Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный университет»

Факультет физико-технический

учебной работе,
образования – первый
проректор
_____ Хагуров Т.А.
2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.05.01 Квантовая электроника

Направление подготовки 03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль): Радиофизические методы по областям применения (биофизика)

Программа подготовки академическая

Форма обучения очная

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

Краснодар 2021

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат:
4E23D21DF7CC6DF6D9D04D6AEAE74F342DA725D9
Владелец: Хагуров Темыр Айтечевич
Действителен: с 13.05.2021 до 13.08.2022

Рабочая программа дисциплины «Квантовая электроника» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика.

Программу составил:
Г.Ф. Копытов, профессор кафедры радиофизики
и нанотехнологий ФТФ КубГУ, доктор физ.-мат. наук

Рабочая программа дисциплины «Электроника СВЧ»
утверждена на заседании кафедры радиофизики и нанотехнологий
протокол № 6 «20» апреля 2020 г.
Заведующий кафедрой (разработчика) Копытов Г.Ф.

подпись

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры
радиофизики и нанотехнологий
протокол № 6 «20» апреля 2020 г.
Заведующий кафедрой (выпускающей) Копытов Г.Ф.

подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии
физико-технического факультета
протокол № 9 «20» апреля 2020 г.
Председатель УМК факультета Богатов Н.М.

подпись

Рецензенты:

Гаврилов А.И., доцент кафедры физики КубГТУ, канд. физ.-мат. наук

Исаев В.А., заведующий кафедрой теоретической физики и компьютерных технологий КубГУ, д-р физ.-мат. наук

1. Цели и задачи изучения дисциплины (модуля).

1.1 Цель освоения дисциплины: формирование компетенций, связанных со знанием принципов работы, технологией изготовления и методами эксплуатации современной радиоэлектронной и оптоэлектронной аппаратуры в инфокоммуникационных технологиях и системах связи, формирование компетенций, связанных подготовкой студентов в области элементной базы систем оптической связи.

1.2 Задачи дисциплины: научить студентов принципам работы, методам проектирования, изготовления и эксплуатации оптоэлектронных элементов, сетей и средств связи; заключаются в изучении физических основ, устройства, принципов действия, характеристик и параметров важнейших приборов и устройств, используемых в оптических системах связи. К их числу относятся квантовые генераторы и усилители, оптические модуляторы и дефлекторы, фотодиоды и фотоприёмные устройства, устройства, основанные на использовании нелинейной оптики, голографии, а также интегральной оптики.

В результате изучения настоящей дисциплины студенты получат знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и являющиеся фундаментом для изучения ряда последующих специальных дисциплин и практической работы.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.01 « Квантовая электроника» относится к вариативной части Блока 1 "Дисциплины (модули)" учебного плана.

«Электричеству и магнетизму», «Физике полупроводников» и «Радиоэлектронике». Освоение дисциплины необходимо для изучения «Схемотехники», и других дисциплин.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся профессиональных компетенций (ПК-1, ПК-32)

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	**уметь**	**владеть**
1.	ПК-1	готовностью содействовать внедрению перспективных технологий и стандартов	принципы оптоэлектронного преобразования и физические основы работы оптоэлектронных и квантовых приборов для оптических сетей и систем связи. принципы оптоэлектронного преобразования и физические основы работы оптоэлектронных и квантовых приборов для оптических сетей и систем связи.	применять полученные теоретические знания к практическому взаимодействию с объектами оптоэлектронной техники для обработки и передачи информации в оптических системах связи. применять полученные теоретические знания к практическому взаимодействию с объектами оптоэлектронной техники для обработки и передачи информации в оптических и волоконно-оптических системах связи.	навыками практической работы с макетами различных лазеров и фотоприёмников. навыками эксплуатации современных оптоэлектронных и волоконно-оптических системах связи.

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	**уметь**	**владеть**
2	ПК-32	способностью готовить техническую документацию на ремонт и восстановление работоспособности инфокоммуникационного оборудования	физические основы оптоэлектронных и квантовых приборов; -устройство, особенности, основные характеристики и параметры изучаемых приборов; -основы нелинейной оптики; -параметры основных излучателей и фотоприёмников в телекоммуникациях принципы работы, основные свойства и технологию изготовления элементной базы средств и сетей оптической и волоконно-оптической связи.	критически и обоснованно подходить к выбору различных оптоэлектронных и квантовых приборов и устройств для конкретных схем оптической связи, сопоставляя особенности используемых материалов и параметры приборов собирать и анализировать информацию для формирования исходных данных для проектирования средств и сетей оптической связи и их элементов. собирать и анализировать информацию для формирования исходных данных для проектирования средств и сетей оптической связи и их элементов.	навыками эксплуатации современной физической, технологической и оптоэлектронной аппаратуры оптических систем и сетей связи.

2. Структура и содержание дисциплины.

