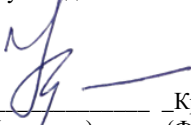




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

  
\_\_\_\_\_ Крайнова Г.С. \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О. рук.ОП)  
« 19 » \_\_\_\_\_ сентября \_\_\_\_\_ 2018 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ физики низкоразмерных структур \_\_\_\_\_  
(название кафедры)  
\_\_\_\_\_ Саранин А.А. \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О. зав. каф.)  
« 19 » \_\_\_\_\_ сентября \_\_\_\_\_ 2018 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок

**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Форма подготовки очная**

курс 4 семестр 8  
лекции 22 час.  
лабораторные работы 44 час.  
практические занятия час.  
семинарские занятия час.  
всего часов аудиторной нагрузки 66 час.  
в том числе с использованием МАО 20 час.  
самостоятельная работа 78 час.  
в том числе на подготовку к экзамену час.  
контрольные работы (количество)  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены  
зачет 8 семестр  
экзамен \_\_\_ семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 18.02.2016 № 12-13-235

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры \_физики низкоразмерных структур\_\_\_\_\_, протокол № 3 от «19» сентября 2018 г.

Заведующий (ая) кафедрой Саранин А.А.  
Составитель: к.ф.-м.н. Давыденко А.В.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ \_Саранин А.А.  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ \_Саранин А.А.\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ABSTRACT

**Bachelor's degree in 11.04.03 Electronics and nanoelectronics**

**Course title: Physics of epitaxial and nanostructured films**

**Basic part of Block, 4 credits**

**Instructor:** A.V. Davydenko, Cand. of phys. and math. , School of Natural Sciences of Far Eastern Federal University.

**At the beginning of the course a student should be able to:**

- GPC-1, the ability to represent the scientific picture of the world that is adequate to the modern level of knowledge based on knowledge of the main provisions, laws and methods of the natural sciences and mathematics;

- GPC-2, the ability to identify the natural-science essence of problems arising in the course of professional activity, to involve for solving them the corresponding physical and mathematical apparatus;

- GPC-5, the ability to use basic techniques for processing and presenting experimental data.

**Learning outcomes:**

GPC–7, ability to take into account modern trends in the development of electronics, measuring and computing equipment, information technologies in their professional activities.

SPC–9, ability to perform work on the technological preparation of the production of materials and electronic products

**Course description:**

Discipline is logically related to the disciplines of the first, second and third courses, such as "Physics of semiconductors and low-dimensional systems", "Quantum and optical electronics", "Physics of the condensed state"

In the theoretical part of the course, methods of thin film deposition, features of the growth of thin films, growth mechanisms, nucleation models, theories of the formation of condensed matter, mechanisms of coalescence and coagulation are considered.

In laboratory work, students get acquainted with vacuum technology, participate in the technological process of creating nanostructured films, measure their physical properties and parameters. Students work with sophisticated vacuum and electrical measuring equipment under the guidance of a teacher. Students may perform individual tasks. At this stage of study, students should have a clear idea of how to work with vacuum equipment, but they will gain the skills of independent work during the master's program.

**Main course literature:**

1. Dragunov V.P., Ostertak D.I. Micro- i nanoelectronika: Uchebnoe posobie dlya VUZov [Micro and nanoelectronics]. — Novosibirsk, NGTU, 2012. — 38 p. (rus) — access <http://www.iprbookshop.ru/45107.html>
2. Berlin B.V. Poluchenie tonkih plenok reaktivnim magnetronnim raspileniem [Growing of thin films by magnetron sputtering] / Berlin B.V., Seydman L.A. — M. Technosfera, 2014. — 256 p. (rus) <http://www.iprbookshop.ru/31877.html>
3. Starostin V.V. Materiali i metodi nanotechnologii [Materials and methods of nanotechnology] / pod obshey red. L.N. Patrikeeva. — M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2008. — 431 p. (rus) <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:265078&theme=FEFU>
4. Bondarenko G.G., Kabanova T.A., Ribalko V.V. Vaterialovedenie (Material science) — M.:Yurait, 2012. — 360 p. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:670440&theme=FEFU>

**Form of final knowledge control: pass.**

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок» предназначена для студентов, обучающихся по образовательной программе 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и входит в дисциплины по выбору учебного плана, реализуется на 4-м курсе, в 8-м семестре.

Учебным планом предусмотрены лекции (22 час.), лабораторные работы (44 час.), самостоятельная работа студента (78 час.).

