

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 09.07.2023 20:53:21

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Вакуумная и плазменная электроника

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

в том числе:

аудиторные занятия 48

самостоятельная работа 96

Формы контроля в семестрах:
зачет с оценкой 8

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	8 (4.2)		Итого	
	Неделя 12			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	24	24	24	24
Лабораторные	12	12	12	12
Практические	12	12	12	12
Итого ауд.	48	48	48	48
Контактная работа	48	48	48	48
Сам. работа	96	96	96	96
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

ктн, доцент, Паничкин А.В.

Рабочая программа

Вакуумная и плазменная электроника

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 02.04.2015 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ППЭ и ФПП

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Целью освоения дисциплины является формирование у студентов компетенций в соответствии с учебным планом по направлению 11.03.04 в области электроники и нанoeлектроники, дающих общие представления о процессах формирования направленных потоков заряженных частиц в вакууме и плазме, использовании этих процессов в разработке и производстве приборов вакуумной и плазменной электроники.
-----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.08
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах	
2.1.2	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.1.3	Компьютерные технологии проектирования процессов нанoeлектроники	
2.1.4	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем	
2.1.5	Методы исследования материалов и структур электроники	
2.1.6	Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.1.7	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ	
2.1.8	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок	
2.1.9	Полевые полупроводниковые приборы	
2.1.10	Полупроводниковая нанoeлектроника	
2.1.11	Приемники оптического излучения	
2.1.12	Физика импульсного отжига	
2.1.13	Физико-математические модели процессов нанoeлектроники	
2.1.14	Физические основы электроники	
2.1.15	Функциональная нанoeлектроника	
2.1.16	Биполярные полупроводниковые приборы	
2.1.17	Квантовая и оптическая электроника	
2.1.18	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.19	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.20	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.21	Физика конденсированного состояния	
2.1.22	Физика магнитных явлений	
2.1.23	Безопасность жизнедеятельности	
2.1.24	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике	
2.1.25	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике	
2.1.26	Статистическая физика	
2.1.27	Электроника	
2.1.28	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.29	Методы математической физики	
2.1.30	Практическая кристаллография	
2.1.31	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	
2.1.32	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	
2.1.33	Физика	
2.1.34	Физическая химия	
2.1.35	Математика	
2.1.36	Органическая химия	
2.1.37	Химия	
2.1.38	Инженерная и компьютерная графика	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области								
Знать:								
ОПК-2-31 Методы проведения исследований характеристик приборов вакуумной и плазменной электроники								
ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники								
Знать:								
ПК-3-31 Физические основы создания вакуумной и плазменной атмосферы, формирования направленных потоков заряженных частиц в вакууме и плазме и способы управления их характеристиками								
ПК-3-32 Принципы ускорения потоков заряженных частиц в вакууме, конструкции ускорителей заряженных частиц, способы усиления и генерации СВЧ сигнала,								
УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения								
Знать:								
УК-2-31 Основные источники для получения информации при разработке приборов и процессов вакуумной и плазменной электроники								
ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники								
Уметь:								
ПК-3-У1 Рассчитывать основные характеристики потоков заряженных частиц в вакууме, рабочие параметры приборов вакуумной электроники и технологии: электронных пушек, ускорителей заряженных частиц, клистронов, ламп бегущей волны.								
УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения								
Уметь:								
УК-2-У1 Обоснованно находить оптимальные методы и способы решения поставленных задач исследования								
ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области								
Уметь:								
ОПК-2-У1 Прогнозировать режимы работы приборов вакуумной и плазменной электроники на основании проведенных экспериментальных исследований.								
ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники								
Владеть:								
ПК-3-В1 Навыками проведения исследований влияния ускоренных потоков заряженных частиц, сформированных в вакууме или плазме, на электрофизические характеристики полупроводниковых материалов и приборных структур на их основе.								
ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области								
Владеть:								
ОПК-2-В1 Анализировать полученные результаты исследований и оптимизировать характеристики технологических процессов и параметры приборов вакуумной и плазменной электроники.								
УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения								
Владеть:								
УК-2-В1 Применять выбранные методики исследования и технологические маршруты для разработки новых приборных структур и процессов их производства.								

