

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭИС, профессор
С.И.Эминов
«03» июня 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИИ

по направлению подготовки
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль) Микро- и нанoeлектронные устройства

СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела обеспечения
деятельности ИЭИС

«03» июня 2020 г.
П.В.Лысухо

Разработали

Заведующий кафедрой ФТТМ
Б.И.Селезнев

Профессор кафедры ФТТМ
М.А.Захаров
«06» июня 2020 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ
Протокол № 13 от 02.06 2020 г.
Заведующий кафедрой ФТТМ
Б.И.Селезнев
«02» 06 2020 г.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины «Современные проблемы микро- и нанотехнологии» – формирование компетентности студентов в области современных проблем микро- и нанотехнологии, способствующей становлению их готовности к решению задач профессиональной деятельности.

Задачи:

- а) формирование представлений об основных закономерностях и этапах исторического развития в области микро- и нанотехнологии;
- б) формирование знаний и практических умений, необходимых для методологического обоснования научного исследования и технической разработки в области микро- и нанотехнологии;
- в) формирование навыков анализа и идентификации новых научно-технических проблем в области микро- и нанотехнологии.

2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника и направленности (профилю) Микро- и наноэлектронные устройства (далее – ОПОП). Изучение учебной дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении курса «Основы научных исследований», а также оно базируется на знаниях и умениях, полученных обучающимися в рамках направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника. Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для дальнейшей подготовки выпускной квалификационной работы.

3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины (модуля):

профессиональные компетенции:

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, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.

ПК-3 Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения.

Таблица 1 – Результаты освоения учебной дисциплины

<i>Код и наименование компетенции</i>	<i>Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)</i>		
	Знать	Уметь	Владеть
ПК-1 Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.	Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники	Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники	Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники
ПК-3 Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения.	Знает принципы проведения анализа полноценности и эффективности экспериментальных исследований	Умеет подготавливать научные публикации на основе результатов исследований	Владеет навыками подготовки заявок на изобретения

4 Структура и содержание учебной дисциплины

4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины

<i>Части учебной дисциплины (модуля)</i>	<i>Всего</i>	<i>Распределение по семестрам</i>
		<i>3 семестр</i>
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	6
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	54	54
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) <i>(при наличии)</i>	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	162	162
5. Промежуточная аттестация <i>(зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)</i>	ДЗ	ДЗ

4.2 Содержание учебной дисциплины

Тема 1. Вводная часть. Исторический экскурс. Технологические и физические пределы.

Тема 2. Основные современные технологии в микро- и нанoeлектронике.

Тема 3. Полупроводниковые приборы нанoeлектроники.

Тема 4. Нанoeлектроника. Нанofотоника.

4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 – Трудоемкость разделов учебной дисциплины

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КР/КР	Контактная работа (в АЧ)				Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля
		Аудиторная			В т.ч. СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР			
1.	Тема 1. Вводная часть. Исторический экскурс. Технологические и физические пределы.	1	5			18	семинар
2.	Тема 2. Основные современные технологии в микро- и нанoeлектронике.	3	15		4	54	семинар
3.	Тема 3. Полупроводниковые приборы в нанoeлектронике.	3	15		4	54	семинар
4.	Тема 4. Нанoeлектроника. Нанofотоника	2	10		4	36	семинар
	Промежуточная аттестация						дифференцированный зачет
	ИТОГО	9	45		12	162	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

Курсовые работы/курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	Вводная часть. Исторический экскурс. Технологические и физические пределы. Исторические этапы развития микро- и нанoeлектроники. Характеристика основных направлений микро- и нанoeлектроники. Вклад российских ученых в развитие электроники на современном этапе. Технологические и физические пределы (информационная лекция).	1
2.	Основные современные технологии в микро- и нанoeлектронике. Современные технологии в электронике. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Электронно-лучевая, ионная и рентгенолитография. Испарение материалов с помощью электронных и лазерных пучков, кластерное напыление. Ионные технологии. Ионное легирование полупроводников. Синтез материалов. Ионная очистка подложек. Ионно-плазменные методы напыления и травления пленок. Применение мощных электронных и ионных пучков наносекундной длительности для изготовления наноструктур. Инструментально-технологические методы нанотехнологий. Проблемы поверхностей и межфазных границ. Понятие поверхности, чистые поверхности и поверхности с адсорбентами. Роль поверхности в микроэлектронике, оптоэлектронике и	3

