

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

Институт электронной техники и машиностроения
Кафедра «Электронные приборы и устройства»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«Б.1.3.8.1 Физические основы криогенной электроники»

направления подготовки

11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (ЭЛНЭ)

Профиль - Электронные приборы и устройства

форма обучения – очная;
курс – 2;
семестр – 4;
зачетных единиц – 2;
часов в неделю – 2;
всего часов – 72;
в том числе:
лекции –18;
лабораторные занятия –18;
самостоятельная работа – 36;
зачет – 4 семестр.

1. Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины: изучение физических основ криогенной электроники, явления сверхпроводимости и основ физики сверхпроводников, включая кинетические и туннельные явления в сверхпроводниках микроструктурных объектов, ознакомление с актуальными задачами в сверхпроводниковой электронике.

Задачи изучения дисциплины: ознакомить с основными способами получения низких температур; сформировать умения проецировать полученные знания на вузовские курсы по физике; изложить методики определения основных параметров устройств микроэлектроники и наноэлектроники на базе сверхпроводниковых элементов; сформировать навыки работы с научной, научно-популярной литературой и ИНТЕРНЕТ-сайтами по выбранной области знания.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Физические основы электроники» является одной из естественнонаучных дисциплин при подготовке бакалавров по профилю «Электронные приборы и устройства». Дисциплина базируется на знании основ курсов: Физика (Б.1.1.6), Современные проблемы электроники наноэлектроники (Б.1.3.5.1).

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОПК-7).

Студент должен знать: основные способы получения низких температур; основы криогенной физики и физики сверхпроводников; кинетические и туннельные явления в сверхпроводниках; особенности измерения параметров электронных систем при криогенных температурах; физические механизмы, лежащие в основе работы сверхпроводниковых устройств.

Студент должен уметь: применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы приборов и устройств; обобщать знания, полученные при изучении программных курсов по физике и данного курса; работать с учебной, научно-популярной, монографической литературой и текущей научной информацией в изучаемой области; применять полученные знания для

объяснения принципов работы электронных приборов и устройств в области низких температур.

Студент должен владеть: методикой изложения на разном уровне физических основ криоэлектроники, информацией об областях применения и перспективах развития приборов и устройств; современными программными средствами их моделирования и проектирования; методами компьютерного проектирования и экспериментального исследования электронных приборов и устройств; информацией об областях применения и перспективах развития электронных приборов и устройств.

4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий

№ Модуля	№ Недели	№ Темы	Наименование темы	Часы					
				Всего	Лекции	Коллоквиумы	Лабораторные	Практические	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6 семестр									
1	1	1	Введение и общие вопросы	2	2				
1	2-5	2	Основы криогенной физики	22	4		6		12
2	6-12	3	Основы физики сверхпроводников	24	6		6		12
2	13-16	4	Актуальные задачи в сверхпроводниковой электронике	24	6		6		12
Всего				72	18		18		36

5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	Криоэлектроника в науке и технике. История развития физики низких температур. Открытие сверхпроводимости. Квантовый характер природы сверхпроводящего состояния. Открытие высокотемпературной сверхпроводимости. Особенности проявления макроскопических квантовых эффектов.	[1,3,6]

			Особенности работы сверхпроводниковых приборов микро и наноэлектроники.	
1	2	2	Основы криогенной физики. Способы получения низких температур. Ожижение газов, рефрижератор испарения, рефрижератор растворения, магнитное охлаждение. Измерение параметров электронных систем при криогенных температурах: измерение температуры, напряжений и токов, магнитных параметров и др. Физические эффекты при криогенных температурах: сверхпроводимость, туннельные явления, одноэлектронное туннелирование, магнитные свойства. Эффекты Джозефсона. Разогрев электронов в сверхпроводниках. Физические явления, позволяющие осуществить эффективное охлаждение электронных приборов и схем. Скачок Капицы.	[1,2,6]
2	2	3	Основы физики сверхпроводников. Общие свойства сверхпроводников. Основные положения теории БКШ. Теория Гинзбурга-Ландау. Нестационарное уравнение Гинзбурга-Ландау.	[1,3,4]
3	2	4	Кинетические явления в сверхпроводниках. Протекание через сверхпроводник незатухающего электрического тока. Критический ток Гинзбурга-Ландау. Электронная теплопроводность. Термоэлектрические явления. Поведение сверхпроводников в СВЧ поле. Поглощение ультразвука. Стимуляция сверхпроводимости. Параводимость. Протекание тока через границу нормальный металл-сверхпроводник. Андреевское отражение. Флуктуационные явления в сверхпроводниках	[3,4,6]
3	2	5	Туннельные явления. Туннельный контакт между сверхпроводниками. Туннельный контакт между нормальным металлом и сверхпроводником. Эффект Джозефсона. Эффект Джозефсона в магнитном поле. Эффект Джозефсона в переменном электромагнитном поле.	[3,5,6]
3	2	6	Резистивное состояние. Возникновение резистивного состояния. Иерархия времен релаксации в сверхпроводнике. Центры проскальзывания фазы. Флуктуационные явления вблизи критического тока. Скольжение магнитного потока.	[1,3,6]
4	2	7	Прикладная сверхпроводимость. Туннельные устройства при криогенных температурах: S-N, C-Sm, S-N-S, S-I-S – переходы и электронные устройства на их основе. Электронные устройства на эффекте Джозефсона. Интегральные технологии и изготовление джозефсоновских переходов. Детекторы, смесители, параметрические усилители.	[1,3,6]
4	2	8	Приемные комплексы миллиметрового диапазона волн. Стандарты Вольта. Устройства на основе одноэлектронного туннелирования. Одноэлектронные детекторы. Компьютер на сверхпроводниковых элементах. Современное состояние и перспективы.	[1,3,6]

