

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана РФФ

_____ А.Г. Кортаев

24 июня 2016 г.

Рабочая программа дисциплины

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

Профиль подготовки

Радиофизика, электроника и информационные системы

Квалификация (степень) выпускника

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Томск – 2016

1. Код и наименование дисциплины

Б1.В.ДВ.05.03.04 – Оптические свойства полупроводников.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Относится к дисциплинам по выбору вариативной части ООП, входит в модуль «Твердотельная электроника», обязательна для изучения.

3. Год и семестр обучения

Третий год, шестой семестр.

4. Входные требования для освоения дисциплины

Наличие у студента компетенций, сформированных при освоении дисциплин: «Математический анализ», «Физика», «Введение в физику полупроводников».

5. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа, из которых 46 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (46 часов – семинарские занятия), 98 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Формат обучения

Очный.

7. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1, II уровень	Знать виды и механизмы поглощения и излучения света в полупроводниках (Шифр: З(ОПК-1)-II).
ОПК-2, II уровень	Уметь анализировать, структурировать и интерпретировать оптические спектры поглощения и излучательной рекомбинации полупроводниковых материалов, а также определять характеристики материала (Шифр: У(ОПК-2)-II).

8. Содержание дисциплины и структура учебных видов деятельности

Таблица 8.1

№	Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)	Самостоятельная работа (час.)
			Семинары	
1	Оптические характеристики вещества	18	6	12
2	Собственное поглощение	22	10	12
3	Примесное поглощение	18	8	10
4	Поглощение и отражение света свободными носителями	18	8	10
5	Люминесценция	32	14	18
6	Подготовка к экзамену	36		36
	Итого	144	46	98

Содержание разделов дисциплины

Таблица 8.2

№	Раздел дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Оптические характеристики вещества	Оптические постоянные среды: показатель преломления и поглощения; коэффициенты поглощения, отражения и пропускания. Связь между оптическими постоянными. Соотношения Крамерса – Кронига. Основы классической и квантовой теорий дисперсии оптических постоянных.
2	Собственное поглощение	Виды поглощения света в полупроводниках. Собственное поглощение. Вероятность межзонных оптических переходов. Прямые и не прямые, разрешенные и запрещенные переходы. Правила отбора. Край собственного поглощения в прямозонных и непрямоzonных полупроводниках. Функция оптической плотности. Влияние внешних полей на край собственного поглощения. Осцилляционное магнитопоглощение. Эффект Франца-Келдыша. Определение параметров полупроводника из спектров собственного поглощения.
3	Примесное поглощение	Энергетический спектр и волновые функции водородоподобных примесных состояний. Виды примесного поглощения. Влияние легирования на край собственного поглощения. Эффект Бурштейна-Мосса. Хвосты плотности состояний.
4	Поглощение и отражение света свободными носителями	Неселективное поглощение света. Плазменный и диамагнитный резонансы. Эффект Фарадея. Селективное поглощение света.

5	Люминесценция	Виды люминесценции в полупроводниках. Излучательная рекомбинация «зона-зона». Темп излучательной рекомбинации. Время жизни. Теория Ван-Русбрека-Шокли. Зависимость времени жизни от температуры и уровня Ферми. Спектры излучательной рекомбинации. Примесная излучательная рекомбинация. Межпримесная излучательная рекомбинация на донорно-акцепторных парах.
---	---------------	---

9. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Учебно-методическое обеспечение к дисциплине для самостоятельной работы студента составляют:

- перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы (см. ФОС к дисциплине);
- основная и дополнительная учебная литература (см. Ресурсное обеспечение);
- информационные ресурсы в сети Интернет (см. Ресурсное обеспечение).

Для эффективного освоения дисциплины студентам рекомендуется:

- изучение теоретического материала по учебникам (2 часа в неделю);
- написание кратких конспектов по материалам учебников (1 час в неделю);
- регулярная подготовка к занятиям (2 часа в неделю);
- накануне следующего занятия вспомнить материал предыдущего (15 минут);
- выполнять задания последовательно и в соответствии с методическими рекомендациями преподавателя.

10. Форма промежуточной аттестации и фонд оценочных средств, включающий:

- перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, и их карты (см. ФОС к дисциплине);
- темы семинарских занятий (см. ФОС к дисциплине);
- вопросы к экзамену по дисциплине (см. ФОС к дисциплине);
- вопросы теста для оценки остаточных знаний по дисциплине (см. ФОС к дисциплине);
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения (см. ФОС к дисциплине).