	нанопотонике. Формирование ионно-легированных слоев арсенида галлия. Проблемы получения ионно-легированных слоев арсенида галлия. Прямая ионная имплантация кремния в полуизолирующий арсенид галлия. Нарушения структуры при ионной имплантации. Термический отжиг имплантированных слоев GaAs. Защитные покрытия при проведении отжига имплантированных слоев. Импульсный отжиг имплантированных слоев GaAs. Применение собственных оксидов для формирования ионно-легированных слоев. Основные свойства нитридов III группы. Формирование эпитаксиальных структур нитридов III группы. Формирование ионно-легированных структур нитридов III группы (информационная лекция).	
3.	Полупроводниковые приборы в нанoeлектронике. Обзор эффектов: 2D-, 1D-, 0D-размерные эффекты. Статистика электронов в размерных структурах. Распространение света в размерных структурах. Сверхрешетки, квантовые точки, квантовые нити, фотонные кристаллы. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе. Транспортные явления (информационная лекция).	3
4.	Нанoeлектроника. Нанопотоника. Электронные устройства нового поколения для электроники, нанопотоники и ИК оптики. Лазеры на квантовых ямах и квантовых точках. Гетеролазеры с отдельным электронным и оптическим ограничением. Вертикально-излучающие лазеры 1.55 μm для реализации оптической передачи данных на дальние дистанции и сверхкороткие расстояния (в пределах для гибридной интеграции с кремниевыми оптическими и электронными схемами). Фотопреобразователи на основе наногетеропереходов, солнечные элементы с промежуточной энергетической подзоной. ИК фотодетекторы с квантовыми точками (информационная лекция).	2
	ИТОГО	9

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	Вводная часть. Исторический экскурс. Технологические и физические пределы (семинар)	5
2.	Основные современные технологии в микро- и нанoeлектронике (семинар)	15
3.	Полупроводниковые приборы в нанoeлектронике (семинар)	15
4.	Нанoeлектроника. Нанопотоника (семинар)	10
	ИТОГО	45

Методические рекомендации по теоретической части учебной дисциплины

Теоретическая часть учебной дисциплины направлена на формирование у студентов компетенций в области современных проблем микро- и нанотехнологии.

Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных занятиях, а также усваивается студентами при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующего раздела.

Методические рекомендации по практическим занятиям

Цель практических занятий – закрепление теоретического материала. Занятия проходят в форме защиты и обсуждения докладов студентов (научные семинары).

6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины

Фонд оценочных средств представлен в приложении А.

7 Условия освоения учебной дисциплины

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методического обеспечение учебной дисциплины (модуля) представлено в приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 6 – Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению	Наличие материально-технического оборудования и программного обеспечения
1.	Наличие учебной аудитории	Учебная мебель, доска
2.	Мультимедийное оборудование	1 компьютер, проектор, экран, выход в интернет
3.	Программное обеспечение	Microsoft Windows 7 Professional. Лицензия – Imagine № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212. Microsoft Office 2007 Standart. Лицензия – Open License № 47742190. Kaspersky Endpoint Security Standard. Лицензия № 1C1C1909170834236571324, Power Point

Приложение А
(обязательное)

Фонд оценочных средств
учебной дисциплины «Современные проблемы микро- и нанотехнологии»

1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из:

а) открытой части - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося.

2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1.	Доклад	Все темы	75х4	ПК-1, ПК-3
<i>Промежуточная аттестация</i>				
	Дифференцированный зачет			
	ИТОГО		300	

3 Рекомендации к использованию оценочных средств

1) Доклад

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>
Владеет осмысленным пониманием материала доклада	10
Умеет отстаивать и доказывать свою точку зрения	
Выдерживает регламент	
Отвечает на задаваемые ему вопросы	
Участвует в обсуждении докладов	

Темы докладов:

1. Этапы развития микро- и нанотехнологии.
2. Характеристика основных направлений микро- и нанотехнологии.
3. Вклад российских ученых в развитие микро- и нанотехнологии на современном этапе.
4. Технологические и физические пределы.
5. Современные технологии в микро- и нанoeлектронике.
6. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Граница раздела пленка-подложка, основные положения автоэпитаксиального и гетероэпитаксиального роста пленок.
7. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Технология и оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии, контроль параметров.
8. Электронно-лучевая, ионная и рентгенолитография.

