

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОВ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
2	4	144	8	30	15		55	0	Э
Итого	4	144	8	30	15	15	55	0	

АННОТАЦИЯ

Курс направлен на развитие у студентов навыка анализировать закономерности межатомного взаимодействия в конденсированных средах и использовать их для обоснования выбора технологических приемов получения микро- и наноразмерных гетерокомпозиций приборов электронной техники.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью данного курса является изучение физики полупроводниковых приборов, ознакомление с основами современных технологий создания приборов микро- и нанoeлектроники по наиболее широко используемому циклу планарной технологии: выбор функционального материала, изготовление структуры, литография, металлизация, плазменные технологии обработки поверхности, осаждения диэлектриков и травления, жидкостное травление. Особенности использования процессов создания электронных приборов при переходе к нанoeлектронике.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Читается на основе курсов: общая физика, квантовая механика, физический практикум

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
производственно-технологический			
разработка технических заданий на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования.	ПК-1.3 [1] - Способен к выбору методов современной нанотехнологии для создания перспективных приборов и элементной базы на основе	З-ПК-1.3[1] - Знать основные методы современной нанотехнологии, используемые для создания полупроводниковых приборов и элементной базы;

	<p>Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>полупроводниковых наноструктур.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.006</p>	<p>У-ПК-1.3[1] - Уметь обоснованно выбирать методы современной нанотехнологии для создания перспективных приборов и элементной базы на основе полупроводниковых наноструктур; В-ПК-1.3[1] - Владеть навыками разработки технологических маршрутов современных полупроводниковых приборов и элементной базы на основе наноструктур</p>
<p>разработка технических заданий на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области</p>	<p>ПК-11 [1] - способен разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.007</p>	<p>3-ПК-11[1] - Знать: основные технологические процессы производства материалов и изделий электроники и наноэлектроники ; У-ПК-11[1] - Уметь: разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства определённых материалов и изделий электронной техники.; В-ПК-11[1] - Владеть: навыками</p>

	<p>электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>		<p>проектирования технологических процессов производства приборов и устройств электроники и наноэлектроники</p>
<p>разработка технологических маршрутов и отдельных этапов производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем проектирования и иных программно-аппаратных средств</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий</p>	<p>ПК-12 [1] - способен проектировать технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.007</p>	<p>З-ПК-12[1] - Знать: основные технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники. ; У-ПК-12[1] - Уметь: применять автоматизированные системы технологической подготовки производства материалов и изделий электронной техники.; В-ПК-12[1] - Владеть: навыками проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники.</p>

	<p>электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>		
проектно-конструкторский			
<p>проектирование приборов и элементной базы твердотельной электроники и наноэлектроники в соответствии с техническим заданием</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и</p>	<p>ПК-9 [1] - способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.003</p>	<p>З-ПК-9[1] - Знать: государственные стандарты, нормативы, законы физики и методы технологии в области приборов и систем электронной техники. ; У-ПК-9[1] - Уметь: применять компьютерные технологии и методы автоматизированного проектирования устройств, приборов и систем электронной техники; В-ПК-9[1] - Владеть: навыками проектирования устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований.</p>

	применения электронных приборов и устройств.		
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Физика и технология полупроводниковых приборов Часть 1	1-8	4/16/8		25	КИ-8	3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11, 3-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12
2	Физика и технология полупроводниковых приборов Часть 2	9-15	4/14/7		25	КИ-15	3-ПК-1.3, У-ПК-1.3,

							В-ПК-1.3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11, 3-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		8/30/15		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11, 3-ПК-12, У-ПК-

