

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

**«ВВЕДЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРО-
И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»**

для подготовки бакалавров

по направлению

11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

по профилю

«Физическая электроника»

Санкт-Петербург

2022

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

профессор, д.т.н., доцент Тумаркин А.В.

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)	3
Курс	3
Семестр	5
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	34
Практические занятия (академ. часов)	17
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	52
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	56
Всего (академ. часов)	108
Вид промежуточной аттестации	
Дифф. зачет (курс)	3

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«ВВЕДЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРО-И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»

Данная дисциплина знакомит слушателей с базовыми понятиями, методами и современными технологиями микро-и нанoeлектроники. Рассматриваются основные способы создания тонкопленочных структур (физические, химические и т.д.) и соответствующие методы их исследования. Изучаются базовые процессы и оборудование, используемые в традиционной микротехнологии. Изучение данной учебной дисциплины направлено на обучение студентов принципам действия, технологическим параметрам и последовательностям ключевых технологий приборов и устройств современной электроники. По окончании курса студенты получают представление о современных технологических возможностях создания устройств микро-и наномасштаба.

SUBJECT SUMMARY

«INTRODUCTION TO MODERN TECHNOLOGIES OF MICRO-AND NANO-ELECTRONICS»

This discipline introduces students to basic concepts, methods and modern technologies of micro-and nanoelectronics. The main methods for creating thin-film structures (physical, chemical, etc.) and the corresponding methods for their study will be considered. Base processes and equipment used in conventional microtechnology are studied. Delivering of this discipline is aimed to teach students the physical principles of operation of the main technology processes of fabrication of devices of electronics, their operating parameters, and constructions. At the end of the course, students will be receive a complete picture of the modern technological capabilities of creating micro-and nanoscale devices.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Основной целью изучения дисциплины является формирование знаний, умений и навыков связанных с современными технологиями изготовления материалов и устройств микро-и наноэлектроники, в том числе.
2. Задачей дисциплины является формирование у студентов компетенций в области современных технологий микро-и наноэлектроники.
3. В результате освоения дисциплины учащиеся получают знания об основных технологических процессах формирования приборных структур микро-и наноэлектроники.
4. В результате освоения дисциплины будут сформированы умения, необходимые для составления технологической «цепочки» изготовления компонентов, приборов и устройств современной электроники.
5. В результате освоения дисциплины учащиеся приобретут навыки, необходимые для разработки технологических цепочек создания устройств современной электроники.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Математический анализ»
2. «Физика»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Технология материалов и элементов электронной техники»
2. «Микро-и наноэлектроника»

3. «Физические основы электронно-ионной технологии»

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:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-1	Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования
<i>ПК-1.1</i>	<i>Умеет строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков</i>
ПК-9	Способен осуществлять настройку, поверку и контроль электронного оборудования
<i>ПК-9.2</i>	<i>Умеет осуществлять пуско-наладочные работы электронного оборудования</i>
СПК-8	Готов участвовать в разработке приборов функциональной электроники, микроволновой микроэлектроники и твердотельной электроники
<i>СПК-8.1</i>	<i>Знает принципы разработки приборов функциональной электроники, микроволновой микроэлектроники и твердотельной электроники</i>
<i>СПК-8.2</i>	<i>Умеет использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации приборов функциональной электроники, микроволновой микроэлектроники и твердотельной электроники</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	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1			1
2	Технологии формирования микро-и нанослоев	11	6	0	19
3	Процессы модификации микро-и нанослоев	8	4		14
4	Литографические процессы в микро-и нанослоях	7	4	1	12
5	Процессы диагностики микро-и нанослоев	6	3		9
6	Заключение	1			1
	Итого, ач	34	17	1	56
	Из них ач на контроль	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	108/3			

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Химические методы осаждения. Газофазное осаждения пленок. Атомно-слоевая эпитаксия. Осаждение пленок из жидких растворов прекурсоров. Метод Золь-Гель. Физические методы осаждения материала. Резистивное термическое испарение. Лазерное испарение. Катодное распыление. Магнетронное распыление.
2	Технологии формирования микро-и нанослоев	Химические методы осаждения. Газофазное осаждения пленок. Атомно-слоевая эпитаксия. Осаждение пленок из жидких растворов прекурсоров. Метод Золь-Гель. Физические методы осаждения материала. Резистивное термическое испарение. Лазерное испарение. Катодное распыление. Магнетронное распыление.
3	Процессы модификации микро-и нанослоев	Физико-химические основы ионной имплантации. Распределение пробега имплантированных ионов в твердом теле. Образование и отжиг радиационных дефектов. Термодиффузия. Эффективность имплантационных систем.
4	Литографические процессы в микро-и нанослоях	Сущность процесса литографии. Воздействие излучения на чувствительные к нему вещества. Физико-химические свойства материалов, чувствительных к излучению. Субмикронная литография. Электронная и ионная литография. Разрешающая способность процесса литографии и факторы, влияющие на нее.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
5	Процессы диагностики микро- и нанослоев	Диагностика структурных свойств, кристаллического совершенства, фазового и элементного состава осаждаемых слоев. Анализ морфологии поверхности. Диагностика покрытий на начальных стадиях роста и островковых структур. Методы рентгено-дифракционного анализа, атомно-силовой и электронной микроскопии, вторичной ионной и Оже-спектроскопии, Резерфордского обратного рассеяния легких ионов.
6	Заключение	Оценка эффективности использования методов формирования функциональных слоев в микроэлектронике. Оценка перспективы развития представленных методов.

