

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

|                            |   |
|----------------------------|---|
|                            | <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>  |
| <b>по дисциплине:</b>      | Семинар по современным проблемам микроэлектроники   |
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика  |
| <b>профиль подготовки:</b> | Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра микро- и наноэлектроники |
| <b>курс:</b>               | 1   |
| <b>квалификация:</b>       | магистр   |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Е.С. Горнев, д-р техн. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры микро- и наноэлектроники 29.05.2020

## **Аннотация**

Семинар по современным проблемам микроэлектроники предусматривает освоение студентами базовых знаний в области микро- и нанoeлектроники.

Задачи семинара:

- повышение уровня образования студентов за счет цикла семинаров, направленных на ознакомление слушателей с основными физическими и физико-химическими явлениями применяемыми в технологических процессах в микроэлектронике;
- знакомство с модуляцией излучения.

По результатам освоения семинара студент должен:

Знать:

- физические и химические основы технологических операций в микро и нанoeлектронике;
- физические параметры характеризующие технологические операции;
- технические и физические основы конструктивного исполнения технологического оборудования;
- влияние физических параметров технологических операций на параметры физической структуры элементной базы и изделий в целом в микро и нанoeлектронике.

Уметь:

- проводить анализ влияния физических параметров технологических операций на параметры физической структуры изделий микро и нанoeлектроники;
- применять статистические методы анализа для оценки качества проведения технологических процессов;
- планировать и проводить эксперименты при разработке технологических процессов микро и нанoeлектроники.

Владеть:

- первичными навыками разработки технологических операций и технологических процессов микро и нано электроники;
- первичными навыками работы на технологическом оборудовании;
- основными методами анализа оценки качества технологических операций и технологических процессов;
- основными методами проведения экспериментов при разработке технологических процессов микро и нанoeлектроники.

Основное содержание семинара изложено в следующих разделах:

1. Физические принципы построения акустических каналов информационного обмена в твердотельной электронике
2. Квантово-химические расчеты некоторых кремниево-кислородных кластеров вида  $\text{Si}_n\text{O}_m$
3. Разработка и исследование Дельта-сигма АЦП по технологии КМОП с проектными нормами 90нм
4. Физико-технологические особенности формирования вакуумированных микрообъемов в МЭМС

## **1. Цели и задачи**

### **Цель дисциплины**

- освоение студентами базовых знаний в области микро- и нанoeлектроники.

### **Задачи дисциплины**

- повышение уровня образования студентов за счет цикла семинаров, направленных на ознакомление слушателей с основными физическими и физико-химическими явлениями применяемыми в технологических процессах в микроэлектронике.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| 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-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-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту   |
| 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, оценивать 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:

- физические и химические основы технологических операций в микро и нанoeлектронике;
- физические параметры характеризующие технологические операции;
- технические и физические основы конструктивного исполнения технологического оборудования;
- влияние физических параметров технологических операций на параметры физической структуры элементной базы и изделий в целом в микро и нанoeлектронике.

уметь:

- проводить анализ влияния физических параметров технологических операций на параметры физической структуры изделий микро и нанoeлектроники;
- применять статистические методы анализа для оценки качества проведения технологических процессов;
- планировать и проводить эксперименты при разработке технологических процессов микро и нанoeлектроники.

владеть:

- первичными навыками разработки технологических операций и технологических процессов микро и нано электроники;
- первичными навыками работы на технологическом оборудовании;
- основными методами анализа оценки качества технологических операций и технологических процессов;
- основными методами проведения экспериментов при разработке технологических процессов микро и нанoeлектроники.

