

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Основы технологий формирования структур и устройств методами жидкостного и плазменного травления
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

В.С. Столяров, д-р физ.-мат. наук

М.А. Тархов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
18.02.2025

Аннотация

Курс направлен на обучение студентов основам технологий формирования структур и устройств с помощью плазменного и жидкостного методов травления в микро и нанoeлектронике. Будут рассмотрены основы технологических процессов жидкостного и плазменного травления и их роль в технологии нано и микро изделий.

В рамках курса студенты изучат: основные принципы технологий жидкостных и плазменных процессов травления, устройство современного технологического оборудования для этих процессов, принципы формирования плазменных разрядов и основы плазменного и плазмохимического травления для формирования микро и наноструктур. Получат представления о свойствах и характеристиках жидкостных и плазменных процессов травления и методах характеристики этих процессов при помощи электронно-лучевой и оптической микроскопии. В рамках курса будут рассмотрены различные примеры и варианты жидкостных и плазменных процессов травления для широкого спектра материалов применяемых в микро и нанoeлектронике, например: глубокое травления кремния, травления диэлектрических и металлических тонких пленок, травление диэлектрических соединений кремния и плазменная подготовка и очистка поверхностей и др.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Целью дисциплины «Основы технологий формирования структур и устройств методами жидкостного и плазменного травления» является ознакомление студентов с современными научно-исследовательскими результатами в области технологий жидкостного и плазменного травления, являющейся базовой частью общего курса по технологии в микро и нанoeлектронике. Данный курс позволит получить навыки выбора и оптимизации технологий травления для формирования той или иной физической задачи или приложения.

Задачи дисциплины

- расширение кругозора учащихся в части технологии жидкостного и плазменного травления;
- обучение общим принципам плазменных технологий травления, в том числе устройства технологического оборудования, управление свойствами технологического процесса травления, планирование технологических процессов травления, организации метрологического контроля;
- демонстрация тесной взаимосвязи фундаментальных основ химии и физики с конкретными задачами создания высокотехнологичных наноструктур.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов
	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук

ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- технологические основы процессов жидкостного и плазменного травления;
- технологическое устройство оборудования для жидкостных и плазменных процессов травления;
- физико-химические основы процессов формирования наноразмерных объектов в жидкой фазе;
- физико-химические основы плазменных процессов формирования наноразмерных объектов;
- принципы формирования структур с помощью технологий жидкостного и плазменного травления;
- метрологические методы характеристики процессов жидкостного и плазменного травления.

уметь:

- прогнозировать направление и скорость протекания процессов;
- интерпретировать данные метрологических методов;
- оценивать технологические риски;
- находить и использовать справочную информацию.

владеть:

- приемами проведения количественных оценок в связи с различными нанотехнологическими задачами.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Технология травления как метод создания структур в микро и нанoeлектронике	1			5
2	Технологическое оборудование и средства для процессов травления	1	1		5
3	Жидкостные методы травления и формирования структур	2	3		5
4	Плазменные методы травления и формирования структур	1	1		5
5	Плазма. Основы формирования плазменных разрядов	2	1		5
6	Основные свойства и характеристики плазменных процессов травления	1	1		5
7	Основные понятия плазменных процессов травления	2	2		5
8	Методы характеристики процессов травления	1	2		5
9	Плазменные процессы подготовки и очистки поверхностей	1	1		5
10	Процессы глубокого плазмохимического травления кремния	1	1		5
11	Плазменные и плазмохимические процессы травления металлов	1	1		5
12	Плазмохимические процессы травления диэлектрических слоев	1	1		5
Итого часов		15	15		60

Подготовка к экзамену	0 час.
Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Технология травления как метод создания структур в микро и нанoeлектронике

Краткая история развития технологий микро и нанoeлектроники. Жидкостные и плазменные процессы в технологии изготовления микро и нано устройств. Классификация технологических процессов травления. Технологические проблемы жидкостных и плазменных методов травления в микро и нанотехнологиях.

2. Технологическое оборудование и средства для процессов травления

Производственные и исследовательские чистые зоны для микро и нанoeлектроники. Типы и виды оборудования по технологиям изготовления. Оборудование для процессов травления. Необходимые средства и материалы для процессов травления.

3. Жидкостные методы травления и формирования структур

Основны жидкостного метода травления. Классификация химии для процессов жидкостного травления. Технологические проблемы жидкостного метода травления. Характеристики жидкостного метода травления структур.

4. Плазменные методы травления и формирования структур

Основны плазменного метода травления. Классификация процессов плазменного травления. Технология плазменного травления в стыке с другими технологиями. Ограничения плазменного метода травления. Фторная и хлорная химия используемая в плазменных процессах травления.

5. Плазма. Основы формирования плазменных разрядов

Что такое плазма в технологии. Краткое изложение фундаментальных основ плазменного разряда. Плазменные осцилляции. Частицы. Длина дебая. Классификация типов источников плазмы используемых в современном оборудовании.