Дисциплина логически связана с дисциплинами первого, второго и третьего курсов, такими как «Физика полупроводников и низкоразмерных систем», «Квантовая и оптическая электроника», «Физика конденсированного состояния»

В теоретической части курса рассматриваются методы осаждения тонких пленок, особенности роста тонких пленок, механизмы роста, модели зародышеобразования, теории формирования конденсированных сред, механизмы коалесценции и коагуляции.

На лабораторных работах студенты знакомятся с вакуумной техникой, участвуют в технологическом процессе создания наноструктурированных пленок, измеряют их физические свойства и параметры. Студенты работают со сложным вакуумным и электрическим измерительном оборудовании под руководством преподавателя. Могут выполнять отдельные задания. На данном этапе обучения студенты должны иметь четкое представление о порядке работы с вакуумным оборудованием, но навыки самостоятельной работы они получают уже в ходе магистерской программы.

**Цель:** получение теоретических и практических знаний о формировании тонких наноструктурированных пленок в вакууме.

**Задачи:**

– Получение знаний по формированию наноструктурированных объектов

– Изучение механизмов роста тонких пленок и образования в них дефектов в процессе роста

– Установление взаимосвязи между структурой наноразмерных пленок и частиц и их физическими свойствами

– Рассмотрение особенностей формирования эпитаксиальных и поликристаллических структур

Для успешного изучения дисциплины «физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции –

- ОПК-1, способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);
- ОПК-2, способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
- ОПК-5, способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции (элементы компетенций).

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-7, способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей	знает	Физические основы формирования и механизмы роста тонких пленок, модели зародышеобразования, коалесценции и коагуляции островков, дефекты в тонких наноструктурированных пленках
	умеет	Применять электронику и персональные компьютеры для управления процессом осаждения наноструктурированных пленок. При этом от студента не требуется умения создавать программное обеспечение, студенты используют готовые программные комплексы и умеют с ними работать

профессиональной деятельности	владеет	Определенными навыками работы со сложным электронным оборудованием, позволяющим контролировать процесс получения наноструктурированных пленок и измерять их параметры
ПК-9, способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	знает	Физические основы методов магнетронного и термического осаждения тонких пленок, основы вакуумной техники
	умеет	Выбрать необходимую экспериментальную стратегию для получения тонкой пленки с заданными структурными свойствами
	владеет	Навыками работы с механическим вакуумным оборудованием, предназначенным для получения наноструктурированных пленок и исследования их свойств

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: активные лабораторные работы.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Раздел I. Рост тонких пленок (12 час)**

#### **Тема 1. Методы получения наноструктурированных пленок (4 час)**

Химическое осаждение. Термическое нанесение пленок в вакууме. Ионно-плазменное распыление. Магнетронное распыление

#### **Тема 2. Теории формирования конденсированных сред (4 час.)**

Термодинамическая теория, статистическая теория, микрокинетическая теория конденсации, теория гетерогенного образования зародышей

#### **Тема 3. Морфологические изменения при росте поликристаллических пленок (4 час)**

Взаимодействие островков с подложкой на границе раздела. Энергия химической связи, и дипольного взаимодействия и ионизации островков.

Влияние степени заполнения на местоположение островков. Механизмы конденсации. Коалесценция и коагуляция.

## **Раздел II. Свойства наноструктурированных пленок (10 часов)**

### **Тема 1. Влияние толщины пленки и температуры подложки на размер зерна поликристаллических пленок (2 час)**

Зависимость размера зерен от температуры подложки и толщины пленки. Изменение размера зерна в зависимости от температуры для тонких и толстых пленок. Влияние температуры подложки в процессе осаждения на изменение плотности большеугловых границ. Изменение поверхностей раздела в зависимости от размера зерна.

### **Тема 2. Структура тонких пленок (4 час)**

Влияние толщины пленки и температуры подложки на размер зерна поликристаллических пленок. Микронапряжения поликристаллических пленок. Механические свойства наноструктурированных пленок.

### **Тема 3. Дефекты в тонких пленках (4 час)**

Точечные дефекты. Упругие напряжения и дислокации несоответствия. Виды дислокаций. Вектор Бюргерса. Плоскости скольжения дислокаций. Взаимодействие дислокаций. Влияние технологических условий. Структура межфазных границ. Критическая толщина пленки и критический размер зерна.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

На лабораторных работах студенты знакомятся со сложным вакуумным оборудованием, но в лекциях изучение вакуумных установок не предусмотрено. Студенты должны самостоятельно найти информацию по заданной теме лабораторной работы. Сначала студенты приходят на лабораторную работу, где преподаватель им объясняет с помощью физического экспериментального оборудования те или иные аспекты изучаемой проблемы. Например, на основе имеющегося в распоряжении лабораторного вакуумного комплекса Omicron преподаватель рассказывает и



показывает студентам, как функционируют вакуумные системы в целом. После лабораторной работы студенты получают список вопросов, заданий или вспомогательных тем, которые они должны самостоятельно подготовить или изучить. Следующее лабораторное занятие проводится в форме семинарского занятия. На семинарском занятии студенты демонстрируют уровень своей подготовки в ходе дискуссии заданных проблем или защиты отчетов по лабораторным работам. Примеры составления отчета по лабораторной работе или ключевых тем по темам практических занятий приведены в Приложении 1.

