

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 26.10.2023 14:24:49  
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**

**«ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ  
ТЕХНИКИ»**

**для подготовки бакалавров**

**по направлению**

**11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»**

**по профилю**

**«Физическая электроника»**

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

профессор, д.т.н., профессор Шаповалов В.И.

доцент, к.ф.-м.н. Никитин А.А.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭТ

07.06.2022, протокол № 6

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией

ФЭЛ, 16.06.2022, протокол № 03/22

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра	ФЭТ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	3
Семестр	6
<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)	3

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»**

Данная дисциплина посвящена изучению закономерностей протекания основных технологических операций, применяемых при изготовлении твердотельных электронных компонентов и устройств, изучению методов расчета режимов технологических операций и методов проектирования топологии электронных компонентов, изучению принципов действия технологических установок и основных узлов технологического оборудования.

Программа включает лабораторные и практические занятия, направленные на более глубокое изучение дисциплины.

### **SUBJECT SUMMARY**

### **«TECHNOLOGY OF MATERIALS AND ELEMENTS OF ELECTRONIC DEVICES»**

This discipline is devoted to the study of the basic principles of the technological operations that are used for the fabrication of solid-state electronic components and devices. The discipline assumes studying of the computation methods for the parameters of various technological operations, the design methods for the topology of electronic components, and the principles of operation of installations and the main components of the technological equipment.

The program includes laboratory and practical classes aimed to the detailed study of the discipline.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Целью данной дисциплины является формирование у учащегося знаний, умений и навыков в области технология материалов и элементов электронной техники.

2. Основные задачи дисциплины:

-формирование у студентов знаний методов организации метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники, а также умений их применения;

-освоение студентам навыков работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники.

3. В результате освоения дисциплины учащиеся получают знания о технологических методах, применяемых при изготовлении материалов и элементов электроники и нанoeлектроники, а также о перспективах и тенденциях развития технологии таких изделий.

4. Формирование умений:

-ориентироваться в многообразии современных технологических методов;

-разрабатывать технологические схемы производства изделий электроники различных типов;

-определять экспериментальным или расчетным путем режимы проведения отдельных технологических операций;

-использовать для выполнения отдельных операций стандартное технологическое оборудование.

5. В результате освоения дисциплины учащиеся приобретут навыки работы на стандартном технологическом оборудовании.

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

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Математический анализ»
2. «Физика»
3. «Химия»
4. «Материалы электронной техники»
5. «Вакуумная и плазменная электроника»
6. «Введение в современные технологии микро-и нанoeлектроники»
7. «Физика твердого тела»
8. «Физико-химические основы технологии изделий электроники и нанoeлектроники»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Производственная практика (производственно-технологическая практика)»
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-5	Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники
<i>ПК-5.1</i>	<i>Знает принципы учета видов и объемов производственных работ</i>
<i>ПК-5.3</i>	<i>Владеет навыками настройки высокотехнологичного оборудования в соответствии с правилами настройки и эксплуатации</i>
ПК-6	Способен организовывать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники
<i>ПК-6.2</i>	<i>Умеет осуществлять поверку, настройку и калибровку электронной измерительной аппаратуры</i>
<i>ПК-6.3</i>	<i>Владеет навыками метрологического сопровождения технологических процессов</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				1
2	Основы физики вакуума	7	8	4		12
3	Применение концентрированных потоков энергии в технологии	8	8	4	1	19
4	Технология пленок	6	8	4		17
5	Технология литографии	4	2	1		12
6	Технология легирования материалов	3	4	1		11
7	Типовое вакуумное технологическое оборудование	1	2	2		8
8	Типовые технологические процессы	3	2	1		14
9	Заключение	1				0
	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	<p>Структура, содержание и задачи дисциплины. Роль современных физических представлений о свойствах материалов и их физико-химических превращениях в развитии технологических методов изготовления электронных приборов. Этапы развития технологии. Классификация вакуумных и твердотельных электронных приборов.</p> <p>Краткая характеристика технологических этапов изготовления электровакуумных и газоразрядных приборов, полупроводниковых дискретных приборов и интегральных микросхем (ИМС).</p> <p>Общая характеристика различных технологических методов, используемых в производстве электронных приборов.</p>



