

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ
КАФЕДРА ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 4

от 23.07.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ОСНОВЫ ВАКУУМНОЙ И ПЛАЗМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 11.03.04 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, экз./зач./КР/КП
7	2-3	72-108	32	32	0		8-44	0	3
Итого	2-3	72-108	32	32	0	0	8-44	0	

АННОТАЦИЯ

Электронная эмиссия: основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, вторичная электронная, фотоэлектронная эмиссия. Электронный поток, его формирование и транспортировка: интенсивные и неинтенсивные, релятивистские и нерелятивистские электронные потоки. Способы формирования электронных потоков различной интенсивности (электронные пушки и прожекторы), транспортировка электронного потока и способы ограничения его поперечных размеров. Примеры использования в приборах вакуумной электроники. Управление электронными потоками: электрические и магнитные способы управления плотностью и скоростью электронов; квазистатические и динамические способы управления; примеры использования. Преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии: катодolumинисценция, рентгеновское излучение, примеры использования в приборах и устройствах. Ионизованный газ и плазма: элементарные процессы в плазме; основные методы генерации плазмы; модели для описания свойств плазмы; типы газовых разрядов; общие свойства плазмы: явления переноса, плазма в магнитном поле, колебания, неустойчивости и эмиссионные свойства плазмы, излучение плазмы, методы ускорения плазменных потоков; диагностика параметров плазмы; применение.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучаются физико-технические основы вакуумной и плазменной электроники, конструкция и основные принципы функционирования электровакуумных и плазменных приборов/устройств: законы эмиссии, способы формирования и транспортировки потоков заряженных частиц в вакууме и плазме, способы управления параметрами и преобразования энергии ПЗЧ в другие виды энергии и др.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс "Основы вакуумной и плазменной электроники" является профессиональной дисциплиной. Перед ее изучением студент должен успешно освоить курс общей физики, а также курс общей электротехники и электроники.

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

		стандарт-ПС, анализ опыта)	
научно-исследовательский			
Анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования	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 нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.	ПК-7.1 [1] - Способен применять представления, концепции и модели физики конденсированного состояния для описания явлений и процессов в твердых телах, включая новые полупроводниковые материалы, для приложений в области электроники и нанoeлектроники <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-7.1[1] - Знать основные концепции и модели физики конденсированного состояния для описания явлений и процессов в твердых телах, включая новые полупроводниковые материалы, имеющие значение для электроники и нанoeлектроники; У-ПК-7.1[1] - Уметь применять представления, концепции и модели физики конденсированного состояния для описания явлений и процессов в твердых тела для приложений в области электроники и нанoeлектроники; В-ПК-7.1[1] - Владеть основными методами качественного и количественного анализа параметров и характеристик твердых тел, включая новые полупроводниковые материалы, для приложений в области электроники и нанoeлектроники
Анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования,	ПК-3 [1] - Способен анализировать и систематизировать результаты исследований, определять степень достоверности	З-ПК-3[1] - Знание законов статистической физики; У-ПК-3[1] - Умение находить научную информацию в базах

	проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.	результатов экспериментальных исследований, сопоставлять полученные результаты с мировым уровнем, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций, баз данных <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	данных, выполнять её анализ и систематизацию, представлять результаты своих исследований в виде докладов, отчётов и публикаций.; В-ПК-3[1] - Владение методами обработки результатов измерений
производственно-технологический			
Выполнение работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические	ПК-7.3 [1] - Способен применять и владеет основами метрологического контроля проектной, конструкторской и технологической документации, устройств и технологий в сфере nanoиндустрии и нанoeлектроники <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.003	3-ПК-7.3[1] - Знать основные методы метрологического контроля проектной, конструкторской и технологической документации, устройств и технологий в сфере nanoиндустрии и нанoeлектроники; У-ПК-7.3[1] - Уметь применять основные методы метрологического контроля проектной,

	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.		конструкторской и технологической документации, устройств и технологий в сфере наноиндустрии и наноэлектроники; В-ПК-7.3[1] - Владеть основами метрологического контроля проектной, конструкторской и технологической документации, устройств и технологий в сфере наноиндустрии и наноэлектроники
--	--	--	---