#### 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                     | Физические принципы построения.                         |   | 17       |                 | 8              |
| 2                     | Квантово-химические расчеты.                            |   | 13       |                 | 7              |
| 3                     | Разработка и исследование Дельта-сигма АЦП.             |   | 17       |                 | 8              |
| 4                     | Физико-технологические особенности формирования изделий |   | 13       |                 | 7              |
| Итого часов           |   |   | 60       |                 | 30             |
| Подготовка к экзамену |   | 0 час.  |          |                 |                |
| Общая трудоёмкость    |   | 90 час., 2 зач.ед.  |          |                 |                |

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

###### Семестр: 1 (Осенний)

###### 1. Физические принципы построения.

Физические принципы построения акустических каналов информационного обмена в твердотельной электронике.

###### 2. Квантово-химические расчеты.

Квантово-химические расчеты некоторых кремниево-кислородных кластеров вида  $\text{Si}_n\text{O}_m$ .

###### Семестр: 2 (Весенний)

###### 3. Разработка и исследование Дельта-сигма АЦП.

Разработка и исследование Дельта-сигма АЦП по технологии КМОП с проектными нормами 90нм.

###### 4. Физико-технологические особенности формирования изделий

Физико-технологические особенности формирования вакуумированных микрообъемов в МЭМС.

#### 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

1. Основы микроэлектроники [Текст] : [учеб.пособие для вузов] / И. П. Степаненко .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2004 .— 488с.
2. Моро У.. Микролитография М.: Мир, 1990.
3. Берлин Е.В., Сейдман Л.А., Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии , Техносфера Москва. 2010. 527 стр.
4. Оптические технологии микро- и нанoeлектроники, Я.И. Точицкий, 2010, Минск, РИВШ.

#### Дополнительная литература

1. Функциональная микроэлектроника [Текст] : учебное пособие / Г. И. Фурсин ; Московский физико-технический ин-т .— М. : МФТИ, 1985 .— 112 с.
2. Hollas J.M Modern spectroscopy 2004

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

<http://www.opticsinfobase.org/>  
<http://www.elsevier.com/>  
<http://www.sciencedirect.com/>

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

на занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

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

Успешное освоение курса требует:

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

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика  |
| <b>профиль подготовки:</b> | Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра микро- и нанoeлектроники |
| <b>курс:</b>               | <u>1</u>  |
| <b>квалификация:</b>       | магистр   |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** Е.С. Горнев, д-р техн. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| 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-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-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту   |
| 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, оценивать 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 «Семинар по современным проблемам микроэлектроники» обучающийся должен:

### знать:

- физические и химические основы технологических операций в микро и нанoeлектронике;
- физические параметры характеризующие технологические операции;
- технические и физические основы конструктивного исполнения технологического оборудования;
- влияние физических параметров технологических операций на параметры физической структуры элементной базы и изделий в целом в микро и нанoeлектронике.

### уметь:

- проводить анализ влияния физических параметров технологических операций на параметры физической структуры изделий микро и нанoeлектроники;
- применять статистические методы анализа для оценки качества проведения технологических процессов;
- планировать и проводить эксперименты при разработке технологических процессов микро и нанoeлектроники.

### владеть:

- первичными навыками разработки технологических операций и технологических процессов микро и нано электроники;
- первичными навыками работы на технологическом оборудовании;
- основными методами анализа оценки качества технологических операций и технологических процессов;
- основными методами проведения экспериментов при разработке технологических процессов микро и наноэлектроники.

### **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.

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

Вопросы для дифференцированному зачета:

1. Физические принципы построения акустических каналов информационного обмена в твердотельной электронике.
2. Квантово-химические расчеты некоторых кремниево-кислородных кластеров вида  $\text{SiO}_m$ .
3. Разработка и исследование Дельта-сигма АЦП по технологии КМОП с проектными нормами 90нм.
4. Физико-технологические особенности формирования вакуумированных микрообъемов в МЭМС.
5. Исследование физических принципов функционирования ReRAM элемента памяти.
6. Анализ особенностей технологического маршрута изготовления КМОП СБИС с проектными нормами 32нм и 45нм.
7. Технология электронно-лучевой литографии для уровня 45 нм.

#### **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 дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.