							12, В- ПК- 12
--	--	--	--	--	--	--	------------------------

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Неделя	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	8	30	15
1-8	Физика и технология полупроводниковых приборов Часть 1	4	16	8
1 - 2	Основные направления и тенденции развития микро- и нанoeлектроники Технология полупроводникового производства. Планарная технология. Понятие технологического маршрута, технологические операции. Маршрут производства изделий микроэлектроники на примере СВЧ МИС. Требования к технологическим операциям в полупроводниковой микроэлектронике.	Всего аудиторных часов		
		1	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Эпитаксия. Механизмы эпитаксиального роста: Франка-ван-дер-Мерве, Фольмера-Вебера и Странского-Крастанова. Темодинамические и атомистические подходы. Современные концепции механизмов роста. Технология получения эпитаксиальных слоев: эпитаксия из газовой фазы, жидкофазная эпитаксия.	Всего аудиторных часов		
		1	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	Ионное легирование полупроводников. Расчет пробегов ионов в твердых телах. Распределение внедренной примеси по глубине. Радиационные эффекты при ионном легировании. Технология и области применения ионного легирования.	Всего аудиторных часов		
		1	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Фотолитография и эионные методы в микро и нанотехнологии Методы оптической фотолитографии: контактная печать и бесконтактное экспонирование. Фотошаблоны и их получение. Фоторезисты: нанесение, сушка, проявление фоторезистов. Проблемы оптической литографии. Электронно-лучевая литография: проекционные и сканирующие системы. Рентгеновская и ионная	Всего аудиторных часов		
		1	4	2
		Онлайн		
		0	0	0

	литография.			
9-15	Физика и технология полупроводниковых приборов Часть 2	4	14	7
9 - 10	Металлизация. Материалы для контактов и коммутации в ИМС. Требования к контактными площадкам и элементам коммутации. Многоуровневая металлизация.	Всего аудиторных часов		
		1	4	2
		Онлайн		
11 - 13	Ионно-плазменные процессы и технологии. Плазмохимическое осаждение тонких пленок. Стимулированное плазмой осаждение тонких слоев двуокиси кремния. Плазмохимическое осаждение нитрида кремния. Процессы плазменного (сухого) травления в технологии микро- и нанoeлектроники. Методы плазменного травления: ионно-плазменное травление, плазмохимическое травление, реактивное ионное травление.	Всего аудиторных часов		
		2	6	3
		Онлайн		
14 - 16	Ионно-кластерные технологии в нанoeлектронике Формирование ускоренных газовых кластерных ионов. Взаимодействие ускоренных газовых кластерных ионов с поверхностью твердого тела. Перспективы применения ионно-кластерных технологий в производстве изделий микро и нанoeлектроники.	Всего аудиторных часов		
		1	4	2
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
	Основные направления и тенденции развития микро- и нанoeлектроники. Закон Мура. Квантовые ограничения закона Мура
	Эпитаксия. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Механизмы эпитаксиального роста: Франка-ван-дер-Мерве, Фольмера-Вебера и Странского-Крастанова.
	Ионное легирование полупроводников

	Расчет пробегов ионов в твердых телах. Распределение внедренной примеси по глубине.
	Фотолиитография и эллионные методы в микро и нанотехнологии. Проблемы оптической литографии. Электронно-лучевая литография: проекционные и сканирующие системы. Рентгеновская и ионная литография.
	Металлизация. Методы осаждения металлических пленок. Проблемы металлизации и способы их устранения
	Ионно-плазменные процессы и технологии. Плазмохимическое осаждение тонких пленок. Процессы плазменного (сухого) травления в технологии микро- и нанoeлектроники.
	Ионно-кластерные технологии в нанoeлектронике. Формирование ускоренных газовых кластерных ионов. Взаимодействие ускоренных газовых кластерных ионов с поверхностью твердого тела.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины используются различные образовательные технологии – занятия проводятся в форме лекций, практических (семинарских) занятий, а также предусмотрены лабораторные работы. Для контроля усвоения студентом разделов данного курса и приема домашнего задания широко используются тестовые технологии, то есть специальный банк вопросов в открытой и закрытой форме, ответы на которые позволяют судить об усвоении студентом данного курса. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к тестам и лабораторным работам.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1.3	З-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-11	З-ПК-11	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-11	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-11	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-12	З-ПК-12	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-12	Э, КИ-8, КИ-15