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 зач.ед. (216 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице *(для студентов ОФО).*

Вид учебной работы		Всего часов	Семестры (часы)
			7
Контактная работа, в том числе:			
Аудиторные занятия (всего):		**128**	**128**
Занятия лекционного типа		48	48
Лабораторные занятия		64	64
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)		16	16
		-	-
Иная контактная работа:			
Контроль самостоятельной работы (КСР)		4	4
Промежуточная аттестация (ИКР)		0,5	0,5
Самостоятельная работа, в том числе:		**47,8**	**47,8**
Курсовая работа		-	-
Проработка учебного (теоретического) материала		40	40
Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)		-	-
Реферат		-	-
Подготовка к текущему контролю		7,8	7,8
Контроль:			
Подготовка к зачету		-	-
Подготовка к экзамену		35,7	35,7
Общая трудоемкость	**час.**	**216**	**216**
	в том числе контактная работа	**132,5**	**132,5**
	зач. ед.	**6**	**6**

2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы дисциплины, изучаемые в 7 семестре *(очная форма)*

№	Наименование разделов	Количество часов					
		Всего	Аудиторная работа			КСР	Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР		СРС
1.	Физические основы и особенности квантовых приборов	16	8		6	0,2	2
2.	Оптические резонаторы и селекция мод	22	8		12	0,3	2
3.	Типы и режимы работы лазеров	24	8	2	12	0,3	2
4.	Оптоэлектроника, предметы изучения оптоэлектроники, основы оптоэлектроники.	4	2			0,3	2
5.	Физические основы и принцип действия полупроводниковых светоизлучающих диодов (СИД).	5,8	2			0,3	3,8
6.	Физические основы работы полупроводниковых лазерных диодов (ЛД). Области применения полупроводниковых лазеров.	14	4	2	4	0,3	4
7.	Фотоприемники, принцип работы фотоприемников. Классификация фотоприемников, используемых в оптоэлектронике. ФЭП.	12	2	2	4	0,3	4
8.	Оптические среды. Элементы волоконной и интегральной оптики. Типы волоконных световодов и методы их изготовления	12	2	2	4	0,3	4
9.	Интегральная оптика функциональные и прикладные аспекты. Элементная база интегральной оптики, области использования и преимущества интегральной оптики.	6	2			0,3	4
10.	Оптроны, их классификация, свойства и области применения.	6	2			0,3	4
11.	Физические основы модуляции света, способы осуществления модуляции оптического излучения в оптоэлектронике.	12	2	2	4	0,3	4

12.	Материалы подложек интегрально-оптических схем. Технология изготовления интегрально-оптических волноводов и волноводных структур на поверхности подложек.	14	2	2	6	0,2	4
13.	Методы изготовления интегрально-оптических волноводов и волноводных структур в подложках.	14	2	2	6	0,3	4
14.	Изготовление интегрально-оптических элементов методом электростимулированной миграции ионов.	14	2	2	6	0,3	4
	Итого по дисциплине:	179,8	48	16	64	4	47,8

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента

2.3 Содержание разделов дисциплины:

2.3.1 Занятия лекционного типа.

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Физические основы и особенности квантовых приборов	Виды квантовых переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Инверсная населённость. Ширина спектральной линии. Взаимодействие бегущих волн с активной средой. Закон Бугера. Условия усиления и генерации колебаний в квантовых системах. Излучательная рекомбинация пар электрон-дырка в светодиодах. Затухание люминесценции. Безызлучательная рекомбинация в объёме материала. Конкуренция между излучательной и безызлучательной рекомбинацией.	Анкетирование, опрос, практические задания

2.	Оптические резонаторы и селекция мод	Оптические резонаторы (ОР). Структуры электрических полей. Схемы ОР. Резонаторы типа Фабри-Перо. Плотность оптических мод в одномерном резонаторе. Гауссовы пучки. Геометро-оптическое рассмотрение устойчивых резонаторов и неустойчивых резонаторов. Интегральное уравнение открытого резонатора. Селекция продольных и поперечных мод.	Анкетирование, опрос, практические задания
3.	Типы и режимы работы лазеров	Теоретические основы. Трёх- и четырёхуровневые лазеры. Нелинейность лазеров. Оптимальная обратная связь. Характеристики и параметры. Когерентные и некогерентные излучатели. Импульсные режимы. Синхронизация мод. Модуляция добротности.	Анкетирование, опрос, практические задания
4.	Оптоэлектроника, предметы изучения оптоэлектроники, Основы оптоэлектроники.	Шкала электромагнитных колебаний и область в ней, которую использует оптоэлектроника. Электроны и фотоны как носители информации. Принципы оптоэлектронного преобразования. Классификация источников света и требования к ним в оптоэлектронике.	Ответы на контрольные вопросы и задания.
5.	Физические основы и принцип действия полупроводниковых светоизлучающих диодов (СИД).	Физические основы и принцип действия инжекционных источников света. Спектральные характеристики СИД. Вольтамперные характеристики СИД. Конструкции СИД и их диаграммы направленности. Применение СИД в устройствах отображения знако-буквенной информации. Светодиодные модули для работы с волоконно-оптическими линиями связи.	Ответы на контрольные вопросы и задания.
6.	Физические основы работы полупроводниковых лазерных диодов (ЛД). Области применения полупроводниковых лазеров.	Условия генерации лазерным диодом (ЛД) когерентного излучения, условие инверсионной населенности. Коэффициент усиления и его связь с параметрами ЛД. Квантовая эффективность и к.п.д. лазера. Ватт-амперная характеристика и ее описание. Применение лазеров в принтерах и CD-ROM. Лазеры в медицинской диагностической аппаратуре.	Ответы на контрольные вопросы и задания.