9. Испарение материалов с помощью электронных и лазерных пучков, кластерное напыление.
10. Ионные технологии. Ионное легирование полупроводников. Синтез материалов.
11. Ионная очистка подложек.
12. Ионно-плазменные методы напыления и травления пленок.
13. Применение мощных электронных и ионных пучков наносекундной длительности для изготовления наноструктур.
14. Инструментально-технологические методы нанотехнологий.
15. Проблемы поверхностей и межфазных границ.
16. Понятие поверхности, чистые поверхности и поверхности с адсорбентами. Роль поверхности в микроэлектронике, оптоэлектронике и нанофотонике.
17. Обзор эффектов: 2D-, 1D-, 0D-размерные эффекты. Статистика электронов в размерных структурах.
18. Распространение света в размерных структурах.
19. Сверхрешетки, квантовые точки, квантовые нити, фотонные кристаллы.
20. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности.
21. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе.
22. Транспортные явления.
23. Электронные устройства нового поколения для электроники, нанофотоники и ИК оптики. Лазеры на квантовых ямах и квантовых точках. Гетеролазеры с отдельным электронным и оптическим ограничением.
24. Электронные устройства нового поколения для электроники, нанофотоники и ИК оптики. Фотопреобразователи на основе наногетеропереходов, солнечные элементы с промежуточной энергетической подзоной.
25. Электронные устройства нового поколения для электроники, нанофотоники и ИК оптики. ИК фотодетекторы с квантовыми точками.

Приложение Б
(обязательное)
Карта учебно-методического обеспечения
учебной дисциплины «Современные проблемы микро- и нанотехнологии»

Таблица Б.1 – Основная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий: учеб. пособие для вузов: в 2 т. Т. 1: Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю.Д.Чистяков, Ю.П.Райнова. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 392 с.	6	
2 Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий: учеб. пособие для вузов: в 2 т. Т. 2: Технологические аспекты / М.В.Акуленок [и др.]; под общ. ред. Ю.Н.Коркишко. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 252 с.	2	
3 Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И.Гусев. - 2-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2009. - 414 с.	11	
4 Лозовский В.Н. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность: учеб. пособие для вузов / В.Н.Лозовский, Г.С.Константинова, С.В.Лозовский. - 2-е изд., испр. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2008. - 327 с.	8	
5 Мартинес-Дуарт Дж. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж.М.Мартинес-Дуарт, Р.Дж.Мартин-Палма, Ф.Агулло-Руеда; пер. с англ. А.В.Хачояна; под ред. Е.Б.Якимова. - М.: Техносфера, 2007. - 367 с.	1	
6 Нанотехнологии в микроэлектронике / авт.: Авдеев С.П. [и др.]; под ред. О.А.Агеева, Б.Г.Коноплева; ЮФУ, Ин-т нанотехнологий, электроники и приборостроения, НОЦ «Нанотехнологии». - М.: Наука, 2019. - 511 с.	2	
7 Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А.Чаплыгина. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. - 134 с.	2	

Таблица Б.2 – Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Кобаяси Наоя. Введение в нанотехнологию / пер.с яп. А.В.Хачояна; под ред. Л.Н.Патрикеева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 134 с.	4	
2 Нанoeлектроника. Теория и практика: учеб. для вузов / авт.: В.Е.Борисенко [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 366 с.	7	
3 Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике: учеб. пособие для вузов / В.К.Неволин. – 2-е изд., испр. И доп. – М. : Техносфера, 2006. – 159 с.	2	
4 Рамбиди Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г.Рамбиди, А.В.Берёзкин. – М.: Физматлит, 2009. – 454 с.	3	

Зав. кафедрой Б.И. Семедиев
подпись И.О.Фамилия
« 02 » июня 2020 г.

Приложение В
(обязательное)
Лист актуализации рабочей программы
учебной дисциплины «Современные проблемы микро- и нанотехнологии»

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
 Протокол № ____ заседания кафедры от « ____ » _____ 20__ г.
 Разработчик: _____
 Зав. кафедрой _____

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
 Протокол № ____ заседания кафедры от « ____ » _____ 20__ г.
 Разработчик: _____
 Зав. кафедрой _____

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
 Протокол № ____ заседания кафедры от « ____ » _____ 20__ г.
 Разработчик: _____
 Зав. кафедрой _____

Таблица В.1 Перечень изменений, внесенных в рабочую программу:

Номер изменения	№ и дата протокола заседания кафедры	Содержание изменений	Зав.кафедрой	Подпись