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
-------------	-------------------------------------------	----------------	-------	------------------------------------	--------------------------	------------	----	--------------------

	Раздел 1. Виды электронной эмиссии. Формирование и транспортировка электронных потоков.							
1.1	Общие понятия вакуума и плазмы. Области применения вакуумных устройств в электронике и технологии. Виды электронной эмиссии. Характеристики катодов. Формирование и транспортировка. Электронных потоков Типы и конструкция электронных пушек. /Лек/	8	6	УК-2-31 ОПК-2-31 ПК-3-31	Л1.2 Л1.1Л2.3 Л2.4 Л2.17 Э1 Э2 Э3	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		
1.2	Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям. /Ср/	8	4	УК-2-31 ОПК-2-31 ПК-3-31	Л1.2 Л1.1Л2.3 Л2.4 Л2.17 Э1 Э2 Э3 Э4			
1.3	Расчет характеристик термоэлектронной, автоэлектронной, вторичной и фотоэмиссии. /Пр/	8	1	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1	Л1.1 Л2.4Л1.2 Л2.3 Л2.5 Э2 Э3	Методические указания по выполнению РГР на кафедре, на электронном и бумажном носителе.		Р1
1.4	Способы формирования электронных потоков с заданными поперечными размерами. Электронно-оптические системы. Электростатические и магнитные линзы. Методы измерения параметров электронных потоков. /Лек/	8	4	УК-2-31 ОПК-2-31 ПК-3-31	Л1.2 Л1.1Л2.4 Л2.5 Л2.17 Э2	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		
1.5	Выполнение расчетно-графической работы на тему: «Расчет зависимости тока эмиссии от температуры и внешнего электрического поля». /Ср/	8	25	УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1	Л1.1Л2.3 Л2.4 Л2.17 Э1 Э2 Э3 Э4	Методические указания для расчета РГР на кафедре, бумажный и электронный носитель.		Р6
1.6	Расчет параметров электростатических и магнитных линз, электронных пушек. /Пр/	8	1	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1	Л1.1Л2.4 Л2.17 Э2 Э3	Решение типовых задач по теме раздела.		Р2
1.7	Подготовка к написанию контрольной работы №1 /Ср/	8	6	УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1Л1.2 Л2.3 Л2.4 Л2.17 Э1 Э2 Э3 Э4	Решение типовых задач по теме раздела.		
1.8	Написание контрольной работы №1 /Пр/	8	2	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1			КМ1	Р3

	Раздел 2. Принципы ускорения заряженных частиц в вакууме. Принципы работы, классификация ускорителей частиц.							
2.1	Особенности движения заряженных частиц в электрических и магнитных полях в вакууме. Принципы ускорения потоков заряженных частиц и методы обеспечения орбитальной устойчивости частиц в вакууме. Статические и динамические ускоряющие системы. Рентгеновские трубки. /Лек/	8	4	УК-2-31 ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-3-32	Л2.4Л2.7 Л2.9 Л2.12 Л2.14 Л2.15 Э2	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		
2.2	Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям. /Ср/	8	4	УК-2-31 ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-3-32	Л2.4 Л2.9Л2.14 Л2.15 Л2.16 Э1 Э2 Э3 Э4			
2.3	Расчет рабочих параметров электронных потоков /Пр/	8	1	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1	Л1.1Л2.17 Э1 Э2	Решение типовых задач по теме раздела.		Р4
2.4	Защита расчетно-графической работы /Ср/	8	10	УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1	Л1.1 Л2.4Л1.2 Л2.3 Л2.17 Э1 Э2 Э3 Э4	Защита РГР происходит в электронной среде на базе платформы MLS "Canvas"		Р6
2.5	Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы №1 /Ср/	8	4	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л2.4Л2.9 Л2.14	Методические указания по выполнению лабораторных работ, электронный и бумажный носитель на кафедре.		
2.6	Выполнение и защита лабораторной работы №1 "Изучение устройства и принципа действия линейного ускорителя электронов ЭЛУ-6" /Лаб/	8	2	УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л2.4Л2.9 Л2.14 Л2.15 Э2	Методические указания по выполнению лабораторных работ, бумажный и электронный носитель на кафедре.		Р5
	Раздел 3. Принципы действия и конструкции источников и усилителей СВЧ-колебаний. Общая характеристика и конструкции вакуумных насосов.							