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
7.	Фотоприемники, принцип работы фотоприемников. Классификация фотоприемников, используемых в оптоэлектронике.	Физические основы работы фотоприемников. Классификация фотонных детекторов. Вольтамперные характеристики фоторезисторов. Фотовольтаические приемники и преобразователи солнечной энергии. Типовые структуры быстродействующих pin фотодиодов. Спектральные характеристики фотоприемников.	Ответы на контрольные вопросы и задания.
8.	Оптические среды. Элементы волоконной и интегральной оптики. Конструкции и типы волоконных световодов.	Оптические среды. Элементы волоконной и интегральной оптики. Физические основы прохождения излучения через волоконный световод. Типы и конструкции световодов, характеристики их потерь, входная и числовая апертура. Прохождение излучения через световоды с градиентными профилями показателя преломления. Передача нерегулярной и регулярной информации через жгуты световодов. Элементы конструкций волоконно-оптического кабеля. Применение световодов в ВОЛС, медицине и обработке информации. Световодные моды. Оценка числа мод. Условие для одномодового световода.	Ответы на контрольные вопросы и задания. Написание реферата.
9.	Интегральная оптика функциональные и прикладные аспекты. Элементная база интегральной оптики, области использования и преимущества интегральной оптики.	Интегральная оптика функциональные и прикладные аспекты. Типы диэлектрических микроволноводов. Особенность распространения излучения в диэлектрическом микроволноводе	Ответы на контрольные вопросы и задания.

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
10	Оптроны, их классификация, свойства и области применения.	Элементарный оптрон как структурный элемент микро- и оптоэлектроники. Схемные конфигурации элементарных оптронов. Оптрон с прямой оптической связью. Применение оптронов в цифровых и аналоговых схемах, устройствах коммутации, дешифраторах, преобразователях кодов.	Ответы на контрольные вопросы и задания.
11	Физические основы модуляции света, способы осуществления модуляции оптического излучения в оптоэлектронике.	Основы модуляции оптических сигналов, физические основы электрооптического эффекта. Электрооптические модуляторы и переключатели сигналов. Физические основы построения и конструкции акустооптических модуляторов. Физические основы построения акустооптических переключателей оптических сигналов. Магнитооптические эффекты и принципы построения модуляторов и переключателей света.	Ответы на контрольные вопросы и задания.
12	Материалы подложек интегрально-оптических схем. Технология изготовления интегрально-оптических волноводов и волноводных структур на поверхности подложек.	Материалы, используемые для подложек интегрально-оптических схем. Гибридный и монолитный подход. Кристаллохимическое описание строения стекол. Возможности использования стекол в качестве подложек оптических интегральных схем. Ниобат и танталат лития и их применение в интегральной оптике и оптоэлектронике. Технология изготовления планарных интегрально-оптических волноводов на поверхности подложки.	Ответы на контрольные вопросы и задания. Написание реферата.
13	Методы изготовления интегрально-оптических волноводов и волноводных структур в подложках.	Методы изготовления планарных интегрально-оптических волноводов в подложках. Физические основы изготовления оптических волноводов методом твердотельной диффузии. Физические основы изготовления оптических волноводов методом ионного обмена.	Ответы на контрольные вопросы и задания.

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
14	Изготовление интегрально-оптических элементов методом электростимулированной миграции ионов.	Изготовление интегрально-оптических элементов методом электростимулированной миграции ионов. Физические основы создания волноводов методом электростимулированной миграции ионов. Интегральные микролинзы и матрицы микролинз, их свойства, методы изготовления и применение.	Ответы на контрольные вопросы и задания.

2.3.2 Занятия семинарского типа.

№	Наименование раздела	Тематика практических занятий (семинаров)	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Типы и режимы работы лазеров	Когерентные и некогерентные излучатели. Импульсные режимы. Синхронизация мод.	Анкетирование, опрос, практические задания
2.	Физические основы и принцип действия полупроводниковых светоизлучающих диодов (СИД).	Физические основы и принцип действия инжекционных источников света. Требования к материалам для светоизлучаюших диодов. Спектральные характеристики, конструкции и диаграммы направленности СИД.	Ответы на контрольные вопросы и задания; контрольные работы; практические задания; тестирование.
3.	Физические основы работы полупроводниковых лазерных диодов (ЛД). Области применения полупроводниковых лазеров.	Принцип работы, условие инверсионной населённости, коэффициент усиления, квантовая эффективность, к.п.д., ваттамперная характеристика. РОС и РБОлазеры. Применение лазеров в принтерах и оптических дисках. Лазеры в медицинской и диагностической аппаратуре.	Ответы на контрольные вопросы и задания; контрольные работы; практические задания; тестирование.

4.	Фотоприемники, принцип работы фотоприемников. Классификация фотоприемников, используемых в оптоэлектронике.	Физические основы работы ФП. Классификация фотонных детекторов. Фоторезисторы. Фотодиоды. Вольтамперные характеристики ФП. Спектральные характеристики фотоприёмников. Фотовольтаические приёмники и преобразователи солнечной энергии. Pinфотодиоды. Лавинные фотодиоды. Принцип действия и устройство фото-ПЗС.	Ответы на контрольные вопросы и задания; контрольные работы; практические задания; тестирование.
5.	Оптические среды. Элементы волоконной и интегральной оптики. Конструкции и типы волоконных световодов.	Принцип работы световодов. Основные характеристики световодов. Механизм образования мод. Многомодовые и одномодовые световоды. Изготовление оптических кварцевых волокон. Применения световодов: эндоскопы, датчики физических величин.	Ответы на контрольные вопросы и задания; контрольные работы; практические задания; тестирование.
6.	Физические основы модуляции света, способы осуществления модуляции оптического излучения в оптоэлектронике.	Основы модуляции оптических сигналов, физические основы электрооптического эффекта. Электрооптические модуляторы и переключатели сигналов. Выполнение математических операций с помощью модуляторов оптических сигналов.	Ответы на контрольные вопросы и задания; контрольные работы; практические задания; тестирование.
7.	Материалы подложек интегрально-оптических схем. Технология изготовления интегрально-оптических волноводов и волноводных структур на поверхности подложек.	Технология осаждения металлических, диэлектрических и полупроводниковых пленок. Термическое вакуумное нанесение диэлектрических пленок. Ионно-плазменные методы осаждения пленок, диодная, триодная, высокочастотная схемы. Реактивное нанесение диэлектрических пленок. Эпитаксия, виды эпитаксии, методы проведения эпитаксии.	Подготовка докладов и выступление по теме изучаемого раздела.
8.	Методы изготовления интегрально-оптических волноводов и волноводных структур в подложках.	Физические основы изготовления оптических волноводов методом твердотельной диффузии. Физические основы изготовления оптических волноводов методом ионного обмена. Имплантация ионов, уменьшение концентрации носителей электрического тока в полупроводниках, волноводы, получаемые электрооптическим эффектом.	Подготовка докладов и выступление по теме изучаемого раздела.

