

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики
А.С. Батурин**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Моделирование технологических процессов
по направлению:	Электроника и нанoeлектроника
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра нанoeлектроники и квантовых компьютеров
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Экзамен

2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 105 час.

Подготовка к экзамену: 60 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: Т.М. Махвиладзе, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры нанoeлектроники и квантовых компьютеров 12.02.2024

Аннотация

Курс "Моделирование технологических процессов" предусматривает ознакомление студентов магистратуры с методологией математического моделирования в области технологии формирования и функционирования актуальных микро- и наноструктурных элементов интегральных схем и отдельных приборных структур, овладение ими современных знаний в области концепций, принципов построения и методов использования математических, физических и компьютерных моделей для целей развития элементной базы микро- и нанoeлектроники. Необходимость изучения курса обусловлена требованиями развития технологии микро- и нанoeлектроники: моделирование дает ключ к пониманию физики процессов, путей их оптимизации, исследованию возможностей и перспектив, позволяет осуществлять диагностику, контроль и управление процессами. Такие сложные и многофакторные процессы, как осаждение и рост тонких пленок, корпускулярно-оптические процессы формирования качественных наноструктур, процессы травления, имплантации, диффузии, окисления, химико-механической планаризации, процессы электромиграции и механической деградации, определяющие надежность и долговечность систем металлизации, двухслойных и многослойных интерфейсов, стехиометрический состав и дефектность тонкопленочных элементов приборных структур, на современном этапе развития микроэлектроники в принципе "невнедряемы" без моделирования. В настоящее время математическое моделирование является не только неотъемлемой и составной частью развития технологии микро- и нанoeлектроники на всех этапах проектирования и изготовления СБИС, но и представляет собой опережающий фактор инновационного процесса, позволяя при относительно небольших затратах времени и материальных ресурсов разработать, оптимизировать и внедрить требуемые технологии или, что особенно существенно в области субмикро- и нанолитографии, принимать экономически и технологически обоснованные решения о модернизации или замене существующей технологической базы. Ввиду практической важности математического моделирования для дальнейшего развития элементной базы микро- и нанoeлектроники, его незаменимости при разработке, совершенствовании, оптимизации и внедрении технологических процессов формирования и функционирования элементов и приборных структур СБИС, соответствующих исследовательских установок и технологического оборудования, а также при исследовании и оптимизации процессов, определяющих долговечность и надежность работы элементов интегральных схем, необходима подготовка специалистов, владеющих основами методологии математического моделирования и умеющих использовать результаты моделирования на различных этапах проектирования и создания микро- и наноструктур интегральных схем.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление студентов магистратуры с методологией математического моделирования в области технологии формирования и функционирования актуальных микро- и наноструктурных элементов интегральных схем и отдельных приборных структур, овладение ими современных знаний в области концепций, принципов построения и методов использования математических, физических и компьютерных моделей для целей развития элементной базы микро- и нанoeлектроники. Необходимость изучения курса обусловлена требованиями развития технологии микро- и нанoeлектроники: моделирование дает ключ к пониманию физики процессов, путей их оптимизации, исследованию возможностей и перспектив, позволяет осуществлять диагностику, контроль и управление процессами. Такие сложные и многофакторные процессы, как осаждение и рост тонких пленок, корпускулярно-оптические процессы формирования качественных наноструктур, процессы травления, имплантации, диффузии, окисления, химико-механической планаризации, процессы электромиграции и механической деградации, определяющие надежность и долговечность систем металлизации, двухслойных и многослойных интерфейсов, стехиометрический состав и дефектность тонкопленочных элементов приборных структур, на современном этапе развития микроэлектроники в принципе “невнедряемы” без моделирования. В настоящее время математическое моделирование является не только неотъемлемой и составной частью развития технологии микро- и нанoeлектроники на всех этапах проектирования и изготовления СБИС, но и представляет собой опережающий фактор инновационного процесса, позволяя при относительно небольших затратах времени и материальных ресурсов разработать, оптимизировать и внедрить требуемые технологии или, что особенно существенно в области субмикро- и нанолитографии, принимать экономически и технологически обоснованные решения о модернизации или замене существующей технологической базы. Ввиду практической важности математического моделирования для дальнейшего развития элементной базы микро- и нанoeлектроники, его незаменимости при разработке, совершенствовании, оптимизации и внедрении технологических процессов формирования и функционирования элементов и приборных структур СБИС, соответствующих исследовательских установок и технологического оборудования, а также при исследовании и оптимизации процессов, определяющих долговечность и надежность работы элементов интегральных схем, необходима подготовка специалистов, владеющих основами методологии математического моделирования и умеющих использовать результаты моделирования на различных этапах проектирования и создания микро- и наноструктур интегральных схем.