6. Основные свойства и характеристики плазменных процессов травления

Образование летучих соединений. Скорость травления. Селективность. Профиль травления. Регулируемые параметры для контроля процесса травления.

7. Основные понятия плазменных процессов травления

Как управлять процессом плазменного травления. Физико-химические основы процессов плазменного травления. Подготовка и выбор материала маски. Подготовка топологического рисунка. Открытая область травления. Эффект близости. Эффекты больших открытых областей травления. Подготовка камеры травления.

8. Методы характеристики процессов травления

Основные подходы и методы к характеристизации полученных структур травления. Методы оптического контроля. Методы электронно-лучевой микроскопии. Атомно-силовая и стилусная микроскопия.

9. Плазменные процессы подготовки и очистки поверхностей

Процессы подготовки поверхности плазменными методами в кислороде или аргоне. Активация поверхности. Кислородная плазменная очистка поверхности. Процессы удаления остатков литографических масок. Плазменные процессы травления фото и электронных резистов.

10. Процессы глубокого плазмохимического травления кремния

Механизм процесса глубокого травления кремния. Основные регулируемые параметры в Bosch процессе. Профили травления. Технологические ограничения и проблемы метода глубокого травления кремния.

11. Плазменные и плазмохимические процессы травления металлов

Процессы плазменного метода травления металлов. Плазмо-химические процессы травления в хлорных газах. Ионно-плазменное травление металлических пленок в аргоне.

12. Плазмохимические процессы травления диэлектрических слоев

Основные механизмы травления соединений кремния плазменными методами травления. Травление толстых слоев оксидов кремния во фторной газовой среде. Травление оксидов металлов. Криогенные процессы травления оксида кремния.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

Научно-исследовательское оборудование центра перспективных методов мезофизики и нанотехнологий и ЦКП МФТИ.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Handbook of Plasma Processing Technology, Stephen M. Rossnagel, Jerome J. Cuomo, William D. Westwood
2. Principles of plasma discharges and materials processing, Michael A. Lieberman, Allan J. Lichtenberg
3. А.А. Голишников, М.Г. Путря, Учебное пособие по дисциплине «Плазменные технологии в нанoeлектронике»

Дополнительная литература

1. Etching in Microsystem Technology, Michael Kohler
2. Ф.И.Григорьев, Плазмохимическое и ионно-химическое травление в технологии микроэлектроники (Учебное пособие)

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<https://www.isuct.ru/conf/plasma/index.htm>,

<https://studfile.net/>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Стандартное оборудование для мультимедийных презентаций и проведения видеоконференций, компьютерное оборудование для поиска информации.

Библиотечный фонд МФТИ.

Google.meet.com

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

В.С. Столяров, д-р физ.-мат. наук

М.А. Тархов, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов

технологии	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Основы технологий формирования структур и устройств методами жидкостного и плазменного травления» обучающийся должен:

знать:

- технологические основы процессов жидкостного и плазменного травления;
- технологическое устройство оборудования для жидкостных и плазменных процессов травления;
- физико-химические основы процессов формирования наноразмерных объектов в жидкой фазе;
- физико-химические основы плазменных процессов формирования наноразмерных объектов;
- принципы формирования структур с помощью технологий жидкостного и плазменного травления;
- метрологические методы характеристики процессов жидкостного и плазменного травления.

уметь:

- прогнозировать направление и скорость протекания процессов;
- интерпретировать данные метрологических методов;
- оценивать технологические риски;
- находить и использовать справочную информацию.

владеть:

- приемами проведения количественных оценок в связи с различными нанотехнологическими задачами.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Полученные знания оцениваются по результатам решения задач, выданных студенту для самостоятельного решения и контрольных вопросов по содержанию курса.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Обосновать выбор технологии жидкостного или плазменного травления.
2. Условия получения плазмы в плоскопараллельном реакторе травления.

3. Принцип работы установки плазмохимического травления с источником индуктивной-связанной плазмы.
4. Принцип плазмохимического глубокого травления кремния.
5. Обосновать выбор маски для травления тонких слоев металлов (Аллюминий).
6. Принцип удаления остатков фоторезистов после травления.
7. Классификация процессов плазменного травления.
8. Как управлять процессом плазменного травления.
9. Какие материалы можно травить во фторной газовой химии?
10. Для каких металлов можно использовать ионно-плазменное травление?

Примеры билетов:

Билет 1.

1. Классификация технологических процессов травления. Технологические проблемы жидкостных и плазменных методов травления в микро и нанотехнологиях.
2. Физико-химические принципы плазмохимического травления пленок.

Билет 2.

1. Принцип глубокого плазмохимического травления кремния и его ограничения.
2. Методологические методы характеристики процессов жидкостного и плазменного травления.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Дифференцированный зачёт проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса и подготовленный в печатном виде отчет по практическим занятиям. При проведении зачёта обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.