3.1	Виды генераторов и усилителей сигналов СВЧ-диапазона. Конструкции и принцип работы клистронов, ламп бегущей волны, магнетронов. /Лек/	8	6	УК-2-31 ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-3-32	Л1.1Л2.2 Л2.8 Л2.11 Э2	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		
3.2	Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям. /Ср/	8	8	УК-2-31 ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-3-32	Л1.1Л2.2 Л2.4 Л2.8 Л2.11 Э1 Э2 Э3 Э4			
3.3	Расчет рабочих характеристик усилителей СВЧ-сигнала: клистронов, ламп бегущей волны. /Пр/	8	3	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1	Л2.2 Л1.1Л2.8 Л2.17 Э1 Э2 Э3			Р12
3.4	Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ №2, №3. /Ср/	8	16	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1Л2.9 Л2.14 Л2.15 Л2.16 Э2 Э3	Методические указания по выполнению лабораторных работ на электронном и бумажном носителе, на кафедре.		
3.5	Выполнение и защита лабораторной работы №2 "Влияние высокоинтенсивных электронов на электрофизические характеристики структур диэлектрик-полупроводник", лабораторной работы №3 "Влияние релятивистских электронных потоков на статические параметры биполярных приборов" /Лаб/	8	7	УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л2.2 Л2.4Л2.9 Л2.14 Л2.15 Л2.16 Э2	Методические указания по выполнению лабораторных работ, на кафедре, бумажный и электронный носитель.		Р7,Р8
3.6	Подготовка к написанию контрольной работы №2 /Ср/	8	8	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-32 ПК-3-У1	Л2.2 Л1.1Л2.4 Л2.8 Л2.9 Л2.14 Л2.15 Э1 Э2 Э3 Э4			
3.7	Написание контрольной работы №2. /Пр/	8	2	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-32 ПК-3-У1			КМ3	Р9
	Раздел 4. Способы создания и общие характеристики плазмы. Виды газового разряда. Ускорители ионов.							

4.1	Методы создания плазмы. Виды газового разряда. Приборы плазменной электроники, их общая характеристика. Принцип действия и конструкции ионных источников. Ускорители ионов. Технологические плазменные процессы в производстве полупроводниковых приборов. /Лек/	8	4	УК-2-31 ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-3-32	Л1.1Л2.4 Л2.6 Л2.13 Л2.17 Э2	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		
4.2	Проработка лекционного материала для подготовки к выполнению и защите лабораторной работы №4 "Изучение устройства и принципа действия ускорителя ионов типа HVE-350". /Ср/	8	5	УК-2-31 ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л2.4 Л2.13Л2.10 Э2	Методические указания по выполнению лабораторных работ, на кафедре электронный и бумажный носитель.		
4.3	Выполнение и защита лабораторной работы №4 "Изучение устройства и принципа действия ускорителя ионов типа HVE-350" /Лаб/	8	3	УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л2.13Л2.10 Э2	Методические указания по выполнению лабораторных работ, на кафедре, бумажный и электронный носитель.		Р10
4.4	Подготовка к написанию контрольной работы №3. /Ср/	8	6	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1	Л1.1 Л2.4 Л2.13Л2.6 Л2.7 Л2.10 Л2.17 Э1 Э2 Э3			
4.5	Написание контрольной работы №3. /Пр/	8	2	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1			КМ4	Р11

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Контрольная работа №1	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-31;ПК-3-У1	<p>Теоретические вопросы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Общая характеристика процессов электроники, протекающих в вакууме. 2. Свойства вакуумной среды, ее основные характеристики. 3. Области применения вакуумных устройств в электронике и технологии производства полупроводниковых приборов. 4. Общее понятие плазмы, ее основные свойства и характеристики. 5. Виды электронной эмиссии, их общая характеристика. 6. Термоэлектронная эмиссия электронов. 7. Автоэлектронная и взрывная эмиссия электронов из твердого тела. 8. Фотоэмиссия и вторичная эмиссия электронов. 9. Катоды, используемые в вакуумной электронике, их свойства,

особенности конструкции, области применения.
 10. Электронный поток, его свойства и характеристики.
 11. Методы и устройства формирования электронного потока.
 Электронные пушки
 12. Транспортировка электронных потоков. Электронно-оптические системы. Способы фокусировки электронных потоков.
 Электростатические и магнитные линзы.
 13. Методы измерения тока пучка и энергии частиц.
 14. Методы измерения местоположения и сечения электронного пучка.