9.	Изготовление интегрально-оптических элементов методом электростимулированной миграции ионов.	Физические основы создания волноводов методом электростимулированной миграции ионов. Способы проведения миграции ионов с втеклах под действием электрического поля. Интегральные микролинзы и матрицы микролинз, их свойства, методы изготовления и применение.	Подготовка докладов и выступление по теме изучаемого раздела.

2.3.3 Лабораторные занятия.

№	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	3	4
1.	Исследование импульсного режима лазера	Отчёт по выполненной работе
2.	Исследование непрерывного режима лазера	Отчёт по выполненной работе
3.	Изучение режима модуляции добротности лазера	Отчёт по выполненной работе
4.	Исследование температурной зависимости длины волны полупроводникового излучателя	Отчёт по выполненной работе
5.	Исследование характеристик полупроводниковых излучателей.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания
6.	Фотоэлектрические преобразователи.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания
7.	Электрооптические модуляторы.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания

8.	Акустооптические модуляторы.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания
9.	Основы оптических измерений элементов интегральных микросхем и интегральной оптики.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания
10.	Термическое вакуумное нанесение металлических пленок.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания
11.	Изучение основ фотолитографии.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания
12.	Изготовление планарных градиентных волноводов в стеклах методом ионного обмена из расплава соли.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания
13.	Изготовление канальных волноводов методом электростимулированной миграции ионов из расплава соли.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания
14.	Изготовление и исследование зонных пластинок Френеля.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания

15.	Изготовление и исследование матриц микролинз.	Отчёт по выполненной работе, ответы на контрольные вопросы и задания

Защита лабораторной работы (ЛР), выполнение курсового проекта (КП), курсовой работы (КР), расчетно-графического задания (РГЗ), написание реферата (Р), эссе (Э), коллоквиум (К), тестирование (Т) и т.д.

2.3.4 Примерная тематика курсовых работ (проектов) Курсовые работы не запланированы.

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1	Проработка учебного (теоретического) материала	Игнатов А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства: Учеб. пособие. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 272 с. Галуцкий В.В. Оптоэлектронные и квантовые приборы в телекоммуникационных системах : практикум / Галуцкий, Валерий Викторович, Строганова, Елена Валерьевна, Яковенко, Николай Андреевич ; В. В. Галуцкий, Е. В. Строганова, Н. А. Яковенко ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Кубанский гос. ун-т. - Краснодар : [Кубанский государственный университет], 2013. - 135 с. : ил. Библиогр.: с. 134. - ISBN 9785820909948. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. - СПб.: Лань, 2011. - e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=684
		Оптоэлектроника. Ч. 1: Физические основы полупроводниковой оптоэлектроники. Когерентная оптоэлектроника / О. Н. Ермаков, А. Н. Пихтин, Ю. Ю. Протасов, С. А. Тарасов ; под общ. ред. И. Б. Федорова. - М. : Янус-К, 2010. - 699 с. Оптоэлектроника. Ч. 2: Оптроника / О. Н. Ермаков ; А. Н. Пихтин, Ю. Ю. Протасов, С. А. Тарасов ; под общ. ред. И. Б. Федорова. - М. : Янус-К, 2011. - 611 с.

2	Подготовка к практическим занятиям	Игнатов А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства: Учеб. пособие. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 272 с. Галуцкий В.В. Оптоэлектронные и квантовые приборы в телекоммуникационных системах : практикум / Галуцкий, Валерий Викторович, Строганова, Елена Валерьевна, Яковенко, Николай Андреевич ; В. В. Галуцкий, Е. В. Строганова, Н. А. Яковенко ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Кубанский гос. ун-т. - Краснодар : [Кубанский государственный университет], 2013. - 135 с. : ил. Библиогр.: с. 134. - ISBN 9785820909948. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. - СПб.: Лань, 2011. - e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=684 Никитин В. А. Электростимулированная миграция ионов в интегральной оптике / В. А. Никитин, Н. А. Яковенко. 3-е изд. доп. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2013. 245 с. Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2008. – 400 с. Физические технологии интегральной оптики: лабораторный практикум / В. А. Никитин, Н. А. Яковенко, А. С. Левченко Краснодар, 2013. – 134 с.
3	Подготовка к выполнению лабораторных работ	Игнатов А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства: Учеб. пособие. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 272 с. Галуцкий В.В. Оптоэлектронные и квантовые приборы в телекоммуникационных системах: практикум / Галуцкий, Валерий Викторович, Строганова, Елена Валерьевна, Яковенко, Николай Андреевич; В. В. Галуцкий, Е. В. Строганова, Н. А. Яковенко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Кубанский гос. ун-т. - Краснодар: [Кубанский государственный университет], 2013. - 135 с.: ил. Библиогр.: с. 134. - ISBN 9785820909948. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. - СПб.: Лань, 2011. - e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=684 Никитин В. А. Электростимулированная миграция ионов в интегральной оптике / В. А. Никитин, Н. А. Яковенко. 3-е изд. доп. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2013. 245 с. Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2008. – 400 с. Физические технологии интегральной оптики: лабораторный практикум / В. А. Никитин, Н. А. Яковенко, А. С. Левченко Краснодар, 2013. – 134 с.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

– в печатной форме увеличенным шрифтом, – в форме электронного документа,

Для лиц с нарушениями слуха:

– в печатной форме,

– в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в печатной форме,

– в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

3. Образовательные технологии.