### **Лабораторные работы (44 час.)**

#### **Занятие 1. Вакуумные системы (4 час.)**

1. Вакуумные насосы
2. Горизонтальные манипуляторы
3. Вертикальные манипуляторы
4. Гофрированные трубы
5. Иллюминаторы
6. Системы нагрева и охлаждения
7. Вакуумные токовводы

#### **Занятие 2. Подготовка подложек к загрузке (4 час)**

1. Типы подложек
2. Нарезка кремния
3. Стандартная чистка подложек в ультразвуковой ванне, спирте и ацетоне
4. Промывка и сушка подложек
5. Способы химической подготовки подложек
6. Типы держателей образцов

#### **Занятие 3. Методы осаждения тонких пленок (4 час)**

1. Резистивный метод.

2. Термический метод
3. Электронно-лучевой метод
4. Магнетронный метод
5. Ионно-плазменный метод

#### **Занятие 4. Расчет параметра решетки по изображениям дифракции быстрых электронов и анализ структуры пленки (8 час)**

1. Физика дифракции быстрых электронов
2. Получение изображений дифракции быстрых электронов с подложки и пленки в процессе ее роста

#### **Занятие 5. Расчет скорости осаждения материала по осцилляциям интенсивности и получение зависимостей параметра решетки от толщины пленки (8 час)**

1. Получение осцилляций интенсивности при послойном росте пленки
2. Получение данных с кварцевого измерителя толщин

#### **Занятие 6. Расчет элементного состава по рентгеновским спектрам (8 час)**

1. Физика рентгеновской спектроскопии
2. Получение рентгеновских спектров с поверхности подложки
3. Осаждение наноструктурированной пленки на подложку
4. Получение рентгеновских спектров с поверхности пленки

#### **Занятие 7. Расчет скорости осаждения по рентгеновским спектрам (8 час)**

1. Осаждение толстой пленки на кремниевую подложку, чтобы измерить спектры от объемного материала
2. Напыление двух монослоев пленки из другого материала
3. Измерение рентгеновских спектров
4. Напыление двух дополнительных монослоев пленки
5. Измерение рентгеновских спектров

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

На внеаудиторную самостоятельную работу студентам отводится 78 часов. Контролируемой самостоятельной работы по данной дисциплине не предусмотрено. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Рост тонких пленок	ОПК-7, ПК-9	знает	Лабораторные работы 1-4	Зачет, вопросы 1-19
			умеет	Лабораторные работы 1-4	Зачет, вопросы 1-19
			владеет	Лабораторные работы 1-4	Зачет, вопросы 1-19
2	Раздел II. Свойства наноструктурированных пленок	ОПК-7, ПК-9	знает	Лабораторные работы 5-7	Зачет, вопросы 20-28

			умеет	Лабораторные работы 5-7	Зачет, вопросы 20-28
			владеет	Лабораторные работы 5-7	Зачет, вопросы 20-28

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Драгунов В.П., Остертак Д.И. Микро- и наноэлектроника: Учебное пособие для ВУЗов — Новосибирск, НГТУ, 2012. — 38 с.  
<http://www.iprbookshop.ru/45107.html>
2. Берлин Б.В. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением [Электронный ресурс]/ Берлин Б.В., Сейдман Л.А. — Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2014.— 256 с.  
<http://www.iprbookshop.ru/31877.html>
3. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии : учебное пособие / под общ. ред. Л.Н. Патрикеева. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 431 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:265078&theme=FEFU>
4. Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение — М.: Юрайт, 2012. — 360 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:670440&theme=FEFU>