4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Технология осаждения проводящих покрытий методом вакуумного испарения.	4
2. Формирование пленочных покрытий методом распыления мишени ионной бомбардировкой.	5
3. Формирование схмотехнических элементов методом оптической фотолитографии.	4
4. Модификация поверхности слоев методом ионного травления	4
Итого	17

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 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)	2
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	3
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	16
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	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	20
ИТОГО СРС	56

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	Нанотехнология : физика, процессы, диагностика, приборы / [А.В. Афанасьев [и др.] ; под ред. В.В. Лучинина, Ю.М. Таирова, 2006. -551 с.	51
2	Карманенко, Сергей Федорович. Ионные пучки в технологических и диагностических процессах электроники : Текст лекций / С.Ф. Карманенко, 2004. -64 с.	58
3	Тумаркин, Андрей Вилевич. Технология тонких пленок : текст лекций / А.В. Тумаркин, В.И. Шаповалов, 2003. -64 с.	неогр.
4	Томилин, Виктор Иванович. Физико-химические основы технологии электронных средств : учеб. для вузов по специальности "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" и "Проектирование и технология электронно-вычислительных средств" направления "Проектирование и технология электронных средств" / В.И. Томилин, 2010. -410 с.	16
5	Процессы микро-и нанотехнологий в производстве устройств электроники и радиофотоники : электрон. учеб. пособие / П. Ю. Белявский [и др.], 2018. -1 эл. опт. диск (CD-ROM).	неогр.
Дополнительная литература		
1	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
2	Нашельский, Александр Яковлевич. Производство полупроводниковых материалов : Учеб. пособие для подгот. рабочих и мастеров на пр-ве / А.Я.Нашельский, 1989. -269 с.	22
3	Черняев, Владимир Николаевич. Физико-химические процессы в технологии РЭА : Учеб. для вузов по спец. "Конструирование и производство РЭА" / В.Н. Черняев, 1987. -375 с.	32
4	Аброян, Исмаил 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
5	Аброян, Исмаил 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
6	Нанотехнологии в электронике / под ред. Ю.А. Чаплыгина, 2005. -446 с.	4

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 http://database.iem.ac.ru/

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=15160>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Введение в современные технологии микро- и нано-электроники» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

Зачет с оценкой

Оценка	Описание
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 дифф. зачету в случае достаточного количества посещенных занятий (не менее 80% лекционных занятий) и выполнения всех практических занятий.

Для получения задания (билета) на итоговом зачете студент сдает преподавателю зачетную книжку. После получения билета он должен подготовить ответ на все вопросы и решить задачу. Время на подготовку и решение - не более 40 минут. Затем студент сдает дифф. зачет 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 дифф. зачета.

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

Вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Классификация процессов микро-и нанотехнологий по физико-химической сущности.
2	Химические методы осаждения.
3	Газофазное осаждения пленок.
4	Атомно-слоевая эпитаксия.
5	Метод Золь-Гель.
6	Лазерное испарение.
7	Магнетронное распыление.
8	Резистивное термическое испарение.
9	Физико-химические основы ионной имплантации.
10	Образование и отжиг радиационных дефектов.
11	Эффективность имплантационных систем.
12	Сущность процесса литографии.
13	Воздействие излучения на чувствительные к нему вещества.
14	Физико-химические свойства материалов, чувствительных к излучению.
15	Субмикронная литография.
16	Электронная и ионная литография.

17	Диагностика структурных свойств, кристаллического совершенства, фазового и элементного состава осаждаемых слоев.
18	Анализ морфологии поверхности.
19	Методы рентгено-дифракционного анализа, атомно-силовой и электронной микроскопии.
20	Методы вторичной ионной и Оже-спектроскопии,

Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

БИЛЕТ № 1

Дисциплина **Введение в современные технологии микро- и нанозлектроники ФЭЛ**

1. Закон Ома в дифференциальной форме. Закон Джоуля – Ленца в локальной форме.
2. Снижения уровня термических деформаций и напряжений.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.А. Семенов

Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

- 1) Какие химические методы осаждения вам известны?
- 2) Какие этапы входят в процесс литографии?
- 3) Что определяет эффективность имплантационных систем?
- 4) Дайте определение понятию Оже-спектроскопия.

5) Опишите основные этапы создания материалов золь-гель метода.

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	
2	Технологии формирования микро-и нанослоев	
3	Процессы модификации микро-и нанослоев	
4	Литографические процессы в микро-и нанослоях	
5	Процессы диагностики микро-и нанослоев	
6	Заключение	
7		
8		Практическая работа
9	Введение	
10	Технологии формирования микро-и нанослоев	
11	Процессы модификации микро-и нанослоев	
12	Литографические процессы в микро-и нанослоях	
13	Процессы диагностики микро-и нанослоев	
14	Заключение	
15		
16		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 дифф. зачет.

на практических (семинарских) занятиях

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

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. Коллоквиум проводится на основе вопросов к дифф. зачету, изученных до момента проведения коллоквиума.

Критерии оценивания ответов студентов на коллоквиуме:

Неудовлетворительно - тема коллоквиума не освоена. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины.

Удовлетворительно - студент в целом овладел материалом темы коллоквиума, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок.

Хорошо - студент овладел темой коллоквиума, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи.

Отлично - студент демонстрирует полное овладение темой коллоквиума, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных 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, 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, персональный компьютер IBM совместимый Pentium или выше, Технологическая установка ионно-плазменного осаждения из плазмы высокочастотного разряда. Технологическая установка ионно-плазменного осаждения на постоянном токе. Технологическая установка ионно-плазменного травления. Установка фотолитографии.	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

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