

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович
Должность: Проректор по учебной и методической работе
Дата подписания: 11.09.2023 16:40:29
Уникальный программный ключ:
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной
и методической работе

_____ Б.В.Пекаревский

« 24 » декабря 2020 г.

Рабочая программа дисциплины
**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ
ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Направление подготовки
18.03.01 Химическая технология
Направленность программы бакалавриата
Химическая технология материалов и изделий электроники и наноэлектроники

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Факультет **Химии веществ и материалов**

Кафедра **Химической нанотехнологии и материалов электронной техники**

Санкт-Петербург

2020

Б1.В.ДВ.02.02

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		И. С. Бодалёв

Рабочая программа дисциплины «Физические основы процессов твердотельной микроэлектроники» обсуждена на заседании кафедры химической нанотехнологии и материалов электронной техники

протокол от 15.12.2020 № 4

Заведующий кафедрой ХНиМЭТ

профессор А.А. Малыгин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов

протокол от 17.12.2020 № 4

Председатель

доцент С.Г. Изотова

СОГЛАСОВАНО

Руководитель ООП «Химическая технология»		доцент М.В. Рутто
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник УМУ		С.Н. Денисенко

СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	5
3. Объем дисциплины	5
4. Содержание дисциплины	6
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	6
4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины	6
4.3. Занятия лекционного типа	7
4.4. Занятия семинарского типа.....	8
4.4.1. Семинары, практические занятия	8
4.4.2. Лабораторные занятия	8
4.5. Самостоятельная работа обучающихся	9
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	9
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	9
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины	10
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	10
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	11
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	11
10.1. Информационные технологии	11
10.2. Программное обеспечение.....	11
10.3. Базы данных и информационные справочные системы	12
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	12
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья	12
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	13

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Для освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p>ПК-5 Способен использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения научно-исследовательских, технологических и проектных задач в своей профессиональной деятельности</p>	<p>ПК-5.4 Способен использовать знания физических процессов, протекающих в изделиях полупроводниковой электроники для решения научно-исследовательских и технологических задач</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - особенности зонной структуры основных полупроводников (ЗН-1); - типы и роль примесей в полупроводниках, методы описания мелких и глубоких примесных состояний (ЗН-2); - типы и механизмы рекомбинации носителей заряда в полупроводниках (ЗН-3); - характеристики контакта «металл – полупроводник» и p–n-перехода (ЗН-4). <p>Уметь пользоваться основными формулами для оценок параметров полупроводниковых материалов и простейших полупроводниковых приборов (биполярные транзисторы, МОП-структуры и барьеры Шоттки) (У-1).</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физические основы процессов твердотельной микроэлектроники» относится к элективным дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы бакалавриата (Б1.В.ДВ.02.02) и изучается на четвертом году обучения в восьмом семестре.

Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, полученных при изучении дисциплин «Физика», «Физическая химия твердого тела», «Технология материалов электронной техники».

Полученные в процессе освоения дисциплины знания и умения могут быть использованы в научно-исследовательской работе студента бакалавриата, а также при выполнении ВКР по тематике, связанной с разработкой и внедрением материалов электронной техники и смежных отраслей промышленности.

3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
Общая трудоемкость дисциплины (зачетных единиц / академических часов)	4 / 144
Контактная работа с преподавателем:	56
занятия лекционного типа	26
занятия семинарского типа, в т.ч.	26
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	26 (6)
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	–
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	4
другие виды контактной работы	-
Самостоятельная работа	52
Формы текущего контроля	-
Форма промежуточной аттестации	экзамен (36)

4. Содержание дисциплины

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Основные понятия твердотельной микроэлектроники	2	–	–	–	ПК-5
2	Собственная и примесная электропроводность полупроводников. Зонные диаграммы	10	12	–	20	ПК-5
3	Полупроводниковые переходы и контакты «полупроводник – металл»	8	12	–	20	ПК-5
4	Полупроводниковые диоды: принцип работы, классификация, технология изготовления	2	–	–	–	ПК-5
5	Биполярные и полевые транзисторы	4	2	–	12	ПК-5
ИТОГО		26	26	–	52	