Типовые задачи

1. Рассчитать энергию Ферми для материала X при комнатной температуре, считая, что на один атом приходится один свободный электрон. Плотность материала равна Y кг/м³, масса атома – Z кг.
2. Вычислить плотность тока термоэлектронной эмиссии для катода из материала X при температуре $T=Y$, К и отсутствии внешнего электрического поля.
3. Вычислить плотность тока термоэлектронной эмиссии для катода из гексаборидланта при температуре 1800 К и отсутствии внешнего электрического поля, если $A=2,9 \cdot 10^5$ Ам-2град-2, а работа выхода равна 2,7 эВ.
4. Вычислить относительный прирост тока термоэмиссии катода из материала X, работающего при температуре $T=Y$ К при наличии внешнего электрического поля с напряженностью E , В/см².
5. Вычислить плотность и силу тока автоэлектронной эмиссии из полусферического острейного катода X радиуса r , мкм при напряженности электрического поля у острья E .
6. Между острейным вольфрамовым катодом и удаленным от него на расстояние L , мм плоским анодом приложено напряжение U , кВ. Коэффициент усиления напряженности электрического поля равен K . Определить плотность тока автоэлектронной эмиссии.
7. Вычислить силу тока фотоэлектронной эмиссии с поверхности фотокатода Cs₃Sb, если на нее падает световой поток мощностью P , мкВт с длиной волны λ , мкм, а квантовый выход при этом составляет K .
8. Определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов, испускаемых Cs₃Sb фотокатодом, облучаемым потоком света с длиной волны λ , мкм, если длинноволновая граница фотоэмиссии равна λ_0 , мкм.
9. Электронная пушка в режиме пространственного заряда формирует прямолинейный ленточный пучок электронов толщиной x мм и шириной l мм. Расстояние между катодом и анодом равно d мм, а размеры выходной щели анода равны размерам поперечного сечения пучка. Определить первеанс пушки и угол отклонения границы пучка на выходе из пушки.
10. Пушка Пирса работает при ускоряющем напряжении U В и формирует сплошной цилиндрический пучок электронов с первеансом P мкА/В^{3/2}. Радиус кривизны катода равен r см, расстояние между катодом и анодом d см. Определить плотность катодного тока и угол отклонения пучка на выходе из пушки.
11. Определить фокусное расстояние и потенциал в центре линзы-диафрагмы, если потенциал диафрагмы равен U , радиус отверстия диафрагмы R , а напряженность электрического поля слева и справа от линзы равна E_1 и E_2 соответственно..
12. Определить фокусное расстояние короткой магнитной линзы и угол поворота пучка относительно исходного положения, если число витков обмотки равно w , сила тока I , средний радиус катушки R , потенциал электронного пучка U_0 .
13. Определить фокусное расстояние тонкой линзы-диафрагмы с радиусом отверстия r и потенциалом U , если слева и справа от нее находятся плоские электроды на расстоянии l_1 и l_2 соответственно с потенциалом U_1 и U_2 .
14. Определить фокусное расстояние короткой магнитной линзы на постоянном кольцевом магните, внутренний и внешний радиусы которого равны R_1 и R_2 , максимальное значение индукции на оси в

			<p>центре равно B, а потенциал электронного пучка равен U_0.</p> <p>15. Ток пучка электронов, измеренный за время t, минут цилиндром Фарадея, равен I, А. Диаметр входного окна цилиндра равен d, см. Определить:</p> <ul style="list-style-type: none"> - плотность электронного потока, - полный поток электронов, - время процесса облучения, необходимое для набора потока электронов F, см⁻². <p>16. Напряжение, измеренное при помощи пояса Роговского, равно U, мВ. Определить ток пучка электронов, если коэффициент магнитной индукции M, нагрузочное сопротивление R, кОм, а емкость C, мкФ.</p>
КМ2	Защита расчетно-графической работы	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1	<p>Теоретические вопросы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Общая характеристика процессов электроники, протекающих в вакууме. 2. Свойства вакуумной среды, ее основные характеристики. 3. Виды электронной эмиссии, их общая характеристика. 4. Термоэлектронная эмиссия электронов. 5. Автоэлектронная и взрывная эмиссия электронов из твердого тела. 6. Фотоэмиссия и вторичная эмиссия электронов. 7. Зависимость тока эмиссии от внешнего электрического поля при постоянной температуре 8. Понятие "красной границы" фотоэффекта 9. Влияние покрытия материала тонкими пленками на величину работы выхода электрона