Форма промежуточной аттестации – экзамен в шестом семестре.

11. Ресурсное обеспечение

Основная учебная литература

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебник / К. В. Шалимова. - Изд. 4-е, стер. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2016. – 390 с.
2. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников : [учебное пособие для вузов по физическим и техническим направлениям и специальностям] / А.И. Ансельм. - Изд. 4-е, стер. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2016. - 618 с.
3. Физические основы полупроводниковой фотоэлектроники: учебное пособие: [для студентов вузов / А.В. Войцеховский, И.И. Ижнин, В.П. Савчин, Н.М. Вакив; Томский гос. ун-т. - Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2013. - 559 с. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000464340>

Дополнительная литература

1. Войцеховский А.В. Оптика полупроводников: учебное пособие / А.В. Войцеховский, А.С. Петров, Г.И. Потахова; под ред. А. С. Петрова; Том. гос. ун-т им. В.В. Куйбышева. - Томск: Издательство Томского университета, 1987. - 221 с.
URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000087782>
2. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников / Ю.И. Уханов; Под ред. В.М. Тучкевича. - М. : Наука, 1977. - 366 с.
3. Ю П. Основы физики полупроводников / Питер Ю, Мануэль Кардона ; пер. с англ. И.И. Решиной ; под ред. Б.П. Захарчени. - 3-е изд. - Москва: Физматлит, 2002. - 560 с.
URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000163251/000163251.pdf>
4. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках / Ж. Панков ; пер. с англ. под ред. Ж.И. Алферова, В.С. Вавилова. - Москва: Мир, 1973. - 456 с.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет

1. Меркулов И.А. Оптика полупроводников: курс лекций [Электрон. ресурс] / Образовательные программы ФТИ им. Иоффе. – Электрон. дан. – URL: http://www.ioffe.ru/sol/pdf/Merkulov_lectures.pdf, доступ свободный.
2. Физические основы полупроводниковой оптоэлектроники. (Ермаков О.Н., Пихтин А.Н. и др.) . – URL: http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_491570
3. Гермогенов В.П., Вячистая Ю.В. Материалы, структуры и приборы полупроводниковой оптоэлектроники [Электрон. ресурс]: учебно-методический комплекс. – Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2012. – URL: <http://edu.tsu.ru/eor/resource/787/tpl/index.html> доступ свободный.
4. Новые полупроводниковые материалы: Характеристики и свойства [Электрон. ресурс] // Интернет-сайт ФТИ им А.Ф.Иоффе РАН, 1998-2001. – URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroduction.html>, доступ свободный.

Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Мультимедиа презентации с использованием пакетов MS Office.

Описание материально-технической базы

Освоение дисциплины обеспечено наличием компьютерного класса с выходом в сеть Интернет и мультимедийного оборудования для подготовки презентаций по темам семинарских занятий.

Для самостоятельной работы в сети Интернет и поиска научно-технической информации на радиофизическом факультете НИ ТГУ есть также компьютерные классы с рабочими местами, имеющими необходимое программное обеспечение.

12. Язык преподавания

Русский

13. Преподаватель – кандидат физ.-мат. наук Новиков Вадим Александрович.

Автор – кандидат физ.-мат. наук Новиков Вадим Александрович.

Рецензент – кандидат физ.-мат. наук, доцент Д.В. Григорьев.

Программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии радиофизического факультета 16 июня 2016 года, протокол № 6-1/16.

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП

_____ В.П. Гермогенов

20 июня 2016 г.

**Фонд оценочных средств
для изучения учебной дисциплины**

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Направление подготовки
03.03.03 Радиофизика

Профиль подготовки
Радиофизика, электроника и информационные системы

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина

В результате освоения дисциплины «Оптические свойства полупроводников» у обучающегося формируются следующие компетенции:

- ОПК-1, II уровень:

Знать фундаментальные положения, модели и закономерности изучаемой предметной области – Шифр: З(ОПК-1)-II.

- ОПК-2, II уровень:

Уметь анализировать, структурировать, интерпретировать и транслировать учебную информацию, давать пояснения и отвечать на вопросы по изложенному материалу в данной предметной области – Шифр: У(ОПК-2)-II.