4	2	9	Актуальные задачи в сверхпроводниковой электронике. Применение к задачам микроэлектроники на нанометровом уровне. Низкотемпературные твердотельные устройства. Охлаждаемые ДБШ, СВЧ – транзисторы. Современное состояние исследований и перспективы развития. Возможные пути развития криогенной электроники и ее использования в информационных технологиях. Однофотонные сверхпроводниковые детекторы. Сверхпроводниковые смесители. Ультранизкотемпературные детекторы электромагнитного излучения и заряженных частиц	[1,3,6]
---	---	---	---	---------

6. Содержание коллоквиумов

Не предусмотрены учебным планом.

7. Перечень практических занятий

Не предусмотрены учебным планом.

8. Перечень лабораторных работ

№ темы	Всего часов	№ лабораторной	Наименование лабораторной работы. Вопросы, отрабатываемые на лабораторном занятии	Методическое обеспечение
1	2	3	4	5
2	6	1	криоэлектроника: от "микро" к "нано"	[7]
3	6	2	Сверхпроводимость: физические принципы.	[7]
4	6	3	Устройства, использующие эффекты сверхпроводимости.	[7]

При проведении используются лабораторные базы филиалов кафедры. Методические указания приведены в соответствующем разделе ИОС [7]

9. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего Часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Методическое обеспечение
1	2	3	4
2	12	Нелинейные процессы в неравновесной сверхпроводимости. Квантовая теория сверхпроводникового туннельного смесителя. Электротермическая связь в приборах на основе разогрева электронов.	[1,3,4,6]
3	12	Высокотемпературные сверхпроводники. Электродинамика сверхпроводниковых структур. Сверхпроводимость нанотрубок.	[1,3,4]
4	12	СВЧ-устройства на основе эффекта Джозефсона. Физические основы техники достижения ультранизких температур.	[2,3,5]

Методические указания по самостоятельному изучению отдельных разделов дисциплины приведены в соответствующем разделе ИОС [7]

10. Расчетно-графическая работа

Не предусмотрена учебным планом.

11. Курсовая работа

Не предусмотрена учебным планом.

12. Курсовой проект

Не предусмотрен учебным планом.

13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

В процессе освоения образовательной программы формируются отдельные элементы компетенций: ОПК-7 способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности. Содержание лекционного курса и интерактивных практических занятий формируют на рассматриваемом этапе элементы компетенций в части, касающейся физических основ криогенной физики и физики сверхпроводников; особенности измерения параметров электронных систем при криогенных температурах; физических механизмов, лежащие в основе работы сверхпроводниковых устройств.

Процедура оценивания знаний, умений и навыков проводится в соответствии со следующими методическими материалами и заключается в проведении устного зачетного опроса в виде диалога преподавателя со студентом, цель которого – систематизация и уточнение имеющихся у студента знаний, проверка его индивидуальных возможностей усвоения материала; отчетов по лабораторным, для оценки способности студента применить полученные ранее знания для проведения анализа, опыта, а также составления выводов; подготовки студентом самостоятельно и под руководством преподавателя отчета, как способе проверки знаний, умений, навыков студента по пройденным темам изучаемого предмета.