Задачи дисциплины

- приобретение студентами знаний о месте и роли математического моделирования в области разработки и производства современных электронных изделий, включая конкретные примеры использования результатов моделирования технологических процессов для определения перспективных путей развития электроники в субмикронной и наномикронной областях и для поиска технологий будущего;
- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков в области моделирования основных технологических процессов создания микро- и наноструктур и элементов интегральных схем и их функционирования;
- ознакомление слушателей с основными математическими и вычислительными методами моделирования, используемыми для анализа и оптимизации технологических процессов, нано- и микроструктур элементов интегральных схем путем построения адекватных физических, химических, механических моделей технологического процесса;
- приобретение знаний об основных пакетах прикладных программ моделирования, их возможностях и границах применимости, методах проведения численных экспериментов, анализа их результатов и методах оптимизации моделируемых процессов, структур, технологического оборудования;
- приобретение навыков в применении методов математического моделирования при исследовании новых, ранее неиспользованных технологических методов и методик.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
--------------------------------	-----------------------------------

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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- цели и задачи математического моделирования основных технологических процессов как составной части развития элементной базы микро- и нанoeлектроники; этапы развития методов моделирования основных процессов, их классификация, главные требования к физическим и компьютерным моделям; типы вычислительных моделей и компьютерных экспериментов;
- последовательность основных технологических процессов производства СБИС, иерархию моделей этой последовательности; требования к результатам моделирования;
- теоретические основы математического моделирования процессов микро- и нанoeлектроники, включая необходимые сведения из физической и химической кинетики, основы метода Монте-Карло и метода молекулярной динамики в применении к задачам моделирования процессов и структур микро- и нанoeлектроники;
- области применимости и возможности использования различных методов моделирования;
- модели процессов фотолитографии, EUV–литографии, рентгеновской литографии и основные результаты моделирования для этих процессов;
- модели процессов электронной и ионной литографии и основные результаты статистического моделирования этих процессов;
- модели процессов имплантации, диффузии, окисления, отжига, травления, осаждения, химико-механической планаризации и основные результаты моделирования этих процессов;
- модели роста, адгезионной прочности, деградации и разрушения тонкопленочных приборных структур и элементов металлизации ИС;
- перспективные технологии ИС в глубокой нанометровой области, подходы к их моделированию и оценке перспектив.

уметь:

- применить основные формулы и соотношения физической кинетики для описания технологических процессов;
- применять методы стохастического моделирования и методы молекулярной динамики для описания технологических процессов;
- использовать методы моделирования литографических процессов для анализа скрытого изображения и проявленных структур;
- анализировать разрешающую способность различных литографических схем и установок;
- использовать результаты численного моделирования процессов фотолитографии, рентгеновской и EUV – литографии для анализа основных характеристик получаемых микроструктур и их оптимизации;
- использовать методы моделирования процессов электронной и ионной литографии для анализа скрытого изображения и проявленных структур;
- использовать модели процессов имплантации, диффузии, окисления, отжига, травления, осаждения, химико-механической планаризации и основные результаты моделирования этих процессов для их оптимизации и поиска перспективных методик и режимов;
- применять модели роста, адгезионной прочности, деградации и разрушения тонкопленочных приборных структур и элементов металлизации ИС к конкретным практическим ситуациям; Использовать результаты моделирования для повышения надежности и долговечности элементов ИС.

владеть:

- основными общими методами моделирования технологических процессов и навыками их применения к процессам фотолитографии, рентгеновской и EUV – литографии;
- навыками расчета этапов экспонирования и проявления в процессах фотолитографии, рентгеновской и EUV – литографии;
- методами использования методов математического моделирования для анализа возможностей фотолитографических установок, перспективных литографических методик и оптических схем;
- навыками применения статистических методов моделирования к процессам корпускулярной литографии;
- методами расчета этапов экспонирования и проявления в процессах электронной и ионной литографии;
- навыками применения моделей процессов имплантации, диффузии, окисления, отжига, травления, осаждения, химико-механической планаризации и основных результатов моделирования этих процессов для их оптимизации и поиска перспективных методик и режимов;
- навыками использования моделей роста, адгезии интерфейсов, деградации и разрушения тонкопленочных приборных структур и элементов металлизации ИС к исследованию отказов элементов ИС;
- навыками использования результатов моделирования для анализа надежности и долговечности элементов ИС;
- представлениями о перспективных путях развития микро- и нанoeлектронных технологий.