2. Карты компетенций

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

КОМПЕТЕНЦИЯ ОПК-1: способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Общепрофессиональная компетенция выпускника программы бакалавриата «**Радиофизика, электроника и информационные системы**» по направлению подготовки **03.03.03 «Радиофизика»**.

ВХОДНОЙ УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ:

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы бакалавриата, должен:

ЗНАТЬ: основные понятия, закономерности, законы, теории, терминологию и символику курсов математики и физики в соответствии с предметными базовыми уровнями ФГОС СОО.

УМЕТЬ: применять полученные знания, проводить доказательные рассуждения, находить способы решения различных задач, моделировать реальные ситуации, исследовать построенные модели, интерпретировать полученный результат.

ВЛАДЕТЬ: основами логического, алгоритмического и математического мышления; методами доказательств и алгоритмами решения.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ОПК-1 И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции)	Критерии оценивания результатов обучения				
		1	2	3	4	5
Продвинутый уровень (ОПК-1)-П.	ЗНАТЬ: фундаментальные положения, модели и закономерности изучаемой предметной области – Шифр: 3(ОПК-1)-П.	Отсутствие знаний.	Фрагментарные знания механизмов поглощения, существующих в полупроводниковых материалах.	Неполные знания механизмов поглощения, существующих в полупроводниковых материалах и процессов люминесценции.	Хорошее знание оптических свойств полупроводников, но с отдельными пробелами в понимании механизмов протекающих процессов.	Сформированные и систематические знания видов и механизмов поглощения и излучения света в полупроводниках.

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

КОМПЕТЕНЦИЯ ОПК-2: Способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Общепрофессиональная компетенция выпускника программы бакалавриата «**Радиофизика, электроника и информационные системы**» по направлению подготовки **03.03.03 «Радиофизика»**.

ВХОДНОЙ УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ:

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы бакалавриата, должен:

ПОНИМАТЬ: роль самостоятельной образовательной деятельности как одного из условий успешной профессиональной и общественной деятельности.

УМЕТЬ: ориентироваться в различных источниках информации, критически оценивать и интерпретировать информацию, использовать средства ИКТ в решении когнитивных задач в соответствии с метапредметными результатами освоения ФГОС СОО.

ВЛАДЕТЬ: навыками самостоятельной информационно-познавательной, учебно-исследовательской и проектной деятельности.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ОПК-2 И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции)	Критерии оценивания результатов обучения				
		1	2	3	4	5
Продвинутый уровень (ОПК-2)-II.	УМЕТЬ: анализировать, структурировать, интерпретировать и транслировать учебную информацию, давать пояснения и отвечать на вопросы по изложенному материалу в данной предметной области – Шифр: У(ОПК-2)-II.	Отсутствие умений	Фрагментарное умение анализировать оптические спектры поглощения полупроводниковых материалов.	Слабое умение анализировать, структурировать и интерпретировать оптические спектры поглощения полупроводниковых материалов.	В целом уверенное умение анализировать, структурировать и интерпретировать оптические спектры поглощения и излучательной рекомбинации полупроводниковых материалов.	Умение анализировать, структурировать и интерпретировать оптические спектры поглощения и излучательной рекомбинации полупроводниковых материалов, а также определять характеристики материала.

3. Этапы формирования компетенций

Этапы формирования компетенций	Виды занятий	Формируемые компетенции	Способы оценивания
Знакомство с основными механизмами поглощения и излучения света в полупроводниковых материалах.	семинары, самостоятельная работа	З (ОПК-1)-II, У (ОПК-1)-II	Коллоквиум
Анализ и интерпретация спектров поглощения и излучения.	семинары, самостоятельная работа	З (ОПК-1)-II, У (ОПК-1)-II	Опросы на семинарах
Подготовка к промежуточной аттестации	самостоятельная работа	З (ОПК-1)-II, У (ОПК-1)-II	Устный экзамен

4. Оценочные средства

4.1. Контрольные вопросы для самостоятельной работы

1. Какие виды процессов поглощения в полупроводниках существуют?
2. Какое поглощение в полупроводниках называется собственным?
3. В чем отличие прямых и непрямых оптических переходов?
4. Чему равняется минимальная энергия фотона, необходимая для перехода электрона из валентной зоны на “пустой” уровень водородоподобного донора?
5. Что называется спектром излучательной рекомбинации (люминесценции)?
6. Как зависит время жизни при межзонной излучательной рекомбинации от степени легирования полупроводника – от уровня Ферми?
7. Какова зависимость коэффициента поглощения от энергии электромагнитной волны для разрешенных и запрещенных прямых оптических переходов?
8. Суть эффекта Франца-Келдыша.
9. Какие параметры могут быть извлечены из спектра поглощения?
10. Что такое оже-рекомбинация?