4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1	ПК-5.4	<p>Основные понятия твердотельной микроэлектроники</p> <p>Собственная и примесная электропроводность полупроводников. Зонные диаграммы</p> <p>Полупроводниковые переходы и контакты «полупроводник – металл»</p> <p>Полупроводниковые диоды: принцип работы, классификация, технология изготовления</p> <p>Биполярные и полевые транзисторы</p>

4.3. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	Основные понятия твердотельной микроэлектроники. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Сопротивление, электропроводность, подвижность, закон Ома в интегральной и дифференциальной форме. Электроны и дырки. Основные виды полупроводниковых приборов и краткая история их изобретения.	2	Лекция-беседа
2	Собственная и примесная электропроводность полупроводников. Зонные диаграммы. Динамика электронов в кристалле. Обратная решётка, фазовое пространство. Зона Бриллюэна. Импульс, волновое число и энергия электрона. Энергетические уровни и зоны. Плотность энергетических уровней. Вероятность заполнения энергетического уровня. Распределение Ферми – Дирака. Уровень Ферми. Собственная и примесная электропроводность. Собственные и примесные уровни, ловушки. Донорные, акцепторные, компенсированные, вырожденные полупроводники. Температурная зависимость электропроводности и положения уровня Ферми. Истощение примеси.	10	Лекция-беседа
3	Полупроводниковые переходы и контакты «полупроводник – металл». Р–п-переход: симметричный, несимметричный. Зонная диаграмма, распределение носителей заряда, профиль потенциала. Область пространственного заряда, область обеднения. Диффузионный и дрейфовый токи. Прямое и обратное смещение. Вентильное свойство. Вольт-амперная характеристика (уравнение Шокли). Пробой: лавинный, туннельный, тепловой. Ёмкость. Гетеропереходы. Пространственное разделение электронов и дырок. Сверхрешётки. Переход «полупроводник – металл»: различные сочетания работ выхода и типа проводимости полупроводника. Поверхностные энергетические состояния, обогащение и обеднение основными носителями, инверсия типа проводимости.	8	Лекция-беседа
4	Полупроводниковые диоды: принцип работы, классификация, технология изготовления. Выпрямительный диод. Схемы выпрямления. Туннельный диод. Обращённый диод. Диод Шоттки. Варикап. Стабилитрон. Стабистор. Схемы стабилизации напряжения.	2	Лекция-беседа
5	Биполярные и полевые транзисторы. Биполярный транзистор. Тиристор. Полевой транзистор с управляющим р–п-переходом, с изолированным затвором, с индуцированным и встроенным каналом. Схемы усиления. Схемы логических элементов.	4	Лекция-беседа

4.4. Занятия семинарского типа

4.4.1. Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в т.ч. на практическую подготовку	
2	Собственная и примесная электропроводность полупроводников. Зонные диаграммы. Построение элементарной ячейки кристалла. Расчёт концентрации атомов и электронных состояний. Построение зоны Бриллюэна и расчёт её параметров. Построение распределения электронных состояний по энергиям. Расчёт энергии Ферми. Построение распределения Ферми – Дирака и распределения электронов по энергиям, определение уровня Ферми и электропроводности при различных температурах.	12	–	Разбор конкретных ситуаций
3	Полупроводниковые переходы и контакты «полупроводник – металл». Построение зонной диаграммы p–n-перехода, распределения носителей заряда по его толщине, профиля потенциала, определение толщины области пространственного заряда, ёмкости перехода. Расчёт диффузионного и дрейфового тока, построение вольт-амперной характеристики. Построение зонных диаграмм гетероперехода и перехода «полупроводник – металл», определение высоты потенциальных барьеров и типа перехода «полупроводник – металл» (выпрямляющий или омический). Расчёт плотности поверхностных состояний.	12	4	Разбор конкретных ситуаций
5	Биполярные и полевые транзисторы. Расчёт входных и выходных характеристик. Построение схем логических элементов.	2	2	Разбор конкретных ситуаций

4.4.2. Лабораторные занятия

Учебным планом не предусмотрены.