Для проведения лекционных и практических занятий используются мультимедийные средства воспроизведения активного содержимого (компьютеры, проекторы, интерактивные презентации, тренировочные тесты, моделирование работы оптоэлектронных устройств), позволяющие воспринимать особенности изучаемой профессии.

Семестр	Вид занятия	Образовательные технологии	Количество часов
7	Лекции	Интерактивная лекция с мультимедийной системой.	48
	Практические работы	Индивидуальное выполнение практических заданий.	16
	Лабораторные занятия	Индивидуальное выполнение лабораторных заданий.	64
Итого:			128

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля.

Оперативный контроль осуществляется путем проведения компьютерных опросов студентов по окончании изучения тем учебной дисциплины. При проведении оперативного контроля могут использоваться контрольные вопросы к разделам:

Раздел 1.

Приведите примеры и обоснуйте требования к основным приборам и системам оптической связи.

Выведите соотношения для коэффициентов Эйнштейна спонтанных и вынужденных переходов.

Выведите соотношение для форм-фактора линии: для Гауссовой и для Лоренцевой. Укажите примеры, когда линия излучения описывается ими.

Рассчитайте равновесную населённость для двухуровневой системы при комнатной температуре, в случае одинаковой и различной кратности вырождения уровней, разделённых энергетическими зазорами 10, 1 эВ.

Выведите усиления и генерации колебаний в квантовых системах.

Можно ли создать квантовый усилитель в двухуровневой системе? Выведите формулу для сечения поглощения.

Раздел 2.

Разъясните, чем вызван переход к резонаторам открытого типа в случае колебаний оптических частот.

Выведите условие для устойчивого резонатора и неустойчивого.

Разъясните преимущества их использования. Выражение для ёмкостного сопротивления.

Проанализируйте распределение энергии электромагнитного поля в резонаторе в случае продольной и поперечной моды.

Разъясните, чем определяется расходимость лазерного пучка в резонаторе.

Раздел 3.

Расскажите, что такое положительная и отрицательная обратная связь. Их преимущества и случаи, когда они применяются.

Выведите условия для баланса амплитуд излучения в оптическом генераторе. Как оно зависит от типа резонатора: проходного и отражательного?

Выведите условие резонанса для фаз. Что происходит, если инвертируемая резонансная линия шире расстояния между соседними резонансами?

Во сколько раз квантовая мощность входных шумов квантового усилителя на основе трёхуровневой схемы превышает эту величину в случае четырёхуровневой схемы при всех прочих равных условиях?

Выведите выражение для огибающей интенсивности излучения в случае синхронизации нескольких мод одинаковой интенсивности.

Раздел 4.

Разъясните, чем будет определяться выбор лазерного усилителя для задачи значительного сокращения длительности импульса излучения.

Выведите выражение для квази- синхронизма на регулярных доменных структурах.

Перечислите требования, предъявляемые к полупроводниковым источникам излучения в телекоммуникациях.

Разъясните, чем объясняется необходимость применения полупроводнико-вых структур с квантовыми ямами.

Перечислите основные характеристики светоизлучающих диодов

Каким образом изменение рабочей температуры будет влиять на характеристики СИД?

Разъясните термин «эквивалентная мощность темновых шумов» и «обнаружительная способность» фотоприёмника. Как

они взаимосвязаны?

1. Шкала электромагнитных колебаний и область в ней, которую использует оптоэлектроника.
2. Электроны и фотоны как носители информации.

1. Принципы оптоэлектронного преобразования.
2. Классификация источников света и требования к ним в оптоэлектронике.
3. Физические основы и принцип действия инжекционных источников света.
4. Конструкции типовых светоизлучающих диодов (СИД).
5. Коэффициент инжекции и его связь с характеристиками материалов, входящих в структуру p-n-перехода СИД.
6. Спектральные характеристики СИД.
7. Вольтамперные характеристики СИД. Температурные зависимости излучения СИД.
8. Конструкции СИД и их диаграммы направленности.
9. Применение СИД в устройствах отображения знако-буквенной информации.
10. Светодиодные модули для работы с волоконно-оптическими линиями связи.
11. Условия генерации лазерным диодом (ЛД) когерентного излучения, условие инверсионной населенности.
12. Коэффициент усиления и его связь с параметрами ЛД.
13. Квантовая эффективность и к.п.д. лазера.
14. Ватт-амперная характеристика и ее описание.
15. Характеристики резонатора Фабри-Перо.
16. Применение лазеров в принтерах и оптических дисках. Лазеры в медицинской диагностической аппаратуре.
17. Физические основы работы фотоприемников (ФП).
18. Классификация фотонных детекторов.
19. Фоторезисторы (ФР).
20. Фотодиоды (ФД).
21. Вольтамперные характеристики ФР.
22. Фотовольтаические приемники и преобразователи солнечной энергии.
23. Типовые структуры быстродействующих pin фотодиодов.
24. Спектральные характеристики фотоприемников.
25. Принцип действия и устройство ФОТО-ПЗС. Оптические среды. Элементы волоконной и интегральной оптики.
26. Физические основы прохождения излучения через волоконный световод.
27. Типы и конструкции световодов, характеристики их потерь, входная и числовая апертура.
28. Прохождение излучения через световоды с градиентными профилями показателя преломления.
29. Светопропускание прямого световода с прямыми торцами.
30. Передача нерегулярной и регулярной информации через жгуты световодов. Элементы конструкций волоконно-оптического кабеля.
31. Основные методы изготовления единичных световодов и жгутов световодов. Применение световодов в ВОЛС, медицине и обработке информации.
32. Интегральная оптика функциональные и прикладные аспекты.
33. Типы диэлектрических микроволноводов.
34. Особенность распространения излучения в диэлектрическом микроволноводе.
35. Элементарный оптрон как структурный элемент микро- и оптоэлектроники.
36. Схемные конфигурации элементарных оптронов.