4.2. Темы семинарских занятий

1. Классическая и квантовая теории дисперсии оптических постоянных.
2. Зависимость края собственного поглощения в непрямозонных полупроводниках от температуры.
3. Эффект Франца-Келдыша.
4. Зависимость края собственного поглощения света в алмазоподобных полупроводниках от внешних полей.
5. Примесное поглощение света в полупроводниках.
6. Плазменный резонанс. Плазмоны.
7. Эффект Бурштейна-Мосса.
8. Селективное поглощение света на свободных носителях.
9. Эффект Фарадея.
10. Определение параметров полупроводника из спектров собственного поглощения.
11. Спектры излучательной рекомбинации «зона-зона» в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
12. Зависимость времени жизни носителей заряда при излучательной рекомбинации «зона-зона» от температуры и степени легирования.

4.3. Перечень вопросов к экзамену

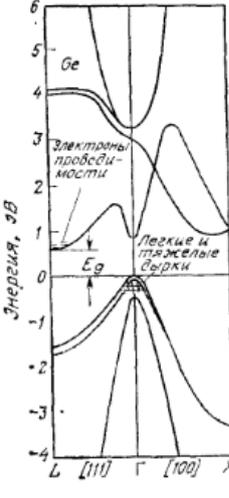
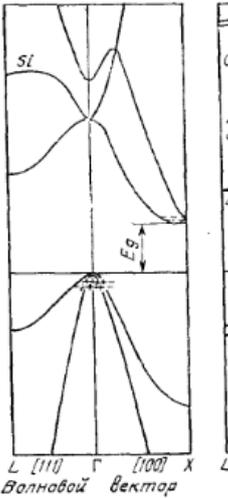
1. Оптические постоянные среды: показатель преломления и поглощения, коэффициент поглощения. Коэффициенты отражения и пропускания.
2. Коэффициент пропускания света через пластинку с учетом многократного отражения. Закон Бугера.
3. Связь оптических и электрических коэффициентов твердого тела. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Формулы Крамерса-Кронига.
4. Собственное поглощение света в полупроводниках. Прямые и непрямые, разрешенные и запрещенные оптические переходы. Правила отбора.
5. Край собственного поглощения в прямозонных полупроводниках. Функция оптической плотности состояний. Дисперсия коэффициента поглощения в случае разрешенных и запрещенных оптических переходов.
6. Край собственного поглощения в непрямозонных полупроводниках. Дисперсия коэффициента поглощения. Зависимость пороговой частоты от температуры.
7. Темп межзонной излучательной рекомбинации. Время жизни избыточных носителей заряда при межзонной излучательной рекомбинации.

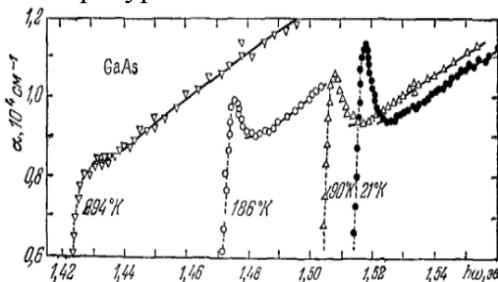
8. Зависимость времени жизни межзонной излучательной рекомбинации от уровня Ферми.

9. Спектры межзонной излучательной рекомбинации в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Эффект термализации неравновесных носителей заряда.

10. Примесная излучательная рекомбинация в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.