4.5. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	Построение элементарной ячейки кристалла. Расчёт концентрации атомов и электронных состояний. Построение зоны Бриллюэна и расчёт её параметров. Построение распределения электронных состояний по энергиям. Расчёт энергии Ферми. Построение распределения Ферми – Дирака и распределения электронов по энергиям, определение уровня Ферми и электропроводности при различных температурах.	20	Письменное решение задачи
3	Построение зонной диаграммы p–n-перехода, распределения носителей заряда по его толщине, профиля потенциала, определение толщины области пространственного заряда, ёмкости перехода. Расчёт диффузионного и дрейфового тока, построение вольт-амперной характеристики. Построение зонных диаграмм гетероперехода и перехода «полупроводник – металл», определение высоты потенциальных барьеров и типа перехода «полупроводник – металл» (выпрямляющий или омический). Расчёт плотности поверхностных состояний.	20	Письменное решение задачи
5	Расчёт входных и выходных характеристик, рабочих режимов. Построение схем логических элементов.	12	Письменное решение задачи

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

1. Володин, В.А. Физические основы микроэлектроники: лекции и задачи / В.А.Володин, А.А.Блошкин. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2019. – 214с.
2. Глазачёв, А. В. Физические основы электроники / А. В. Глазачёв, В. П. Петрович. – Томск : ТПУ, 2015. – 224 с.
3. Линч, П. Задачи по физической электронике : (с решениями и комментариями) / П.Линч, А.Николайдес. - Москва : Мир, 1975. - 264 с.
4. Кравченко, А.Ф. Физические основы функциональной электроники : учебное пособие для вузов / А.Ф.Кравченко. - Новосибирск : Изд-во Новосибирского ун-та, 2000. - 442 с.
5. Ежовский, Ю.К. Физико-химические основы технологии материалов электронной техники: учебное пособие / Ю.К.Ежовский. - Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2007. - 124 с.

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («зачтено») освоения предусмотренных элементов компетенций. Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце 8 семестра в виде экзамена в устной форме. К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Результаты экзамена включаются в приложение к диплому.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Примеры вопросов, предлагаемых на экзамене:

1. Устройство полупроводникового диода.
2. Устройство МДП-транзистора.
3. Зонная диаграмма собственного, примесного, вырожденного полупроводника.

7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

а) печатные издания:

1. Ежовский, Ю.К. Физико-химические основы технологии материалов электронной техники: учебное пособие / Ю.К.Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии материалов и изделий электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2007. – 127 с.
2. Зебрев, Г.И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники: Учебное пособие / Г.И. Зебрев.- Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.- 240 с. - ISBN 978-5-9963-0181-2
3. Кравченко, А.Ф. Физические основы функциональной электроники : учебное пособие для вузов / А.Ф.Кравченко. - Новосибирск : Изд-во Новосибирского ун-та, 2000. - 442 с. - ISBN 5-7615-0489-8

б) электронные издания:

1. Ежовский, Ю.К. Физико-химические основы технологии материалов электронной техники: учебное пособие / Ю.К.Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии материалов и изделий электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2007. – 127 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
2. Зебрев, Г.И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники: Учебное пособие / Г.И. Зебрев.- 4-е изд.- Москва : Лаборатория знаний, 2020.- 243 с. - ISBN 978-5-00101-830-8 // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: по подписке.
3. Шишкин, Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г.Г.Шишкин, И.М.Агеев. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 411 с. - ISBN 978-5-00101-731-8 // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: по подписке.
4. Щука, А.А. Нанoeлектроника: Учебное пособие / А.А.Щука; Под ред. А.С.Сигова. - 5-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 345 с. - ISBN 978-5-00101-730-1 // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: по подписке.