37. Оптрон с прямой оптической связью. Применение оптронов в цифровых и аналоговых схемах, устройствах коммутации, дешифраторах, преобразователях кодов.
38. Кристаллохимическое описание строения стекол. Возможности использования стекол в качестве подложек оптических интегральных схем.
39. Кварцевое стекло, его свойства и возможности применения в интегральной оптике
40. Ниобат и танталат лития и их применение в интегральной оптике и оптоэлектронике.
41. Технология изготовления планарных интегрально-оптических волноводов на поверхности подложки.
42. Термическое вакуумное нанесение плёнок. Преимущества и недостатки метода.
43. Ионно-плазменное напыление тонких плёнок. Диодная и триодная схемы. Преимущества и недостатки использования этих схем.
44. Магнетронное распыление плёнок.
45. Высокочастотное и реактивное распыление плёнок.
46. Эпитаксия. Виды эпитаксии и способы проведения эпитаксии.
47. Методы изготовления планарных интегрально-оптических волноводов в подложках.
48. Физические основы изготовления оптических волноводов методом твердотельной диффузии.
49. Физические основы изготовления оптических волноводов методом ионного обмена.
50. Материалы, применяемые при изготовлении оптических волноводов методом твердотельной диффузии и ионного обмена. Свойства получаемых волноводов.
51. Получение интегрально-оптических волноводов имплантацией ионов и их свойства.
52. Получение интегрально-оптических волноводов с помощью уменьшения концентрации носителей и электрооптического эффекта.
53. Технология изготовления интегрально-оптических канальных волноводов.
54. Фотолитография. Последовательность операций в процессе фотолитографии.
55. Виды фоторезистов и способы их нанесения. Основные параметры фоторезистов.
56. Изготовление интегрально-оптических элементов методом электростимулированной миграции ионов.
57. Физические основы создания волноводов методом электростимулированной миграции ионов

58. Основы модуляции оптических сигналов, физические основы электрооптического эффекта.
59. Электрооптические модуляторы и переключатели сигналов.
60. Выполнение математических операций с помощью модуляторов оптических сигналов.
61. Физические основы построения и конструкции акустооптических модуляторов.
62. Физические основы построения акустооптических переключателей оптических сигналов.
63. Магнитооптические эффекты и принципы построения модуляторов и переключателей света.
64. Световодные моды. Оценка числа мод. Условие для одномодового световода. Различные типы световодов.

4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

Итоговый контроль осуществляется в виде зачета в конце 7 семестра. На зачете студентам предлагается ответить на 4 вопроса по материалам учебной дисциплины. По итогам ответа на зачёте преподаватель оценивает знания студента.

Вопросы к зачёту по дисциплине «Оптоэлектронные и квантовые приборы» Физико-технический факультет, 4 курс.

1. Основные приборы и устройства систем оптической связи.
2. Виды квантовых переходов.
3. Инверсная населённость.
4. Ширина спектральной линии.
5. Взаимодействие бегущих электромагнитных волн с активной средой.
6. Условия усиления и генерации колебаний в квантовых системах.
7. Структура электромагнитных полей оптических резонаторов.
8. Эффект насыщения.
9. Спектральные характеристики оптических резонаторов.
10. Многослойные и диэлектрические покрытия и интерференционные фильтры.
11. Перестраиваемые резонаторы.
12. Селекция продольных и поперечных мод оптических резонаторов.
13. Резонаторы типа Фабри-Перо.
14. Гауссовы пучки.
15. Устойчивые резонаторы.
16. Неустойчивые резонаторы.
17. Плотность оптических мод в одномерном резонаторе.
18. Теоретические основы трёхуровневых лазеров.
19. Теоретические основы четырёхуровневых лазеров.
20. Оптимальная обратная связь.
21. Импульсные режимы работы лазеров.
22. Характеристики и параметры режимов работы лазеров.
23. Активная и пассивная синхронизация мод при излучении лазеров.
24. Модуляция добротности резонаторов лазеров.
25. Перестраиваемы по длинам волн лазеры. Методы их накачки.
26. Твердотельные лазеры. Методы их накачки.

Итоговый контроль осуществляется в виде экзамена в конце 7 семестра. На экзамене студентам предлагается ответить на 2 вопроса в билете по материалам учебной дисциплины. По итогам ответа на экзамене преподаватель оценивает знания студента. Экзамен является итогом дисциплины.

Вопросы к экзамену по дисциплине «Оптоэлектронные и квантовые приборы» Физико-технический факультет, 4 курс.