№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
2	Основы физики вакуума	<p>Определение понятия «вакуум». Степени вакуума. Режимы течения газа. Откачка вакуумной системы. Быстрота откачки вакуумного объема.</p> <p>Типы вакуумных насосов и их характеристики. Механические насосы. Объемная откачка. Молекулярная откачка. Струйные насосы. Электрофизические средства откачки. Низкотемпературные средства откачки.</p> <p>Измерение общих и парциальных давлений. Типы и характеристики вакуумметров. Тепловой вакуумметр. Электронный ионизационный вакуумметр. Магнитный вакуумметр. Газоанализаторы статического и динамического типов. Течеискатели.</p>
3	Применение концентрированных потоков энергии в технологии	<p>Торможение электронов в аморфных мишенях. Основные эффекты. Пробеги. Технологические применения электронных пучков.</p> <p>Торможение ионов в аморфных мишенях. Теория Линхарда. Ядерное и электронное торможение. Пробеги ионов в твердом теле. Каналирование. Радиационные дефекты. Физическое распыление. Энергетический спектр распыленных частиц. Скорость травления. Технологическое применение ионных пучков.</p> <p>Механизмы рассеяния фотонов в твердом теле. Поглощение света свободными носителями. Фундаментальное поглощение света. Примесное поглощение. Решеточное поглощение. Тепловой эффект при воздействии фотонов на материалы без фазового перехода. Особенности взаимодействия фотонов с полупроводниками. Особенности поглощения фотонов диэлектриками. Особенности нагрева тонких пленок.</p>
4	Технология пленок	<p>Вакуумная технология тонких пленок. Процессы в технологии пленок. Формирование потока рабочего вещества, уравнение Герца-Кнудсена. Перенос рабочего вещества к подложке. Формирование пленки на подложке. Методы изготовления тонких пленок в вакууме. Испарение и конденсация в высоком вакууме.</p> <p>Технология эпитаксиальных структур. Классификация эпитаксиальных процессов. Кинетика образования автоэпитаксиальных слоев кремния в хлоридном методе. Эпитаксия из газовой фазы. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Жидкофазная эпитаксия. Легирование пленок в процессе роста.</p> <p>Технология аморфных и поликристаллических пленок. Термическое испарение. Ионно-плазменное распыление. Химические методы получения пленок. Методы получения пленок оксида и нитрида кремния.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
5	Технология литографии	Процесс литографии. Основные виды литографии. Резисты. Сравнительные характеристики методов. Фотолитография и ее роль в производстве интегральных микросхем. Фотошаблоны. Типы фоторезистов и их характеристики. Фотохимические процессы в фоторезистах. Виды процессов фотолитографии. Погрешности экспонирования. Многослойные резисты. Электронная и рентгеновская литография. Технология травления. Анизотропия и селективность травления. Сравнительные характеристики методов травления. Жидкостное химическое травление. Плазменное и плазмо-химическое травление. Загрузочный эффект.
6	Технология легирования материалов	Место диффузионных процессов в полупроводниковой технологии. Механизмы диффузии. Особенности диффузии примесей в кремнии. Расчет диффузионных структур. Неравновесные эффекты при диффузии. Ионная имплантация. Пробеги. Имплантация и распыление. Диффузионные эффекты. Термический и импульсный пучковый отжиг. Профили примеси. Отжиг непрерывным источником.
7	Типовое вакуумное технологическое оборудование	Типовые вакуумные системы. Базовая модель высоковакуумной системы. Элементы вакуумных систем. Система для получения высокого вакуума. Безмасляная откачка в высоковакуумной системе. Сверхвысоковакуумная система. Принцип дифференциальной откачки.
8	Типовые технологические процессы	Производственный процесс. Технологический процесс. Технологическая операция. Технология приборов макроэлектроники. Вакуумные и газоразрядные приборы. Планарная и планарно-эпитаксиальная технология. Технология приборов микроэлектроники. Полупроводниковые ИМС. Гибридные ИМС. Технология приборов нанoeлектроники. Приборы на квантовых точках. Приборы на пленочных гетероструктурах.
9	Заключение	Основные тенденции развития материаловедения в электронной технике и реализации новых физических принципов синтеза материалов и наноструктур на их основе.