8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины

1. Учебный план, РПД и учебно-методические материалы - media.technolog.edu.ru
2. ЭБ «Библиотех» СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
3. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет; ЭБС «Лань»

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

1. СТО СПбГТИ(ТУ) 026-2016. Положение о бакалавриате./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2016.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 38 с.
2. СТП СПбГТИ 040-02. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.07.2002.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2002.- 7 с.
3. СТО СПбГТИ(ТУ) 018-2014. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2014.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 16 с.
4. СТП СПбГТИ 048-2009. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2010.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.- 6 с.
5. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.

В ходе лекционных занятий студенту необходимо готовить конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Провести проверку терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Аудиторная часть курса должна сопровождаться интенсивной самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет по всем разделам дисциплины. Планирование времени для изучения дисциплины необходимо осуществлять на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо в рамках внеаудиторной самостоятельной работы регулярно дополнять сведениями из литературных источников, приведенных в разделе 7 настоящей программы. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения следующих разделов учебной дисциплины. Для расширения и углубления знаний по учебной дисциплине необходимо активно использовать информационные ресурсы сети Интернет.

Для работы на практических занятиях необходимы: проработка рабочей программы, уделив особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины, и конспектирование источников, а также изучение конспекта лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам и просмотр рекомендуемой литературы.

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце 8 семестра в виде экзамена в устной форме. К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

10.1. Информационные технологии.

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций, видеоматериалов;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

10.2. Программное обеспечение.

Представление лекционного материала и проведение практических занятий:

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

MS PowerPoint 97 и выше

10.3. Базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБ «Библиотех» СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
2. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет; ЭБС «Лань»

11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Реализация программы учебной дисциплины не предполагает наличия специализированного учебного кабинета при условии соответствия учебных кабинетов санитарным нормам, а их оборудования – изложенным ниже требованиям:

1. Учебная аудитория на 25 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.

Практические занятия проводятся в учебном кабинете, отвечающем санитарным нормам, а его оборудование – следующим требованиям:

1. Учебная аудитория на 25 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.

12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допущенные по медицинским показаниям к обучению по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология, изучают дисциплину в полном объеме. Учебный процесс осуществляется в соответствии с «Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ФГБОУ ВПО СПбГТИ(ТУ)», утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине
«Физические основы процессов твердотельной микроэлектроники»**

1. Перечень компетенций и этапов их формирования.

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
ПК-5	Способен использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения научно-исследовательских, технологических и проектных задач в своей профессиональной деятельности	промежуточный

2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-5.4 Способен использовать знания физических процессов, протекающих в изделиях полупроводниковой электроники для решения научно-исследовательских и технологических задач	Знает особенности зонной структуры основных полупроводников (ЗН-1)	Ответы на вопросы №№ 1–4 к экзамену	Может сформулировать основные определения и физические законы по теме билета, нарисовать зонную диаграмму, график дисперсионного соотношения	Может пояснить физический смысл определений, физических законов по теме билета, величин на графиках	Может ответить на дополнительные вопросы по смежной теме
	Знает типы и роль примесей в полупроводниках, методы описания мелких и глубоких примесных состояний (ЗН-2)	Ответы на вопросы №№ 5–8 к экзамену	Может сформулировать основные определения, физические законы по теме билета, проиллюстрировать их зонными диаграммами	Может количественно описать влияние примесей на свойства и зонную структуру полупроводника	Может ответить на дополнительные вопросы по смежной теме
	Знает типы и механизмы рекомбинации носителей заряда в полупроводниках (ЗН-3)	Ответы на вопросы №№ 9–12 к экзамену	Может качественно описать процессы генерации и рекомбинации носителей заряда в полупроводнике, проиллюстрировать их зонными диаграммами	Может количественно описать процессы генерации и рекомбинации носителей заряда в полупроводнике	Может ответить на дополнительные вопросы по смежной теме