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	Цели и задачи математического моделирования процессов микро- и нанoeлектроники	2			2
2	Развитие методов математического моделирования	4			3
3	Математическое моделирование	2			2
4	Литографические процессы и системы, используемые в микро- и нанoeлектронике	2			3
5	Математическое моделирование в литографии	2			2
6	EUV – литография	2			3
7	Рентгенолитография	2			2
8	Отжиг	2			3
9	Травление, осаждение	2			2
10	Тонкие пленки, полученные методом CVD	4			3
11	Химико-механическая планаризация	2			2
12	Технологии межсоединений	4			3
13	Микрокинетические подходы	2			8
14	Макрокинетические подходы	2			8
15	Спецметоды	2			8
16	Фотолитография	2			7
17	Корпускулярная литография	2			8
18	Ионная имплантация	4			8

19	Термоокисление кремния	4			7
20	Диффузия в кремнии	4			7
21	Адгезионная прочность	4			7
22	Процессы деградации	4			7
Итого часов		60			105
Подготовка к экзамену		60 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Цели и задачи математического моделирования процессов микро- и нанoeлектроники

Описание основных технологических процессов.

2. Развитие методов математического моделирования

Изменение технологических норм; первичные понятия о моделях отдельных процессов, их классификация.

3. Математическое моделирование

Теоретические основы математического моделирования технологических процессов.

4. Литографические процессы и системы, используемые в микро- и нанoeлектронике

Классификация, характеристики, разрешающая способность; методы моделирования и оптимизации.

5. Математическое моделирование в литографии

Анализ перспективных методов фотолитографии с помощью математического моделирования.

6. EUV – литография

Моделирование EUV – литографии.

7. Рентгенолитография

Моделирование рентгенолитографического процесса.

8. Отжиг

Моделирование процессов термического отжига.

9. Травление, осаждение

Моделирование процессов травления и осаждения.

10. Тонкие пленки, полученные методом CVD

Моделирование процесса получения тонких пленок методом CVD.

11. Химико-механическая планаризация

Моделирование процесса химико-механической планаризации (CMP).

12. Технологии межсоединений

Роль моделирования при выявлении преимуществ и недостатков перспективных технологий межсоединений.

Семестр: 2 (Весенний)

13. Микрокинетические подходы

Микрокинетические подходы при моделировании технологических процессов микроэлектроники.

14. Макрокинетические подходы

Макрокинетические подходы при моделировании технологических процессов микроэлектроники.

15. Спецметоды

Специальные методы математического моделирования технологических процессов микроэлектроники.

16. Фотолитография

Моделирование процессов фотолитографии.

17. Корпускулярная литография

Моделирование процессов корпускулярной литографии.

18. Ионная имплантация

Моделирование процесса ионной имплантации.

19. Термоокисление кремния

Моделирование процесса термического окисления кремния.

20. Диффузия в кремнии

Моделирование процессов диффузии в кремнии.

21. Адгезионная прочность

Моделирование адгезионной прочности интерфейсов.

22. Процессы деградации

Моделирование процессов деградации и разрушения элементов металлизации ИС.

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Математическое моделирование субмикронных технологий и приборов. III, Труды ФТИАН, т.17, ред. Т.М. Махвиладзе, М.: Наука, с. 13-36, 54-81, 2001.
2. Квантовые компьютеры, микро- и нанoeлектроника, Труды ФТИАН, т.18, ред. А.А. Орликовский, М.: Наука, с.219-278, 379-397, 2005..
3. Квантовые компьютеры, микро- и нанoeлектроника, Труды ФТИАН, т.20, ред. А.А. Орликовский, М.: Наука, с.85-134, 2009.
4. Квантовые компьютеры, микро- и нанoeлектроника, Труды ФТИАН, т.21, ред. Т.М. Махвиладзе, М.: Наука, с.56-95, 2009.
5. М.А.Королев, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. Часть 1, М.: БИНОМ, 2010.

Дополнительная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Квантовые компьютеры, микро- и нанoeлектроника, Труды ФТИАН, т.24, ред. Т.М. Махвиладзе, М.:Наука, с.85-96, 163-186, 2014.
2. К.А. Валиев. Физика субмикронной литографии. М.: Наука, 1990.