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Изучение вакуумной системы технологической установки по программной модели.	4
2. Изучение процесса термовакuumного осаждения тонких пленок по программной модели.	5

<b>Наименование лабораторной работы</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
3. Изучение процесса магнетронного напыления тонких пленок по программной модели.	4
4. Изучение процесса торможения ионов и ионного распыления по программной модели.	4
Итого	17

### 4.3 Перечень практических занятий

<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
1. Расчет распределений молекул по скоростям и энергиям.	3
2. Расчет кривой откачки вакуумных систем в низком, среднем и высоком вакууме.	3
3. Расчет средних траекторного и проекционного пробегов электронов в аморфных мишенях.	3
4. Нагрев твердотельной мишени электронным пучком.	2
5. Расчет ядерной и электронной тормозных способностей, а также пробегов ионов в аморфных мишенях.	2
6. Расчет коэффициента распыления и скорости травления аморфной мишени.	3
7. Нагрев твердотельной мишени лазерным импульсом.	2
8. Нагрев тонких пленок лазерным импульсом.	3
9. Формирование потока рабочего вещества методами термического испарения.	3
10. Перенос рабочего вещества к подложке и расчет толщины формируемой пленки методами молекулярно-лучевой эпитаксии.	2
11. Расчет толщин пленок, сформированных методами термического испарения.	3
12. Расчет диффузионных структур.	2
13. Расчет распределения примеси по глубине при ионной имплантации.	3
Итого	34

### 4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

### 4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

#### **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 деятель-

ности, 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.

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»).

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	20
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	9
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	15
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	15
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	0
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 библ.
Основная литература		
1	Барыбин, Анатолий Андреевич. Физико-технологические основы макро-, микро-и наноэлектроники : учеб. пособие для вузов по направлениям 210100 "Электроника и наноэлектроника" 211000 "Конструирование" / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов, 2011. -782 с.	99
2	Шаповалов, Виктор Иванович. Нанотехнология пленок и структур : учеб. пособие для вузов по спец. 210101 (071400) "Физическая электроника" и 210105 "Электронные приборы и устройства" направления подготовки диплом. спец. 210100 (654100) "Электроника и микроэлектроника" / В.И. Шаповалов, 2007. -80 с.	89
3	Шаповалов, Виктор Иванович. Физические основы технологических сред : учеб. пособие для вузов по направлению 210100 "Электроника и микроэлектроника", 210101 "Физическая электроника", "210105 "Электронные приборы и устройства" / В.И. Шаповалов, 2009. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
4	Технология изделий электронной техники : учеб. пособие / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2010. -95 с.	113
5	Комлев, Андрей Евгеньевич. Технологические задачи : электрон. учеб. пособие / А. Е. Комлев, В. И. Шаповалов, 2013. -1 эл. опт. диск (CD-ROM).	неогр.
6	Технология СБИС [Текст] : в 2 кн. / [К. Могэб [и др.]] ; под ред. С. Зи. Кн. 2 / пер. с англ. В.Н. Лейкина [и др.], 1986. -453 с.	53
7	Технология СБИС : в 2 кн / [К. Пирс [и др.]] ; под ред. С. Зи. Кн. 1 / пер. с англ. В.М. Звероловлева [и др.], 1986. -404 с. -Текст : непосредственный.	52
8	Коледов, Леонид Александрович. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок : Учебник для вузов по специальностям "Конструирование и технология электронных выч. средств" и "Конструирование и технология радиоэлектронных средств" / Л.А.Коледов, 1989. -400 с.	8
9	Коледов, Леонид Александрович. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок : учеб. для вузов по специальности 210201 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" направления 210200 "Проектирование и технология электронных средств" / Л.А. Коледов, 2008. -400 с.	307
10	Тумаркин, Андрей Вилевич. Технология тонких пленок : текст лекций / А.В. Тумаркин, В.И. Шаповалов, 2003. -64 с.	77
11	Технология тонких пленок : справ. : [в 2 т.] / под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга ; пер. с англ. под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. Т. 1, 1977. -662 с.	19