1. Современная оптоэлектроника. Электроны и фотоны как носители информации. Области применений, преимущества и особенности оптоэлектроники.
2. Принцип работы светоизлучающих диодов. Прямозонные и непрямозонные материалы для оптоэлектроники.
3. Полупроводниковые лазеры. Принцип работы. Продольные и поперечные моды. Условие образования инверсии населенности. Основные характеристики п/п лазеров.
4. Зонная диаграмма гетеропереходов. Подбор полупроводниковых материалов для гетероструктур. Особенности работы лазеров на двойной гетероструктуре.
5. Принцип работы световодов. Основные характеристики световодов. Механизм образования мод. Многомодовые и одномодовые световоды. Применения световодов.
6. Потери в световодах.
7. Ступенчатые и градиентные световоды. Материальная дисперсия. Внутримодовая дисперсия. Дисперсионные характеристики кварцевых световодов.
8. Классификация фотоприемников. Действие излучения на p/n переход. Вольтамперная характеристика полупроводниковых фотодиодов. Гальванический и диодный режимы работы фотодиода.
9. Лавинные и pin-фотодиоды.
10. Принцип работы фотоэлектрических преобразователей. Основные характеристики кремниевых солнечных преобразователей.
11. Акустооптический эффект. Акустооптические модуляторы, дефлекторы и их применение.
12. Электрооптический эффект. Электрооптические модуляторы и их применение.
13. Материалы, используемые для подложек интегрально-оптических схем. Гибридный и монолитный подход.
14. Кристаллохимическое описание строения стекол.
15. Технология изготовления планарных интегрально-оптических волноводов на поверхности подложки.
16. Ионно-плазменное напыление тонких плёнок. Диодная и триодная схемы.
17. Магнетронное распыление плёнок.
18. Высокочастотное и реактивное распыление плёнок.
19. Термическое вакуумное нанесение плёнок.
20. Методы изготовления планарных интегрально-оптических волноводов в подложках.
21. Технология изготовления интегрально-оптических канальных волноводов.
22. Изготовление интегрально-оптических элементов методом электростимулированной миграции ионов (физические основы, технологические приемы).
23. Волоконные световоды, их свойства и основные технологические методы их изготовления.
24. Материалы, используемые при изготовлении оптических волокон.
25. Фотолитография. Последовательность операций в процессе фотолитографии.
26. Виды фоторезистов и способы их нанесения. Основные параметры фоторезистов.
27. Волоконные разветвители оптических сигналов.
28. Интегрально-оптические разветвители, типы, конструкции, способы изготовления.

29. Технология изготовления и исследование интегрально-оптических разветвителей.
30. Методы изготовления микролинз и матриц микролинз.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

– в печатной форме увеличенным шрифтом, – в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в печатной форме,

– в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в печатной форме,

– в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля).

5.1 Основная литература:

1. Галуцкий В.В. Оптоэлектронные и квантовые приборы в телекоммуникационных системах: практикум / Галуцкий, Валерий Викторович, Строганова, Елена Валерьевна, Яковенко, Николай Андреевич; В. В. Галуцкий, Е. В. Строганова, Н. А. Яковенко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Кубанский гос. ун-т. - Краснодар: [Кубанский государственный университет], 2013. - 135 с. : ил. - Библиогр.: с. 134. - ISBN 9785820909948.
2. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. - СПб.: Лань, 2011. - e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=684
3. Портнов Э. Л. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009.

4. Никитин В. А. Электростимулированная миграция ионов в интегральной оптике / В. А. Никитин, Н. А. Яковенко. 3-е изд. доп. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2013.
5. Физические технологии интегральной оптики: лабораторный практикум /В. А. Никитин, Н. А. Яковенко, А. С. Левченко Краснодар, 2013

Для освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья имеются издания в электронном виде в электронно-библиотечных системах «Лань» и «Юрайт».

5.2 Дополнительная литература:

1. Звелто О. Принципы лазеров. - СПб-М.-Краснодар: Лань. 2008. - 720 с.
2. Крюков, Петр Георгиевич. Лазеры ультракоротких импульсов и их применения: [учебное пособие]/ Крюков, Петр Георгиевич; П. Г. Крюков. - Долгопрудный: Интеллект, 2012. - 247 с.
3. Оптоэлектроника. Ч. 1: Физические основы полупроводниковой оптоэлектроники. Когерентная оптоэлектроника / О. Н. Ермаков, А. Н. Пихтин, Ю. Ю. Протасов, С. А. Тарасов; под общ. ред. И. Б. Федорова. - М.: Янус-К, 2010. - 699 с.
4. Оптоэлектроника. Ч. 2: Оптроника / О. Н. Ермаков; А. Н. Пихтин, Ю. Ю. Протасов, С. А. Тарасов; под общ. ред. И. Б. Федорова. - М.: Янус-К, 2011. - 611 с.
5. Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2008.
6. Оптоэлектроника. Ч. 1: Физические основы полупроводниковой оптоэлектроники. Когерентная оптоэлектроника / О.Н. Ермаков, А.Н. Пихтин, Ю.Ю. Протасов, С.А. Тарасов; под общ. ред. И.Б. Федорова. - М.: Янус-К, 2010
7. Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2008.
8. Оптоэлектроника. Ч. 2: Оптроника / О.Н. Ермаков; А.Н. Пихтин, Ю.Ю. Протасов, С.А. Тарасов; под общ. ред. И.Б. Федорова. - М.: Янус-К, 2011.

5.3. Периодические издания:

1. Журналы Фотоника, Квантовая электроника, Оптический журнал, Автометрия.
2. Журнал «Фотон-экспресс» /www.fotonexpress.ru /.
3. Журнал «Lightwave Russian Edition» / www.lightwave-russia.com/ .
4. Журнал «Вестник связи» /www.vestnik-sviazy.ru /. 5. http://www.kubsu.ru/University/library/resources/
6. http://www.rubricon.com/.
7. http://window.edu.ru/window

6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля).