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их

		последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Вакуумная и плазменная электроника. Часть 1.	1-8	16/16/0		25	к.р-8	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-7.1, У-ПК-7.1, В-ПК-7.1, З-ПК-7.3, У-ПК-7.3, В-ПК-7.3
2	Вакуумная и плазменная	9-16	16/16/0		25	к.р-16	З-ПК-3, У-ПК-3,

	электроника. Часть 2.						В-ПК-3, 3-ПК-7.1, У-ПК-7.1, В-ПК-7.1, 3-ПК-7.3, У-ПК-7.3, В-ПК-7.3
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	3	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-7.1, У-ПК-7.1, В-ПК-7.1, 3-ПК-7.3, У-ПК-7.3, В-ПК-7.3

* – 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
к.р	Контрольная работа
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	32	0
1-8	Вакуумная и плазменная электроника. Часть 1.	16	16	0
1 - 2	Вакуумная электроника и электровакуумные приборы. Вакуумная электроника и электровакуумные приборы. История вопроса. Преимущества и недостатки электровакуумных приборов.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Термоэлектронная эмиссия. Работа выхода электрона из твердого тела в вакуум. Основное уравнение термоэлектронной эмиссии. Распределение эмитированных электронов по начальным скоростям. Термоэлектронные катоды. Конструкции термоэлектронных катодов. Электронные лампы. Типы электронных ламп. Принцип действия двухэлектродной лампы. Анодные и эмиссионные характеристики вакуумного диода. Управление электронным потоком в трехэлектродной системе. Вакуумный триод. Характеристики и параметры. Многоэлектродные лампы (краткий обзор). Вакуумные приборы СВЧ диапазона	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0

	(магнетрон, лампа бегущей волны).			
5 - 6	Фотоэлектронная эмиссия. Внешний фотоэффект, основные законы. Фотоэлектронная эмиссия металлов и полупроводников. Фотокатоды. Применение фотокатодов на примере вакуумного фотоэлемента: конструкция и принцип действия вакуумного фотоприемника.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Автоэлектронная (полевая) эмиссия. Теория автоэлектронной эмиссии. Автоэлектронная эмиссия из металла и полупроводника. Автоэлектронные (полевые) катоды. Применение автоэлектронных катодов. Возможные направления развития: "вакуумная микроэлектроника", полевые эмиссионные дисплеи (FED).	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Вакуумная и плазменная электроника. Часть 2.	16	16	0
9 - 10	Вторичная электронная эмиссия. Механизм возникновения вторичной электронной эмиссии. Эффективные эмиттеры вторичных электронов. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ): конструкция, принцип действия, параметры и характеристики. Примеры использования ФЭУ в приборах/устройствах.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	Формирование и пространственное перемещение электронного пучка. Формирование и фокусировка электронных пучков. Электронная пушка/прожектор. Электронная оптика. Примеры использования сфокусированных электронных пучков в науке и технике (растровый и просвечивающий электронный микроскоп, электронно-лучевой литограф).	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Катодолюминесценция. Электронно-оптические преобразователи. Катодолюминесценция, катодолуминофоры. Применение катодолюминесценции на примере электронно-лучевой трубки. Дифракция быстрых отраженных электронов - RHEED. Электронно-оптические преобразователи, конструкция, принцип действия ЭОП.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	Газоразрядные приборы. Элементарные процессы в плазме. Основные методы генерации плазмы. Типы газовых разрядов. Общие свойства плазмы. Излучение плазмы. Плазма в магнитном поле. Газоразрядные приборы. Технологические процессы с использованием плазмы в микро- и нанoeлектронике.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		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>7 Семестр</i>
1 - 4	Термоэлектронная эмиссия. Основное уравнение термоэлектронной эмиссии. Термоэлектронные катоды.
5 - 6	Фотоэлектронная эмиссия. Внешний фотоэффект, основные законы. Фотокатоды.
7 - 8	Автоэлектронная (полевая) эмиссия. Теория автоэлектронной эмиссии. Автоэлектронные (полевые) катоды.
9 - 10	Вторичная электронная эмиссия. Механизм возникновения вторичной электронной эмиссии.
11 - 12	Формирование и пространственное перемещение электронного пучка. Формирование и фокусировка электронных пучков. Электронная пушка/прожектор.
13 - 14	Катодолюминесценция. Дифракция быстрых отраженных электронов - RHEED. Катодолюминесценция, катодолуминофоры. Дифракция быстрых отраженных электронов - RHEED.
15 - 16	Газоразрядные приборы. Элементарные процессы в плазме. Основные методы генерации плазмы. Общие свойства плазмы. Типы газовых разрядов.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы используются следующие технологии:

- лекции по курсу традиционного типа, на некоторых лекциях применяется компьютерный проектор для иллюстраций сложных устройств, систем и процессов;
- практические (семинарские) занятия – решение задач студентами, в том числе в интерактивной форме (обсуждение, беседа) с преподавателем;
- самостоятельная работа студента.

7. 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-3	З-ПК-3	З, к.р-8, к.р-16
	У-ПК-3	З, к.р-8, к.р-16
	В-ПК-3	З, к.р-8, к.р-16
ПК-7.1	З-ПК-7.1	З, к.р-8, к.р-16
	У-ПК-7.1	З, к.р-8, к.р-16
	В-ПК-7.1	З, к.р-8, к.р-16

ПК-7.3	З-ПК-7.3	З, к.р-8, к.р-16
	У-ПК-7.3	З, к.р-8, к.р-16
	В-ПК-7.3	З, к.р-8, к.р-16

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.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.38 Б17 Базовые лекции по электронике Т.1 Электровакуумная, плазменная и квантовая электроника, , Москва: Техносфера, 2009
2. ЭИ С 34 Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств. Ионно-плазменные технологии : учебник для вузов, Сигов А. С., Москва: Юрайт, 2022
3. ЭИ Щ 94 Электроника в 4 ч. Часть 1. Вакуумная и плазменная электроника : учебник для вузов, Щука А. А., Москва: Юрайт, 2022

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Ф 95 Автоэлектронная эмиссия : , Фурсей Г. Н., Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ В 751 Полупроводниковая и вакуумная электроника : Учебное пособие по курсам "Электроника", "Твердотельная электроника", "Вакуумная и плазменная электроника" для студентов, обучающихся по направлениям "Электроника и микроэлектроника", "Радиотехника", Воробьев М.Д., Москва: МЭИ, 2017
3. ЭИ В 75 Полупроводниковая и вакуумная электроника : Учебное пособие по курсам "Электроника", "Твердотельная электроника", "Вакуумная и плазменная электроника" для студентов, обучающихся по направлениям "Электроника и микроэлектроника", "Радиотехника", Воробьев М.Д., Москва: МЭИ, 2010
4. 621.38 Щ94 Электроника : учеб. пособие для вузов, Щука А.А., СПб: БХВ-Петербург, 2005

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Курс включает в себя лекционные и практические занятия. Лекционные занятия - лекции традиционного типа. На практических занятиях студенты решают задачи, в том числе и в интерактивной форме (обсуждение). Поощряется активное участие в обсуждении задач, а также умение своевременно задавать вопросы для прояснения всех непонятных моментов по пройденному материалу. Помимо лекционных и семинарских занятий курс включает в себя самостоятельную работу студентов. Данное время отводится для самостоятельной переработки и повторения материала, устранения долгов, накопленных во время семестра, а также для

самостоятельной подготовки к сдаче теоретического материала (зачет). Во время самостоятельной подготовки к сдаче теоретического материала студенты учатся работать с научной литературой. Положительная оценка (аттестация) каждого раздела необходима для допуска к зачету.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Курс разбит на несколько взаимосвязанных частей. Здесь важно соблюдать последовательность изложения материала. При проведении практических занятий, на которых студенты сами решают задачи, преподавателю следует обращать внимание на их активность. При этом, полезно опрашивать не только активных студентов, поскольку в противном случае есть риск того, что остальная часть группы не усвоит материал. На все возникающие вопросы лучше всего давать ответы, ссылаясь на определённый источник, который студент может подробнее изучить дома самостоятельно. Следует обращать внимание на то, чтобы материал, прочитанный на лекциях, и решённые на семинарах задачи позволяли студенту в полном объеме справиться с контрольной работой и тестовым опросом.

Автор(ы):

Гусев Александр Сергеевич