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

Не используются

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, прослушавший курс лекций, должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения всех лекций, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Электроника и нанoeлектроника
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра нанoeлектроники и квантовых компьютеров
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
1 (осенний) - Экзамен	
2 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	Т.М. Махвиладзе, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Моделирование технологических процессов» обучающийся должен:

знать:

- цели и задачи математического моделирования основных технологических процессов как составной части развития элементной базы микро- и нанoeлектроники; этапы развития методов моделирования основных процессов, их классификация, главные требования к физическим и компьютерным моделям; типы вычислительных моделей и компьютерных экспериментов;
- последовательность основных технологических процессов производства СБИС, иерархию моделей этой последовательности; требования к результатам моделирования;
- теоретические основы математического моделирования процессов микро- и нанoeлектроники, включая необходимые сведения из физической и химической кинетики, основы метода Монте-Карло и метода молекулярной динамики в применении к задачам моделирования процессов и структур микро- и нанoeлектроники;
- области применимости и возможности использования различных методов моделирования;
- модели процессов фотолитографии, EUV–литографии, рентгеновской литографии и основные результаты моделирования для этих процессов;
- модели процессов электронной и ионной литографии и основные результаты статистического моделирования этих процессов;
- модели процессов имплантации, диффузии, окисления, отжига, травления, осаждения, химико-механической планаризации и основные результаты моделирования этих процессов;
- модели роста, адгезионной прочности, деградации и разрушения тонкопленочных приборных структур и элементов металлизации ИС;
- перспективные технологии ИС в глубокой нанометровой области, подходы к их моделированию и оценке перспектив.

уметь:

- применить основные формулы и соотношения физической кинетики для описания технологических процессов;
- применять методы стохастического моделирования и методы молекулярной динамики для описания технологических процессов;
- использовать методы моделирования литографических процессов для анализа скрытого изображения и проявленных структур;
- анализировать разрешающую способность различных литографических схем и установок;
- использовать результаты численного моделирования процессов фотолитографии, рентгеновской и EUV – литографии для анализа основных характеристик получаемых микроструктур и их оптимизации;
- использовать методы моделирования процессов электронной и ионной литографии для анализа скрытого изображения и проявленных структур;
- использовать модели процессов имплантации, диффузии, окисления, отжига, травления, осаждения, химико-механической планаризации и основные результаты моделирования этих процессов для их оптимизации и поиска перспективных методик и режимов;
- применять модели роста, адгезионной прочности, деградации и разрушения тонкопленочных приборных структур и элементов металлизации ИС к конкретным практическим ситуациям; Использовать результаты моделирования для повышения надежности и долговечности элементов ИС.

владеть:

- основными общими методами моделирования технологических процессов и навыками их применения к процессам фотолитографии, рентгеновской и EUV – литографии;
- навыками расчета этапов экспонирования и проявления в процессах фотолитографии, рентгеновской и EUV – литографии;
- методами использования методов математического моделирования для анализа возможностей фотолитографических установок, перспективных литографических методик и оптических схем;
- навыками применения статистических методов моделирования к процессам корпускулярной литографии;
- методами расчета этапов экспонирования и проявления в процессах электронной и ионной литографии;
- навыками применения моделей процессов имплантации, диффузии, окисления, отжига, травления, осаждения, химико-механической планаризации и основных результатов моделирования этих процессов для их оптимизации и поиска перспективных методик и режимов;
- навыками использования моделей роста, адгезии интерфейсов, деградации и разрушения тонкопленочных приборных структур и элементов металлизации ИС к исследованию отказов элементов ИС;
- навыками использования результатов моделирования для анализа надежности и долговечности элементов ИС;
- представлениями о перспективных путях развития микро- и нанoeлектронных технологий.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

Вопросы для подготовки к экзамену:

1. Развитие методов математического моделирования
2. Теоретические основы математического моделирования технологических процессов
3. Литографические процессы и системы, используемые в микро- и нанoeлектронике
4. Анализ перспективных методов фотолитографии с помощью математического моделирования
5. Моделирование EUV – литографии
6. Моделирование рентгенолитографического процесса
7. Моделирование процессов термического отжига
8. Моделирование процессов травления и осаждения

9. Моделирование процесса получения тонких пленок методом CVD
10. Моделирование процесса химико-механической планаризации (CMP)
11. Роль моделирования при выявлении преимуществ и недостатков перспективных технологий межсоединений
12. Микрокинетические подходы

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Теоретические основы математического моделирования технологических процессов
2. Моделирование процесса получения тонких пленок методом CVD

Пример 2.

1. Моделирование рентгенолитографического процесса
2. Роль моделирования при выявлении преимуществ и недостатков перспективных технологий межсоединений

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;

- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);

- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;

- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

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

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.