КМЗ	Контрольная работа №2	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-32;ПК-3-У1	<p>Теоретические вопросы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Движение заряженных частиц в поперечном магнитном поле. 2. Движение заряженных частиц в поперечном электрическом поле. 3. Приращение энергии частиц в ускоряющем промежутке. Зависимость массы частицы от ее энергии. 4. Методы обеспечения орбитальной устойчивости частиц. Принцип автофазировки. 5. Использование явления сверхпроводимости в ускорительной технике. 6. Типы ускорителей заряженных частиц, их общая характеристика. 7. Устройство и принцип действия линейных ускорителей. 8. Разновидности электростатических ускорителей, их характеристики. 9. Импульсные ускорители электронов, их характеристики. 10. Общая характеристика линейного ускорителя со стоячей волной (трубки дрейфа), индукционного ускорителя. 11. Линейный ускоритель с бегущей волной. Принцип действия, конструкция, характеристики ЭЛУ-6. 12. Основы взаимодействия ускоренных частиц с твердым телом. 13. Основные закономерности взаимодействия высокоэнергетических частиц (электронов, протонов) с твердым телом. 14. Взаимодействие низкоэнергетического электронного излучения с твердым телом. 15. Условие возникновения рентгеновского излучения, источники рентгеновского излучения. 16. Электровакуумные источники и усилители СВЧ колебаний (магнетрон, клистрон, лампа бегущей волны). 17. Классификация вакуумных насосов, основные принципы функционирования. <p>Типовые задачи</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рассчитать радиус круговой орбиты ускорителя, предназначенного для формирования пучка электронов с энергией W_k, МэВ, если магнитная индукция составляет B, Тл ($W_0 = 0,511$ МэВ). 2. Как изменится величина индукции магнитного поля, если в ускорителе с радиусом траектории из задачи 17 будет двигаться пучок протонов с той же энергией ($W_0 = 938$ МэВ)? 3. Рассчитать радиус орбиты движения иона с энергией W_k, эВ, если масса атома элемента равна m, кг, а индукция магнитного поля B, Тл. 4. Электронный пучок с током I_0, мА, ускоренный постоянным напряжением U_0, В, проходит через сеточный зазор резонатора шириной d, мм, на котором действует переменное напряжение с амплитудой U_m, В и частотой f, Гц. Определить: <ul style="list-style-type: none"> - угол пролета в зазоре φd, - коэффициент взаимодействия в зазоре η - коэффициент скоростной модуляции - активную составляющую электронной проводимости в зазоре G - потери ВЧ мощности на этой проводимости. 5. Клистронное управляющее устройство работает на частоте f, МГц, имея оптимальную длину трубки дрейфа, и управляет цилиндрическим электронным пучком, радиус которого равен r, мм и первеанс $P, A/V^{3/2}$. При этом коэффициент взаимодействия равен n. Определить оптимальную длину трубы дрейфа L и коэффициент управления S. 6. Определить коэффициент усиления напряжения управляющего сигнала в первой ступени клистрона с параметрами: I_0, мА, U_0, В, $n_1 = n_2 = n$, φ_1, рад, R_3, Ом. 7. Однорезонаторное клистронное устройство работает на частоте f, ГГц при ускоряющем напряжении U_0, кВ. В его резонатор с шириной сеточного зазора d, мм и активным эквивалентным сопротивлением R_3, кОм подан управляющий сигнал мощностью P, Вт. Определить: <ul style="list-style-type: none"> - Амплитуду напряжения на ВЧ зазоре,
-----	-----------------------	---------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