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
12	Технология тонких пленок : справ. : [в 2 т.] / под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга ; пер. с англ. под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. Т. 2, 1977. -764 с.	33
Дополнительная литература		
1	Барыбин, Анатолий Андреевич. Пленки оксидов переходных металлов: физика и технология реактивного распыления / А.А. Барыбин, В.И. Шаповалов, 2009. -1 эл. опт. диск (CD-ROM).	неогр.
2	Технология СБИС [Текст] : в 2 кн. / [К. Могэб [и др.]] ; под ред. С. Зи. Кн. 2 / пер. с англ. В.Н. Лейкина [и др.], 1986. -453 с.	53
3	Аброян, Измаил Артурович. Физические основы электронной и ионной технологии : [Учеб. пособие для специальности электрон. техники вузов] / И.А.Аброян, А.Н.Андронов, А.И.Титов, 1984. -320 с.	68
4	Вендик, Орест Генрихович. Корпускулярно-фотонная технология : учеб.пособие для вузов по специальности "Промышленная электроника" / О. Г. Вендик, Ю.Н. Горин, В.Ф. Попов, 1984. -240 с. -Текст : непосредственный.	105
5	Розанов, Леонид Николаевич. Вакуумная техника : учеб. для вузов по спец. "Электрон. машиностроение" / Л. Н. Розанов, 1990. -319 с.	55
6	Барыбин, Анатолий Андреевич. Физико-технологические основы электроники : [учеб. пособие] / А.А. Барыбин, В.Г. Сидоров ; под общ. ред. А.А. Барыбина, 2001. -268 с.	111
7	Розанов, Леонид Николаевич. Вакуумная техника : учеб. для вузов по спец. "Электрон. машиностроение" / Л. Н. Розанов, 1990. -319 с.	55
8	Барченко, Владимир Тимофеевич. Ионно-плазменные технологии в электронном производстве / В.Т. Барченко, Ю.А. Быстров, Е.А. Колгин ; под ред. Ю.А. Быстрова, 2001. -331 с.	138
9	Королёв, Михаил Александрович. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : учеб. пособие для вузов : [в 2 ч.]. -(Электроника). Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование : учеб. пособие для вузов по специальности 210104 (200100) "Микроэлектроника и твердотельная электроника", 2007. -397 с.	10
10	Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : учеб. пособие для вузов : [в 2 ч.] / М.А. Королев [и др.] ; под общ. ред. Ю.А. Чаплыгин. -(Электроника). Ч. 2 : Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования : учеб. пособие для вузов по направлению 210100 "Электроника и микроэлектроника", 2009. -422 с.	10

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

№ п/п	Электронный адрес
-------	-------------------

№ п/п	Электронный адрес
1	Лекционные материалы по дисциплине "Технология материалов и элементов электронной техники" <a href="https://sites.google.com/site/visfet44/%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8?authuser=0">https://sites.google.com/site/visfet44/%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8?authuser=0</a>
2	Материалы для практических занятий <a href="https://sites.google.com/site/visfet44/%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81/%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5-%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F?authuser=0">https://sites.google.com/site/visfet44/%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81/%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5-%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F?authuser=0</a>
3	Материалы для лабораторных работ <a href="https://sites.google.com/site/visfet44/%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81/%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F?authuser=0">https://sites.google.com/site/visfet44/%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81/%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F?authuser=0</a>

### 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=14854>



## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Технология материалов и элементов электронной техники» 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), выполнения всех практических занятий и лабораторных работ. Для получения экзаменационного билета студент сдает преподавателю зачетную книжку. После получения билета должен подготовить ответ на все вопросы и решить задачу. Время на подготовку и решение - не более 40 минут. Затем студент сдает экзамен в устной форме. В случае неполного или неверного ответа преподаватель может задать ряд дополнительных вопросов. После ответа на вопросы преподаватель проверяет правильность решения задачи. Итоговая оценка ставится в соответствии с критериями оценивания экзамена.