	В-ПК-12	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-9	З-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Л12 Лабораторный практикум "Компьютерное моделирование наноструктур" : , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
2. 539.1 М92 Экспериментальная ядерная физика Т. 3 Физика элементарных частиц, , : Лань, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Д30 Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учебное пособие для вузов, Л. Н. Демина, Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
2. 53 Л12 Лабораторный практикум "Измерительные приборы" : , ред. : С. А. Воронов, Москва: МИФИ, 2009

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Для успешного прохождения курса необходимо уделять время самостоятельной работе.
Список литературы для изучения:

Основная:

1. Шука, А.А. Нанoeлектроника [Текст] : учебное пособие для вузов / А. А. Шука ; ред. А. С. Сигов. - 2-е изд. - Москва : Бинум, Лаборатория знаний, 2012. - 342 с. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0735-7
2. Галперин, В.А. Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях[Текст] : учебное пособие для вузов / В. А. Галперин, Е. В. Данилкин, А. И. Мочалов ; под ред. С.П. Тимошенко. - Москва : Бинум. Лаборатория знаний, 2012, 2010. - 283 с. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0032-7
3. Васильевский, И.С. Учебно-методический комплекс «Физика и технология молекулярно-лучевой эпитаксии» [Текст] / И. С. Васильевский. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2010. - 164 с. - ISBN 978-5-7262-1430-6

Дополнительная:

1. Процессы микро- и нанотехнологии: учеб. пособие/ Т. И. Данилина, К. И. Смирнова, В. А. Илюшин, А. А. Величко; Федер. Агентство по образованию, Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2005. – 316с.

2. Королёв, М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Текст] / М. А. Королёв, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева ; ред. Ю. А. Чаплыгин. - Москва : Бином. Лаборатория знаний.Ч.1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование : учебное пособие для вузов. - [Б. м.], 2009. - 396 с. - (Электроника). - ISBN 978-5-94774-336-4. - ISBN 978-5-94774-337-1

3. Акчурин Р. Х., Мармалюк А. А. Нитрид галлия – перспективный материал электронной техники. Часть I. Фундаментальные свойства нитрида галлия //материаловедение. – 1999. – №. 9. – С. 950-962.

4. Акчурин Р. Х., Мармалюк А. А. Нитрид галлия – перспективный материал электронной техники. II. современные методы получения Материаловедение. 2001. №9. С. 30 – 38.

5. Лебедев А. А. Вечнозеленый полупроводник //Химия и жизнь. – 2006. – №. 4. – С. 14 - 19.

6. Лучинин В., Таиров Ю. Отечественный полупроводниковый карбид кремния: шаг к паритету //Современная электроника. – 2009. – №. 7. – С. 12.

7. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии [Текст] : учеб. пособие для вузов / В.Л. Миронов. - М.:Техносфера, 2004. - 143 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 5-94836-034-2

8. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам [Текст] : сб. ст. / ред. : П. П. Мальцев. - М.:Техносфера, 2005. - 589 с. - (Мир электроники). - ISBN5-94836-063-6

9. Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. Основы наноэлектроники //Новосибирск: НГТУ. – 2000.

10. Мартинсон Л. К., Смирнов Е. В. Квантовая физика //М.: МГТУ им. НЭ Баумана. – 2004.

11. Дьячков, П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок [Текст] / П.Н. Дьячков. - Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 488 с. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0154-6.

12. Губин, С.П. Графен и родственные наноформы углерода [Текст] / С.П. Губин, С.В. Ткачев. - Изд. 2-е. - Москва : Либроком, 2012. - 101 с. - ISBN 978-5-397-03286-5

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Тесты проводятся письменно. Каждый студент получает лист с 5 вопросами, на каждый из вопросов дано несколько вариантов ответа. Студент должен выбрать один из вариантов. Для успешного прохождения тестирования достаточно правильно ответить на 4 вопроса из 5.

Автор(ы):

Каргин Николай Иванович, д.т.н., профессор