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Знает характеристики контакта «металл – полупроводник» и р–п-перехода (ЗН-4)	Ответы на вопросы №№ 13–16 к экзамену	Может сформулировать основные свойства р–п-перехода, перехода «металл – полупроводник», проиллюстрировать их зонными диаграммами	Может описать и объяснить поведение р–п-перехода, перехода «металл – полупроводник» во внешнем поле, соотнести его с областями применения	Может ответить на дополнительные вопросы по смежной теме
	Умеет пользоваться основными формулами для оценок параметров полупроводниковых материалов и простейших полупроводниковых приборов (биполярные транзисторы, МОП-структуры и барьеры Шоттки) (У-1)	Ответы на вопросы №№ 17–20 к экзамену	Умеет использовать определения и формулы по теме билета	Может пояснить физический смысл и взаимосвязь величин в формулах	Может ответить на дополнительные вопросы по смежной теме

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация проводится в форме **экзамена**. Критерии оценивания – «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично» приведены в таблице 2.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если ответ студента не передает содержание проблемы, не демонстрирует умение выделять главное, существенное, ответ носит краткий, неглубокий, поверхностный характер.

3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-5

1. Зонные диаграммы. Переход от электронных уровней к энергетическим зонам. Плотность энергетических уровней и распределение электронов по ним. Уровень Ферми.
2. Обратная решётка. Зона Бриллюэна. Дисперсионное соотношение. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.
3. Определение энергии Ферми через фазовое пространство и соотношение неопределённостей Гейзенберга.
4. Особенности зонных диаграмм кремния, германия, арсенида галлия в координатах «волновое число – энергия».
5. Собственная и примесная электропроводность полупроводников. Акцепторные и донорные примеси, их влияние на концентрацию носителей заряда. Компенсированные полупроводники.
6. Зонная структура примесного полупроводника. Зависимость электропроводности и положения уровня Ферми от температуры. Истощение примеси.
7. Мелкие, глубокие, водородоподобные примеси, их влияние на зонную диаграмму.
8. Нахождение уровня Ферми при заданной концентрации донорных и акцепторных примесей.
9. Генерация и рекомбинация носителей заряда в собственном полупроводнике. Темп генерации и рекомбинации. Равновесная концентрация носителей заряда, её температурная зависимость.
10. Генерация и рекомбинация носителей заряда в примесном полупроводнике. Темп генерации и рекомбинации. Равновесная концентрация носителей заряда, её температурная зависимость. Истощение примеси.
11. Излучательная и безызлучательная рекомбинация носителей заряда. Участие мелких и глубоких примесных центров в процессах рекомбинации.
12. Механизмы рассеяния электронов в полупроводнике.
13. Строение р–n-перехода. Профили распределения носителей заряда, потенциала, электрической напряжённости в зависимости от наличия и направления внешнего поля. Область пространственного заряда, область обеднения.
14. Дрейфовый и диффузионный токи. Основные уравнения, зависимость от внешнего поля. Инжекция и экстракция носителей заряда.
15. Вентильное свойство и вольт-амперная характеристика р–n-перехода. Уравнение Шокли. Выпрямительный диод. Виды пробоя р–n-перехода.
16. Переход «полупроводник – металл». Работа выхода электрона. Омические и выпрямляющие переходы, их вольт-амперные характеристики. Диод Шоттки.
17. Закон Ома в интегральной и дифференциальной форме. Сопrotивление, электропроводность, подвижность носителей заряда (электронов и дырок).
18. Биполярный транзистор. Устройство, принцип действия, основные характеристики, область применения.
19. Полевой транзистор с управляющим р–n-переходом. Устройство, принцип действия, основные характеристики, область применения.
20. Полевой транзистор с изолированным затвором (МДП-транзистор). МЕР-транзистор. Устройство, принцип действия, основные характеристики, область применения.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена, студент получает 2 вопроса из перечня, приведенного выше.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы – до 30 мин.

4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

1. Положение о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в СПбГТИ(ТУ) (Утв. Приказом ректора СПбГТИ(ТУ) от 12.12.2014 № 463).

2. СТО СПбГТИ(ТУ) 026-2016. Положение о бакалавриате./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2016.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 38 с.

3. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.