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

### Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Основы физики вакуума. Основные постулаты.
2	Распределение Максвелла
3	Макроскопические характеристики газовой среды
4	Степени вакуума.
5	Проводимость элементов вакуумной системы. Промежуточный режим.
6	Ионная и ионно-сорбционная откачка.
7	Взаимодействие ускоренных электронов с твердым телом. Вторичные эффекты.
8	Пробеги ускоренных электронов в мишени.
9	Электронно-лучевой нагрев.
10	Особенности нетермического воздействия электронного пучка на вещество.
11	Применение электронного пучка в технологии изделий электронной техники.
12	Ядерная тормозная способность.
13	Пробег иона и распределение ионов по пробегам.
14	Дефекты и отжиг.
15	Применение ионного пучка в технологии изделий электронной техники.
16	Механизмы роста пленок. Гетероэпитаксия и гомоэпитаксия.
17	Молекулярно-лучевая эпитаксия.
18	Ионно-плазменное распыление. Высокочастотное катодное распыление.

19	Фоторезисты и радиационночувствительные резисты. Негативные и позитивные резисты.
20	Литография без использования шаблонов. Лазерная и электронная литография.
21	Рентгеновская и нанопечатная литография.
22	Анизотропия травления.
23	Элементы вакуумных установок.
24	Схема и применение низковакуумных и высоковакуумных установок.
25	Диффузионное легирование. Механизмы диффузии.
26	Методы диффузионного легирования.
27	Отжиг после имплантации.
28	Схема и применение низковакуумных и высоковакуумных установок.
29	Схема и применение сверхвысоковакуумных установок.
30	Технологический процесс производства КМОП структур.

### 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 **Технология материалов и элементов электронной техники ФЭЛ**

1. Рентгеновская и нанопечатная литография.
2. Технологический процесс производства КМОП структур.
3. Задача.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.А. Семенов

### Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

Примеры вопросов для подготовки к коллоквиуму

1. Найти число молекул азота, которые при температуре 500 К и давлении

$p = 15$  Торр имеют энергию в диапазоне  $10^{-4}$  эВ в окрестности средней энергии.

2. Рассчитайте давление в вакуумном объеме через 25 сек при откачке насосом с быстродействием  $S_0 = 15$  л/с через трубопровод диаметром  $d = 10$  см и длиной  $l = 50$  см. Начальное давление в камере  $p_0 = 12$  кПа, объем камеры  $V = 80$  л. При расчете считать входной поток  $Q = 0,03 \cdot \text{л}^3/\text{с}$ .

3. Найти на какой глубине находится максимум энергетических потерь электронов в мишенях, изготовленных из алюминия и железа, при ускоряющем напряжении 100 кВ.

4. Найти энергии, при которых ядерная тормозная способность максимальна, а также ядерная и электронная тормозные способности ионов аргона в медной мишени равны.

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	Основы физики вакуума		
2	Применение концентрированных потоков энергии в технологии Технология пленок Технология литографии Технология легирования материалов		
3			
4			
5			
6		Типовое вакуумное технологическое оборудование Типовые технологические процессы	Практическая работа
7	Основы физики вакуума		
8	Применение концентрированных потоков энергии в технологии Технология пленок Технология литографии Технология легирования материалов		
9			
10			
11		Типовое вакуумное технологическое оборудование Типовые технологические процессы	Отчет по лаб. работе
12		Основы физики вакуума	
13	Применение концентрированных потоков энергии в технологии Технология литографии Технология пленок		
14			
15			
16		Технология легирования материалов Типовое вакуумное технологическое оборудование Типовые технологические процессы	Коллоквиум

### 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 по дисциплине студент обязан выполнить все лабораторные работы. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После выполнения лабораторных работ предусматривается про-

ведение коллоквиумов, на которых осуществляется защита лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется *в бригадах до 3 человек*. Оформление отчета студентами осуществляется *в количестве одного отчета на бригаду* в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения исследований и 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 теоретической части, или 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 результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы.

Примеры контрольных вопросов приведены в п.6.2.

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 (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 лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

## 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, доска, экран, проектор, ноутбук или компьютер	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, наличие оборудования для проведения лабораторных работ, рабочее место преподавателя.	
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя. Помещение 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; 3) ПО для проведения математического моделирования MatCad или аналог.
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>