			<p>- Статический угол пролета электронов в зазоре</p> <p>- Коэффициент скоростной модуляции</p> <p>- Длину трубки дрейфа, необходимую для получения на выходе максимального значения амплитуды сигнала.</p> <p>8. В ВЧ зазор выходного резонатора клистрона входит электронный пучок с параметрами: параметр группирования X, средний ток I_0, мА, ускоряющее напряжение U_0, В. Активное эквивалентное сопротивление резонатора $R_э$, кОм, коэффициент взаимодействия n. Определить: Амплитуду конвекционного тока I, амплитуду напряжения на зазоре U_m, колебательную мощность P, КПД преобразования.</p> <p>9. В выходной резонатор клистрона с сеточным ВЧ зазором шириной d, мм, активным эквивалентным сопротивлением $R_э$, кОм, резонансной частотой f, ГГц и потенциалом U_0, кВ входит модулированный на этой частоте электронный пучок с током I_0, мА и параметром группирования X. Определить амплитуду ВЧ напряжения на ВЧ зазоре, среднюю колебательную мощность и КПД преобразования.</p> <p>10. Двухрезонаторный клистрон работает при напряжении U_0, В и токе I_0, мА. Отношение активных эквивалентных сопротивлений резонаторов равно $R_э2/R_э1$, коэффициент взаимодействия n. На вход подается мощность $P_{вх}$ Вт, при этом амплитуда напряжения $U_{m2}=U_0$. Определить КПД, максимальную выходную мощность, максимальный КПД, коэффициент усиления по мощности.</p> <p>11. Определить коэффициент замедления и оптимальное ускоряющее напряжение замедляющей системы, если диаметр витка спирали равен d, мм, шаг спирали – h, мм..</p> <p>12. Спиральная замедляющая система намотана из проволоки под углом Θ. Определить значение ускоряющего напряжения пучка, при котором его скорость равна фазовой скорости бегущей э/м волны.</p> <p>13. В преобразующем устройстве со спиральной замедляющей системой распространяется электронный пучок током I_0, мА и напряжением U_0, кВ, модулированный с частотой f, ГГц. Сопротивление связи замедляющей линии $R_{св}$, Ом. Определить параметр усиления C, электронное волновое число, фазовую скорость нарастающей волны по отношению к начальной скорости электронного потока.</p> <p>14. ЛБВ О-типа работает на частоте f, ГГц, имеет относительную длину N, сопротивление связи $R_{св}$, Ом и постоянный потенциал U_0, кВ. В это устройство входит слабомодулированный электронный пучок с током I_0, мА. Определить параметр усиления C и коэффициент усиления по мощности m.</p>
КМ4	Контрольная работа №3	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1	<p>Теоретические вопросы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Характеристика плазмы, ее параметры, основные области применения плазменных процессов. 2. Виды газового разряда. Источники ионов, их сравнительная характеристика, конструкции. 3. Устройства для разделения ионов, принцип их функционирования. 4. Материалы для получения ионов. Конструкция типового ускорителя ионов. 5. Общая характеристика физических процессов, протекающих при взаимодействии ионов с твердым телом. 6. Ионно-плазменные и вакуумные процессы в технологии микроэлектроники: получение тонких пленок, очистка поверхности пластин, ионно-плазменное и ионно-лучевое травление.
5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
Р1	Практическое занятие №1	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-31;ПК-3-У1	Расчет характеристик термоэлектронной, автоэлектронной, вторичной и фотоэмиссии.

P2	Практическое занятие №2	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-31;ПК-3-У1	Расчет параметров электростатических и магнитных линз, электронных пушек.
P3	Контрольная работа №1	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-31;ПК-3-У1	Расчет параметров эмиссии, характеристик электронных потоков, электронных пушек, электронных линз
P4	Практическое занятие №3	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1	Расчет рабочих параметров электронных потоков
P5	Лабораторная работа №1	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1;ПК-3-В1	"Изучение устройства и принципа действия линейного ускорителя электронов ЭЛУ-6"
P6	Расчетно-графическая работа	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1	"Расчет зависимости тока эмиссии от температуры и внешнего электрического поля"
P7	Лабораторная работа №2	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;ПК-3-32;ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1	"Влияние высокоинтенсивных электронов на электрофизические характеристики структур диэлектрик-полупроводник"
P8	Лабораторная работа №3	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1;ПК-3-В1	"Влияние релятивистских электронных потоков на статические параметры биполярных приборов "
P9	Контрольная работа №2	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-32;ПК-3-У1	Расчет характеристик электронных потоков, параметров усилителей и генераторов СВЧ сигнала
P10	Лабораторная работа №4	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1;ПК-3-В1	"Изучение устройства и принципа действия ускорителя ионов типа НВЕ-350"
P11	Контрольная работа №3	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1	Приборы плазменной электроники. Плазменные процессы в технологии электроники и нанoeлектроники
P12	Практическое занятие №4	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1	Расчет рабочих характеристик усилителей СВЧ-сигнала: клистронов, ламп бегущей волны.
5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)			
Экзамен не предусмотрен			