1. http://www.kubsu.ru/University/library/resources/
2. http://www.rubricon.com/.
3. http://window.edu.ru/window.

7. Рекомендуемый график самостоятельной работы студента в 7-м семестре по дисциплине «Оптоэлектронные квантовые приборы»

№ темы	Тема или задание текущей работы	Кол-во часов	Форма представления результатов	Сроки выполнения (недели)
1.	Безызлучательная рекомбинация в объёме материала. Конкуренция между излучательной и безызлучательной рекомбинацией.	2	Устный ответ, текстовый документ.	1
2.	Многослойные и диэлектрические покрытия и интерференционные фильтры. Перестраиваемые резонаторы. Устройства для управления фазой излучения. Метод Фокса и Ли. Преобразование гауссовых пучков линзой.	2	Устный ответ, текстовый документ.	1
3.	Вспомогательное излучение накачки. Частотная селекция, селекция тонкими поглотителями продольных мод резонатора. CO2 лазеры, азотный лазер с продольной и поперечной накачкой, водородный лазер, эксимерные лазеры. Основные направления использования мощных газовых лазеров.	2	Устный ответ, текстовый документ.	1
4	Оптоэлектроника, предметы изучения оптоэлектроники, Основы оптоэлектроники.	2	Устный ответ, текстовый документ.	1
5	Физические основы и принцип действия полупроводниковых светоизлучающих диодов (СИД).	3,8	Текстовый документ.	1
№ темы	Тема или задание текущей работы	Кол-во часов	Форма представления результатов	Сроки выполнения (недели)
6	Физические основы работы полупроводниковых лазерных диодов (ЛД). Области применения полупроводниковых лазеров.	4	Устный ответ, текстовый документ.	1
7	Фотоприемники, принцип работы фотоприемников. Классификация фотоприемников, используемых в оптоэлектронике. ФЭП.	4	Текстовый файл.	1

8	Оптические среды. Элементы волоконной и интегральной оптики. Конструкции и типы волоконных световодов.	4	Устный ответ, текстовый документ.	1
9	Интегральная оптика функциональные и прикладные аспекты. Элементная база интегральной оптики, области использования и преимущества интегральной оптики.	4	Устный ответ, текстовый документ.	1
10	Оптроны, их классификация, свойства и области применения.	4	Текстовый документ.	1
11	Физические основы модуляции света, способы осуществления модуляции оптического излучения в оптоэлектронике.	4	Текстовый документ.	1
12	Материалы подложек интегрально-оптических схем. Технология изготовления интегрально-оптических волноводов и волноводных структур на поверхности подложек.	4	Устный ответ, текстовый документ.	1
13	Методы изготовления интегрально-оптических волноводов и волноводных структур в подложках.	4	Устный ответ, текстовый документ.	2
14	Изготовление интегрально-оптических элементов методом электростимулированной миграции ионов.	4	Устный ответ, текстовый документ.	1, 3-6
	Итого	47,8		**1, 3-6**

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю).

8.1 Перечень информационных технологий.

Лекции: интерактивная лекция с мультимедийной системой с активным вовлечением вовлечение студентов в учебный процесс и обратной связью.

Практические работы: компьютерные занятия в режимах взаимодействия «преподаватель - студент» и «студент - преподаватель», «студент - студент».

Самостоятельная работа: дистанционные задания и упражнения, глоссарии терминов и определений.

8.2 Перечень необходимого программного обеспечения.

Программное обеспечение в рамках программы компании Microsoft “Enrollment for Education Solutions” для компьютеров и серверов Кубанского государственного университета и его филиалов, Антивирусная защита физических рабочих станций и серверов: Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.

8.3 Перечень информационных справочных систем:

1. Справочно-правовая система «Консультант Плюс» (http://www.consultant.ru)
2. Электронная библиотечная система ЛАНЬ: (www.e.lancook.com)

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Реализация Профиля предполагает наличие минимально необходимого для реализации бакалаврской программы перечня материально-технического обеспечения:

- лекционные аудитории, оборудованные видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения, экраном, и имеющие выход в Интернет,
- лаборатория «Оптоэлектроники и оптической связи» с экспериментальными стендами по изучению лазеров, фотоприёмников, оптронов, модуляторов, пассивных элементов ВОЛС, сварке оптических волокон, рефлектометрическими измерениями и компьютерным стендом с оптической линией связи и выходом в интернет.
- оборудование вакуумного напыления металлических пленок для проведения лабораторных работ по изучению свойств металлов (ВУП-5, АдьфаН-1, УВР-3М); • оборудование для изучения процесса фотолитографии (установки нанесения фоторезиста SPIN-1200T, SPIN-1200D, установка совмещения и экспонирования 830-II, комплекс лазерной безмасковой литографии μPG101).

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность
1.	Лекционные занятия	Лекционная аудитория №209С, 315 С, оснащенная презентационной техникой (доска учебная магнитно-маркерная; проектор Epson EB-1776 W; экран Projecta SlimScreen;) и соответствующим программным обеспечением (Microsoft Windows 8, 10; Microsoft Office Professional Plus (№73–АЭФ/223-ФЗ/2018 Соглашение Microsoft ESS 72569510).
2.	Семинарские занятия	Специальное помещение №209С, 201С, 315 С, оснащенное презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО).

3.	Лабораторные занятия	Учебные аудитории для проведения лабораторных работ– ауд. 144, 119, 133, 325, корп. С. Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО) для воспроизведения файлов формата jpg и avi. Достаточным количеством посадочных мест.
4.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория, (кабинет), укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения 209С
5.	Самостоятельная работа	Кабинет №208С для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.