скобелев, В.А. Тупик, В.И.Марголин. -СПб, 2017. <a href="https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2245">https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2245</a>
4	Единичные фотоны. Опыты Аспекта. Метод. указания к лаб. работам / сост. В.С. Фантиков, В.Н. Скобелев, В.А. Тупик, В.И. Марголин. -СПб, 2017. <a href="https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2246">https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2246</a>

№ п/п	Электронный адрес
5	Зонная плавка: метод. указания к лаб. работам / сост. В.С. Фантиков, В.Н. Скобелев, В.А. Тупик, В.И. Марголин. -СПб, 2017. <a href="https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2247">https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2247</a>
6	Исследование движения микрочастиц в потенциальных полях: метод. указания к лаб. работам / сост. В.С. Фантиков, В.Н. Скобелев, В.А. Тупик, В.И. Марголин. - СПб, 2017. <a href="https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2249">https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2249</a>
7	Каскадная плавка: метод. указания к лаб. работам / сост. В.С. Фантиков, В.Н. Скобелев, В.А. Тупик, В.И. Марголин. -СПб, 2017. <a href="https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2250">https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2250</a>
8	Российская государственная библиотека <a href="http://www.rsl.ru/">http://www.rsl.ru/</a>

### 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=12644>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Физические основы микро- и нанoeлектроники» 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 теорем
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

К экзамену допускаются студенты, посещавшие не менее 80% лекционных занятий, 80 % практических занятий, выполнившие и защитившие ИДЗ, подготовившие реферат и сделавшие доклад по нему, а также допущенные по результатам выполнения лабораторных работ.

Экзамен проводится в устной форме. В билет включается два вопроса из перечня вопросов.

Помимо этого, обучающемуся предлагается кратко ответить на дополнительный вопрос. Эти вопросы выбираются из перечня вопросов к экзамену и формулируются преподавателем во время устной беседы.

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

### Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Две основные концепции квантовой механики – Эйнштейна и Нильса Бора.
2	Принцип дополнительности Бора.
3	Понятие фрактала и фрактальной геометрии.
4	Понятие о фрактальной размерности и ее свойства.
5	Интегральные микросхемы и их разновидности.
6	Термическое вакуумное напыление, ионное распыление, магнетронное и ионно-плазменное распыление.
7	Применение ионных пучков для синтеза тонких пленок.
8	Золь-гель технологии.
9	Просвечивающая электронная микроскопия, растровая электронная микроскопия, дифракция электронов высоких энергий, контраст в РЭМ и его разновидности.
10	Одноэлектроника, кулоновская блокада, одноэлектронные транзисторы. Ячейки Бенара.
11	Фрактальный кластер, образование «вязких пальцев».
12	Зонная теория твердого тела.
13	Атомно-молекулярная сборка.
14	Индексы Миллера. Плотнейшие упаковки шаров.
15	Общие понятия об аморфном состоянии вещества.
16	Аморфные диэлектрики, полупроводники и металлы.
17	Общие представления о фуллеренах.
18	Методы получения фуллеренов. Фуллериты.

19	Энергия связи в кристаллической решетке.
20	Межатомные связи в твердых телах. Методы валентности, молекулярных орбиталей.

### **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 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИ-  
КИ ФРТ

1. Фрактальный кластер, образование «вязких пальцев».
2. Атомно-молекулярная сборка.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.А.Тупик

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

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Введение	Коллоквиум
2	Основные положения квантовой механики и физики твердого тела	
3		Отчет по лаб. работе
4	Основные положения фрактальной геометрии, фрактальной физики, нелинейной динамики, самоорганизации	ИДЗ / ИДРГЗ / ИДРЗ
5	Физические основы методов получения конденсированных структур	
6		Практическая работа
7	Физические основы методов формирования и модификации поверхностных и объемных структур	
8		Коллоквиум
9	Физические основы метрологии и методов контроля в микро-и наноэлектронике	
10		
11		ИДЗ / ИДРГЗ / ИДРЗ
12	Физические основы наноэлектроники	
13		
14		
15		Реферат
16	Заключение	
17		Доклад / Презентация

### 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 лабораторных занятиях

- Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты

В процессе обучения студент обязан выполнить 5 лабораторных работы. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется индивидуально. Оформление отчета студентами осуществляется индивидуально в соответ-

ствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по процедуре проведения исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы.

Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам, по результатам которой студент получает допуск на экзамен.

#### **на практических занятиях**

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

В ходе проведения практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, 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, лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

Текущий контроль выполняется также в форме **проверки ИДЗ**, в виде **оценки доклада по теме реферата**.

Оценка за ИДЗ выставляется по четырехбалльной шкале по следующим критериям:

«отлично» - ответ на вопрос раскрыт полностью;

«хорошо» - вопрос раскрыт не полностью;

«удовлетворительно» - в ответе на вопрос имеются существенные ошибки;

«неудовлетворительно» - отсутствует ответ на вопрос или содержание ответа не совпадает с поставленным вопросом.

### **Критерии оценивания доклада:**

«отлично» - тема раскрыта полностью, студент свободно владеет материалом и отвечает на дополнительные вопросы по теме доклада.

«хорошо» - тема раскрыта не полностью, студент свободно владеет материалом, отвечает на дополнительные вопросы с несущественными ошибками.

«удовлетворительно» - в докладе имеются существенные ошибки, доклад зачитывается с листа, студент не дает ответов на дополнительные вопросы;

«неудовлетворительно» - доклад отсутствует, не соответствует теме, содержит грубые ошибки.

## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, экран, проектор, компьютер или ноутбук меловая или маркерная доска	1) Windows 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Учебная комната для практических и семинарских занятий	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, экран, проектор, меловая или маркерная доска, персональные компьютеры IBM совместимый Pentium или выше.	1) Windows 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше 3) MathCAD
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, меловая или маркерная доска	
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>