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По дисциплине для получения зачета студент должен полностью выполнить учебный план: написать все контрольные работы, выполнить и защитить все лабораторные работы, выполнить и защитить расчетно-графическую работу (РГР).

Оценки за контрольные работы выставляются по следующим критериям:

- а) «отлично» – студент правильно решил задачи и полно ответил на все теоретические вопросы;
- б) «хорошо» – студент решил задачи и недостаточно полно ответил на все теоретические вопросы;
- в) «удовлетворительно» – студент неправильно решил задачи, неполно ответил на теоретические вопросы;
- г) «неудовлетворительно» – студент не решил задачу, не ответил на теоретические вопросы.

Защита РГР происходит в электронной среде Canvas. Оценка за РГР выставляется по следующим критериям:

- а) «отлично» – студент правильно провел необходимые расчеты, представил графики зависимостей, сделал правильные выводы, всчерпывающе ответил на вопросы при защите работы;
- б) «хорошо» – студент правильно или с небольшими ошибками провел необходимые расчеты, представил графики зависимостей, сделал правильные выводы, недостаточно полно ответил на вопросы при защите работы;;
- в) «удовлетворительно» – студент провел необходимые расчеты с незначительными ошибками, представил неверные графики зависимостей, сделал неполные или неправильные выводы, недостаточно полно ответил на вопросы при защите работы;
- г) «неудовлетворительно» – студент провел необходимые расчеты с грубыми ошибками, представил неверные графики зависимостей, сделал неправильные выводы, не ответил или ответил неверно на вопросы при защите работы;.

Оценка за зачет формируется как среднеарифметическое за все контрольные работы и РГР

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Битнер Л. Р.	Вакуумная и плазменная электроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Разумовская И. В.	Физика твердого тела: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Прометей, 2011
Л2.2	Куц Г. Г., Соколова Ж. М., Шангина Л. И.	Приборы и устройства оптического и СВЧ диапазонов: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012
Л2.3	Елинсон М. И., Васильев Г. Ф., Зернов Д. В.	Автоэлектронная эмиссия	Электронная библиотека	Москва: Гос. изд-во физико-математической лит., 1958
Л2.4	Лисицына Л. И.	Вакуумные и плазменные приборы: учебное пособие	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013
Л2.5	Гуртов В. А., Осауленко Р. Н.	Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Техносфера, 2012
Л2.6	Иванов И. Г.	Газовый разряд и его применение в фотонике: учебное пособие	Электронная библиотека	Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2009
Л2.7	Бурмистров А. В.	Бесконтактные вакуумные насосы: учебное пособие	Электронная библиотека	Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2010