Показателем оценивания степени усвоения знаний этого элемента компетенции, является оценка, полученная на зачете при ответе на вопросы для экзамена. Уровень освоения дисциплины «Физические основы криогенной электроники» обучающимися определяется следующими оценками: «зачтено», «не зачтено» и осуществляется путем анализа ответа на вопросы для зачета. При этом руководствуются следующими критериями.

Оценка	Критерии оценивания результатов обучения (дескрипторы)
Зачтено	заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением лабораторных работ, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Оценка "зачтено" выставляется обучающимся, допустившим погрешности в ответе на зачете и при выполнении лабораторных и творческих заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя
Не зачтено	выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой лабораторных работ. Оценка "не зачтено" ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании образовательного учреждения без дополнительных занятий по дисциплине «Физические основы криогенной электроники»

Умения и навыки, приобретенные студентом на этапе освоения указанной части компетенции (дисциплины «Физические основы криогенной электроники»), оцениваются по результатам выполнения предусмотренных учебным планом лабораторных работ, заданий на самостоятельную работу. Уровень освоения знаний этого элемента компетенции обучающимися определяется следующими оценками: «зачтено», «не зачтено». При этом руководствуются следующими критериями:

Оценка	Критерии оценивания результатов обучения
Зачтено	выставляется студенту, если задание выполнено в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности и самостоятельно, показывают необходимые для проведения работы теоретические знания, практические умения и навыки. Задание показывает знание учащихся основного теоретического материала и овладение умениями, необходимыми для самостоятельного выполнения работы. Оценка "зачтено" выставляется обучающимся, допустившим погрешности в при выполнении лабораторных заданий, не влияющие на правильность конечного результата, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя. Могут быть неточности и небрежность в

	оформлении результатов работы.
Не зачтено	выставляется, если студенты показывают плохое знание теоретического материала и отсутствие умения применить знания к решению практической задачи. Руководство и помощь со стороны преподавателя и хорошо подготовленных студентов неэффективны по причине плохой подготовки студента.

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине «Физические основы криогенной электроники» включает учет успешности выполнения лабораторных работ, самостоятельной работы и сдачи зачета.

Вопросы для зачета

1.Криоэлектроника в науке и технике. История развития физики низких температур. Открытие сверхпроводимости. Квантовый характер природы сверхпроводящего состояния. Открытие высокотемпературной сверхпроводимости. Особенности проявления макроскопических квантовых эффектов. Особенности работы сверхпроводниковых приборов микро и наноэлектроники.

2.Основы криогенной физики. Способы получения низких температур. Ожижение газов, рефрижератор испарения, рефрижератор растворения, магнитное охлаждение. Измерение параметров электронных систем при криогенных температурах: измерение температуры, напряжений и токов, магнитных параметров и др. Физические эффекты при криогенных температурах: сверхпроводимость, туннельные явления, одноэлектронное туннелирование, магнитные свойства. Эффекты Джозефсона. Разогрев электронов в сверхпроводниках. Физические явления, позволяющие осуществить эффективное охлаждение электронных приборов и схем. Скачок Капицы.

3. Основы физики сверхпроводников. Общие свойства сверхпроводников. Основные положения теории БКШ. Теория Гинзбурга-Ландау. Нестационарное уравнение Гинзбурга-Ландау.

4. Кинетические явления в сверхпроводниках. Протекание через сверхпроводник незатухающего электрического тока. Критический ток Гинзбурга-Ландау. Электронная теплопроводность. Термоэлектрические явления. Поведение сверхпроводников в СВЧ поле. Поглощение ультразвука. Стимуляция сверхпроводимости. Параводимость. Протекание тока через границу нормальный металл-сверхпроводник. Андреевское отражение. Флуктуационные явления в сверхпроводниках

5.Туннельные явления. Туннельный контакт между сверхпроводниками. Туннельный контакт между нормальным металлом и сверхпроводником. Эффект Джозефсона. Эффект Джозефсона в магнитном поле. Эффект Джозефсона в переменном электромагнитном поле.

6. Резистивное состояние. Возникновение резистивного состояния. Иерархия времен релаксации в сверхпроводнике. Центры проскальзывания фазы. Флуктуационные явления вблизи критического тока. Скольжение магнитного потока.

7. Прикладная сверхпроводимость. Туннельные устройства при криогенных температурах: S-N, C-Sm, S-N-S, S-I-S – переходы и электронные устройства на их основе. Электронные устройства на эффекте Джозефсона. Интегральные технологии и изготовление джозефсоновских переходов. Детекторы, смесители, параметрические усилители. Приемные комплексы миллиметрового диапазона волн. Стандарты Вольта. Устройства на основе одноэлектронного туннелирования. Одноэлектронные детекторы. Компьютер на сверхпроводниковых элементах. Современное состояние и перспективы.