4.4. Вопросы теста для оценки остаточных знаний по дисциплине

№	Вопрос	Варианты ответа
1	<p>Какое из изображений зонной диаграммы описывает прямозонный полупроводник?</p>	<p>а)  б)  в) </p>
2	<p>Какая из функций описывает зависимость коэффициента поглощения от энергии фотона для разрешенных прямых оптических переходов?</p>	<p>а) $\alpha \sim (h\nu - E_g)^{1/2}$. б) $\alpha \sim (h\nu - E_g)^{3/2}$. в) $\alpha \sim (h\nu - E_g)^2$. г) $\alpha \sim (h\nu - E_g)$.</p>
3	<p>Какая особенность проявляется на спектрах поглощения (рисунок ниже) GaAs при понижении температуры?</p>	<p>а) непрямые оптические переходы. б) оптические переходы с участием примесного уровня. в) экситонное поглощение. г) затрудняюсь ответить.</p>
4	<p>Какие из перечисленных механизмов поглощения не приводят к увеличению удельной электропроводности полупроводникового материала?</p>	<p>а) решеточное поглощение. б) поглощение свободными носителями заряда. в) примесное поглощение. г) межзонное (собственное) поглощение. д) внутризонное поглощение. е) экситонное поглощение. ж) плазменное поглощение.</p>
5	<p>Какие из приведенных механизмов рекомбинации реализуются в прямозонных полупроводниках?</p>	<p>а) излучательная рекомбинация. б) безызлучательная рекомбинация. в) оже-рекомбинация.</p>



		г) затрудняюсь ответить.
6	На что тратится энергия фотона в результате межзонного (собственного) поглощения?	а) образование связанной электронно-дырочной пары. б) испускание или поглощение фонона. в) образование свободных носителей заряда. г) затрудняюсь ответить.
8	Непрямой оптический переход - это	а) переход электрона из валентной зоны в зону проводимости. б) переход электрона из валентной зоны в зону проводимости с испусканием или поглощением фонона. в) переход электрона из валентной зоны на примесный уровень. г) затрудняюсь ответить.
9	Какие особенности содержит край собственного поглощения непрямозонного полупроводника?	а) области поглощения с испусканием и поглощением фонона. б) области поглощения с испусканием фонона, с поглощением фонона, а также прямые оптические переходы. в) области поглощения: с испусканием фонона, прямые оптические переходы, решеточное поглощение. г) затрудняюсь ответить.
10	Каким выражением описывается темп излучательной рекомбинации?	а) $r = \gamma np$ б) $r = \gamma n_i^2$ в) $r = \gamma(n + p)$ г) затрудняюсь ответить * где n , p – концентрации взаимодействующих электронов и дырок, γ – вероятность излучательного перехода.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков

5.1. Текущая аттестация

Текущая аттестация по первой части курса проводится в виде коллоквиума, результаты которого учитываются при проведении устного экзамена. Оценка коллоквиума формируется на основании критериев оценивания из соответствующих карт компетенций (см. таблицу 5.1).

Таблица 5.1 – Формирование оценки результатов коллоквиума

Оценка	Критерии оценивания из карт компетенций	
	З(ОПК-1)-II.	У(ОПК-2)-II.
Отлично	5	5
Хорошо	5	4
	4	5
	4	4
Удовлетворительно	4÷5	3
	3	4÷5
	3	3

Неудовлетворительно	Все остальные варианты
---------------------	------------------------

Текущая аттестация по семинарским занятиям проводится в виде заслушивания выступлений студентов по темам семинарских занятий и устных опросов. Оценка аттестации формируется на основании критериев оценивания из соответствующих карт компетенций (см. таблицу 5.2)

Таблица 5.2 – Текущая аттестация по семинарским занятиям

Оценка	Критерии оценивания из карт компетенций	
	З(ОПК-1)-П.	У(ОПК-2)-П.
Аттестован	3÷5	3÷5
Не аттестован	Все остальные варианты	

5.2. Промежуточная аттестация по дисциплине

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме устного экзамена по теоретическому материалу. К экзамену допускаются только студенты, успешно прошедшие текущую аттестацию по семинарским занятиям.

Каждый билет для устного экзамена состоит из двух теоретических вопросов по двум темам дисциплины. В качестве дополнительных вопросов на устном экзамене используются контрольные вопросы, предлагаемые для самостоятельной работы обучающегося.

Оценка успеваемости студента формируется в соответствии с таблицей 5.3.

Таблица 5.3 – Промежуточная аттестация по дисциплине

Оценка	Критерии оценивания из карт компетенций	
	З(ОПК-1)-П.	У(ОПК-2)-П.
Отлично	5	5
Хорошо	5	4
	4	5
	4	4
Удовлетворительно	4÷5	3
	3	4÷5
	3	3
Неудовлетворительно	Все остальные варианты	