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.8	Разинкин В. П., Хрусталева В. А., Матвеев С. Ю.	Широкополосные управляемые СВЧ устройства высокого уровня мощности: монография	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014
Л2.9	Бурштейн Э. Л., Воскресенский Г. В.	Линейные ускорители электронов с интенсивными пучками: физические основы теории: монография	Электронная библиотека	Москва: Атомиздат, 1970
Л2.10	Смирнов Б. М.	Ионы и возбужденные атомы в плазме	Электронная библиотека	Москва: Атомиздат, 1974
Л2.11	Зикий А. Н., Помазанов А. В.	Стабильность частоты генераторов СВЧ: учебное пособие	Электронная библиотека	Ростов-на-Дону, Таганрог: Южный федеральный университет, 2017
Л2.12	Кожитов Л. В., Зарапин А. Ю., Чиченев Н. А.	Технологическое вакуумное оборудование: В 2-х ч.: Ч.1.: Вакуумные системы технологического оборудования: Учебник для студ. напр. 651600 - Технол. машины и оборудование, спец. 170300 - Metallurg. машины и оборудование	Библиотека МИСиС	М.: Руда и металлы, 2001
Л2.13	Курносоев А. И., Юдин В. В.	Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: Учеб. пособие для вузов по спец. 'Полупроводники и диэлектрики' и 'Полупроводниковые приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1986
Л2.14	Горюнов Н. Н., Ладыгин Е. А., Макаров В. А., др. Е. А., Ладыгин	Основы радиационной технологии микроэлектроники: лаб. практикум для студ. спец. 0629	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1987
Л2.15	Ладыгин Е. А., Горюнов Н. Н., Паничкин А. В., Галеев А. П.	Основы радиационной технологии микроэлектроники: Разд.: Радиационные эффекты в интегральных микросхемах: курс лекций для студ. спец. 06.29	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1996
Л2.16	Ладыгин Е. А., Горюнов Н. Н., Паничкин А. В., Галеев А. П.	Основы радиационной технологии микроэлектроники: Разд.: Радиационные эффекты в МПД и КМД структурах интегральных схем: Лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1997
Л2.17	Курочка С. П., Кузнецов Г. Д., Курочка А. С.	Вакуумная и плазменная электроника: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2009

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	ЭБС "Лань"	https://e.lanbook.com
Э2	Курс "Вакуумная и плазменная электроника" на платформе LMS "Canvas"	https://lms.misis.ru/login/ldap
Э3	Электронная библиотека МИСиС	http://elibrary.misis.ru/
Э4	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	window.edu.ru

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr	
П.2	Win Pro 10 32-bit/64-bit	
П.3	Microsoft Office	
П.4	LMS Canvas	
П.5	MS Teams	
П.6	MATCAD	
П.7	AutoCAD	
П.8	Консультант Плюс	
6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных		
И.1	eLIBRARY.RU: http://elibrary.ru/	
И.2	Nano a natureresearch solution https://nano.nature.com	
И.3	SpringLink https://link.springer.com/	
И.4	Курс "Вакуумная и плазменная электроника" на платформе MLS "Canvas"	https://lms.misis.ru/login/ldap
И.5	Электронная библиотека МИСиС	http://elibrary.misis.ru/
И.6	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	window.edu.ru
И.7	ЭБС "Лань"	https://e.lanbook.co

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
К-502	Лаборатория	ускоритель тяжелых ионов HVE-350; генератор импульсов Г5-48; осциллограф С1-75 (2шт); дозиметр СОЭКС-01М прайм; тепловизор Flir i5, -20...250 0С (100*100); пирометр инфракрасный бесконтактный термометр ДТ-8858; ПК
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

К-505	Лаборатория	установка измерения удельного сопротивления 4-х зондовым методом (вольтметр В7-21А; вольтметр В7-77; источник питания Motech LPS-305, 4-х зондовая головка); установка измерения времени жизни н.н.з. (осциллограф С1-99, генератор Г5-54); установка измерения статических параметров ИС (измеритель Л2-41, вольтметр В7-21А); установка измерения пороговых ВАХ МДП-транзисторов (вольтметрВ7-21А, источник питания Motech LPS-305); установка измерения динамических параметров ИС (осциллографС1-96, генератор Г5-54, источник питания Motech LPS-305; печь для отжига полупроводниковых структур; ПК; пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели
-------	-------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу "Вакуумная и плазменная электроника".

Библиотека кафедр в электронном виде и на бумажном носителе.

Методические указания по выполнению расчетно-графической работы по теме: "Расчет зависимости тока эмиссии от температуры и внешнего электрического поля". Библиотека кафедры в электронном виде и на бумажном носителе.

При изучении дисциплины рекомендуется прорабатывать материал до проведения занятия, используя указанную литературу в разделе "Содержание", методические указания.

Все материалы по дисциплине: курс лекций по разделам, презентации, типовые вопросы и задачи, задание на выполнение РГР, методические указания по выполнению лабораторных работ, расчетно-графической работы, рекомендуемая литература,- приведены в соответствующем курсе на платформе MLS "Canvas".