8. Актуальные задачи в сверхпроводниковой электронике. Применение к задачам микроэлектроники на нанометровом уровне. Низкотемпературные твердотельные устройства. Охлаждаемые ДБШ, СВЧ – транзисторы. Современное состояние исследований и перспективы развития. Возможные пути развития криогенной электроники и ее использования в информационных технологиях. Однофотонные сверхпроводниковые детекторы. Сверхпроводниковые смесители. Ультранизкотемпературные детекторы электромагнитного излучения и заряженных частиц.

Вопросы для экзамена

Не предусмотрены учебным планом.

Тестовые задания по дисциплине

1. Способы получения низких температур.
2. Ожижение газов, рефрижератор испарения, рефрижератор растворения, магнитное охлаждение.
3. Условные температурные зоны в области криогенных температур
Физические эффекты при криогенных температурах: сверхпроводимость, туннельные явления, одноэлектронноетуннелирование, магнитные свойства.
4. Начала термодинамики
5. Эффекты Джозефсона.
6. Общие свойства сверхпроводников.
7. Фазовая диаграмма сверхпроводников 1-го и 2-го рода.
8. Изотопический эффект
9. Основные положения теории БКШ.
10. Термоэлектрические явления.
11. Туннельные явления.
12. Туннельный контакт между сверхпроводниками. между нормальным металлом и сверхпроводником.
13. Эффект Джозефсона.
14. Резистивное состояние.

15.Эффект Мейснера

16.Основные электронные приборы криогенной электроники

Оценка	Критерии
5	Студент верно ответил на 10 вопросов теста
4	Студент верно ответил на 8-9 вопросов теста,
3	Студент верно ответил на 5-7 вопросов теста,
2	Студент верно ответил не более, чем на 4 вопросов теста

14. Образовательные технологии

Лекционный курс читается с применением *информационно-коммуникационных образовательных технологий* (организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией). Изложение всего материала (*лекции-визуализации*) сопровождается презентациями (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических).

При проведении лабораторных работ наряду с *традиционными образовательными технологиями* (лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов) применяются *технологии проблемного обучения* (проведение практикумов - организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков) и *технологии проектного обучения* (выполнение творческих и информационных проектов).

15. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Шишкин Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Шишкин Г.Г., Агеев И.М.— Электрон.текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 409 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6462>.— ЭБС «IPRbooks»,
2. Расщепкин А.Н. Теплообменные аппараты низкотемпературной техники [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Расщепкин А.Н., Ермолаев В.А.— Электрон.текстовые данные.— Кемерово: Кемеровский

- технологический институт пищевой промышленности, 2012.— 169 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14393>.— ЭБС «IPRbooks»,
3. Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Гуртов В.А., Осауленко Р.Н.— Электрон.текстовые данные.— М.: Техносфера, 2012.— 560 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26903>.— ЭБС «IPRbooks»,

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

4. Кравченко В.Ф. Электродинамика сверхпроводящих структур. Теория, алгоритмы и методы вычислений [Электронный ресурс]/ Кравченко В.Ф.— Электрон.текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.— 271 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/24628>.— ЭБС «IPRbooks»
5. Антонов Ю.Ф. Сверхпроводниковые топологические электрические машины [Электронный ресурс]/ Антонов Ю.Ф., Данилевич Я.Б.— Электрон.текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.— 366 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17434>.— ЭБС «IPRbooks»,
6. Айнбиндер Р.М. Физика сверхпроводников. Вихревые структуры и токовое состояние в сверхпроводниках с планарными дефектами и гетероструктурах ферромагнетик – сверхпроводник II рода [Электронный ресурс]/ Айнбиндер Р.М.— Электрон.текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2014.— 89 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/19529>.— ЭБС «IPRbooks»,.

ИСТОЧНИКИ ИОС

7. Физические основы криогенной электроники. Режим доступа <https://portal3.sstu.ru/Facult/INETM/EPU/ELNE/B.1.3.8.1/default.aspx>. По паролю.

16. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для чтения лекций, проведения лабораторных работ: аудитории, оборудованные компьютерами, и ресурсы материально-технического и учебно-методического обеспечения.

Помещения для самостоятельной работы студентов: аудитории, оборудованные компьютерами с выходом в Интернет.

Информационное и учебно-методическое обеспечение: электронная библиотека СГТУ имени Гагарина Ю.А., электронная информационно-образовательная среда СГТУ имени Гагарина Ю.А.