### **Дополнительная литература**

1. Юраков Ю.А. Получение тонких пленок сложного состава методом испарения и конденсации в вакууме: учебно-методическое пособие для вузов. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. — 18 с.  
<http://window.edu.ru/resource/535/65535>
2. Дубровский В.Г. Теоретические основы технологии полупроводниковых наноструктур : учебное пособие / В.Г. Дубровский – СПб.: СПбГПУ, 2006. – 347 с. <http://window.edu.ru/resource/346/63346>
3. Палатник Л.С. Механизм образования и суб-структура конденсированных пленок / Л.С. Палатник, М.Я. Фукс, В.М. Косевич. – М.: Наука, 1972. — 348 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:668513&theme=FEFU>
4. Воротынцев В.М. Скупов В.Д. Базовые технологии микро- и нанoeлектроники: учебное пособие / М.: Проспект, 2018. — 520 с.  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469679>
5. Чеботкевич Л.А. Теория дислокаций. — Владивосток, изд-во ДВГУ, 2007. — 142 с  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:251161&theme=FEFU>

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети  
«Интернет»**

1. Нанотехнологии в России <http://www.nanonewsnet.ru>
2. Российский электронный наножурнал <http://www.nanorf.ru>
3. Журнал «Наука и жизнь» <https://www.nkj.ru>
4. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
5. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
6. [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online».
7. [www.iqlib.ru](http://www.iqlib.ru) - Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия [www.affp.mics.msu.su](http://www.affp.mics.msu.su)

## **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

1. Программный пакет для набора текста и презентаций Microsoft office 2016.
2. Программный пакет Microsoft Excel 2016 для построения графиков и таблиц

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Приступить к освоению дисциплины следует в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы учебной дисциплины (РПУД). Обратить внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, лабораторные и практические занятия) планируется самостоятельная работа, результаты которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все аудиторные и самостоятельные задания необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с планом-графиком.

### **Использование материалов учебно-методического комплекса**

Для успешного освоения дисциплины следует использовать содержание разделов учебно-методического комплекса дисциплины: рабочей программы, лекционного курса, материалов практических занятий, методических рекомендаций по организации самостоятельной работы студентов, глоссария, перечня учебной литературы и других источников информации, контрольно-измерительных материалов (тесты, опросы, вопросы зачета), а также дополнительных материалов.

### **Рекомендации по подготовке к лекционным и практическим занятиям**

Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний.

При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники. В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;
- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

При подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

На самостоятельную работу выносятся подготовка к практическим занятиям.

При подготовке к практическим занятиям необходимо ознакомиться с материалами из основной и дополнительной литературы, выучить основной теоретический материал по теме, при необходимости, воспользоваться литературой на русском языке и/или источниками в информационно-телекоммуникационной сети "Интернет".

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В лаборатории «Пленочных технологий» при кафедре физики низкоразмерных структур имеются установки, необходимые для получения наноструктурированных пленок и магнитных наносистем (Вакуумные установки Omicron, оснащенные методами исследования структурных свойств пленок). На кафедре и в библиотеке имеется необходимая литература для освоения читаемого курса и самостоятельной работы студентов. Аудитории Лабораторного корпуса оснащены современными компьютерами и мультимедийными (презентационными) системами, с подключением к общекорпоративной компьютерной сети ДВФУ и сети Интернет.





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Физика эпитаксиальных и наноструктурированных  
пленок»**

**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
Профиль «Нанотехнологии в электронике»**

**Форма подготовки очная**

**Владивосток  
2018**

**План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине  
«Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок»**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1	1-2 неделя семестра	Подготовка к семинарскому занятию 1	8 час.	Семинар
2	3-4 недели семестра	Подготовка к семинарскому занятию 2	8 час.	Семинар
3	5-6 недели семестра	Подготовка к семинарскому занятию 3	8 час.	Семинар
4	7-8 недели семестра	Подготовка к семинарскому занятию 4, написание отчета по лабораторной работе 4	12 час.	Семинар
5	9-10 недели семестра	Подготовка к семинарскому занятию 5, написание отчета по лабораторной работе 5	12 час.	Семинар
6	11-12 неделя семестра	Подготовка к семинарскому занятию 6, написание отчета по лабораторной работе 6	12 час	Семинар
7	13-14 недели семестра	Подготовка к семинарскому занятию 7	10 час.	Семинар
8	15-16 недели семестра	Написание отчета по лабораторной работе 7	8 час.	Зачет
Итого			78 час.	

**Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа студентов состоит из работы над рекомендованной литературой, написания отчетов по лабораторным работам, подготовки к практическим занятиям.

**Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению**

После каждой лабораторной работы студентам дается список ключевых вопросов на самостоятельное изучение. Часть этих вопросов была рассмотрена в ходе лабораторного занятия, но как правило этого недостаточно для полного понимания проблем. Студенты готовятся по полученным вопросам, а затем участвуют в дискуссии по теме прошлого лабораторного занятия. Помимо ключевых вопросов студентам может быть задано домашнее

задание по обработке научной информации, полученной в ходе эксперимента, например, определение периода осаждения одного монослоя вещества по осцилляциям интенсивности зеркального рефлекса на изображениях дифракции быстрых электронов.

Задания на самостоятельную работу студентов разбиты по темам лабораторных занятий:

### **Занятие 1. Вакуумные системы**

Вопросы: вакуумные насосы, горизонтальные манипуляторы, вертикальные манипуляторы, гофрированные трубы, иллюминаторы, системы нагрева и охлаждения, вакуумные токовводы, системы напуска газов, игольчатые клапаны, пневматические заслонки, ионные лампы, системы определения давления, вакуумные смазки, вакуумные масла в насосах, их характеристики, гелиевые течеискатели, квадрупольные масс-спектрометры.

### **Занятие 2. Методы осаждения тонких пленок**

Вопросы: Типы подложек, нарезка кремния, ориентации пластин кремния, параметры кремниевых подложек, стандартная чистка подложек в ультразвуковой ванне, спирте и ацетоне, промывка и сушка подложек, способы химической подготовки подложек, типы держателей образцов, различные конструкции

### **Занятие 3. Методы осаждения тонких пленок**

Вопросы: резистивный метод, материалы спиралей, преимущества и недостатки метода, термический метод, эффузионные ячейки, характеристики метода, его преимущества и недостатки, электронно-лучевой метод, характеристики метода, его преимущества и недостатки, магнетронный и ионно-плазменный методы, их преимущества и недостатки, сравнительный анализ всех методов.

### **Занятия 4-5. Дифракция быстрых электронов**

Вопросы: дифракция быстрых электронов, устройство пушки, система линз, фокусировка электронного пучка, предельное разрешение, флуоресцентные экраны, картины дифракции быстрых электронов от простых поверхностей, например, Si(100), Si(001), Cu(111), Cu(100), расчет параметра решетки по дифракционным изображениям.

### **Занятия 6-7. Рентгеновская спектроскопия**

Вопросы: рентгеновская спектроскопия, материалы катодов, устройство пушки, длины волн излучений, полусферический перестраиваемый детектор, принципы работы, точность, ультрафиолетовая спектроскопия, принципы функционирования пушки, диапазоны длин волн получаемых спектров, сканирующая туннельная микроскопия, послойное травление аргоновым пучком, система предварительной очистки поверхности ионами аргона, какую информацию можно получить отдельным методом исследования.

#### **Задание по лабораторной работе №4.**

Студентам даются дифракционные изображения поверхности подложки, например Si(111) или Si(100), и неизвестной поверхности X какой-либо ориентации. Необходимо установить, из какого материала состоит поверхность X, определить ориентацию поверхности X относительно поверхности подложки.

#### **Задание по лабораторной работе №5.**

Студентам даются осцилляции интенсивности зеркального рефлекса при росте какого-либо слоя материала. Также студентам выдаются зависимости показаний кварцевого измерителя толщин от времени. Необходимо рассчитать период осаждения одного атомного слоя вещества. Студентам дается серия изображений дифракции быстрых электронов, снятых в процессе роста слоя вещества, и зависимость показаний кварцевого измерителя толщин от времени. Необходимо с помощью автоматизированного программного комплекса определить зависимость параметра решетки слоя от его толщины.

### **Задание по лабораторной работе №6.**

Студентам даются рентгеновские спектры поверхностей неизвестного состава. Необходимо определить химический состав поверхностей.

### **Задание по лабораторной работе №7.**

Студентам дается серия спектров, снятых с пленок материала, осажденных на известную подложку при различных продолжительностях осаждения. Необходимо определить скорость осаждения материала.

## **Требования к представлению и оформлению отчетов по лабораторным работам.**

Результаты самостоятельной работы отражаются в ходе семинарских занятий. Если после лабораторной работы задается домашнее задание, то оно должно быть оформлено в электронном виде в виде отчета и защищено. К представлению и оформлению отчетов по лабораторным работам предъявляются следующие требования.

### **Структура отчета по лабораторной работе**

Отчеты по лабораторным работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, построенные диаграммы, таблицы, приложения, список литературы и (или) расчеты, сопровождая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т. д.

Структурно отчет по лабораторной работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

✓ *Титульный лист*– обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для лабораторных работ форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета);

✓ *Исходные данные к выполнению заданий*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);

✓ *Основная часть*– материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

✓ *Выводы*– обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);

✓ *Список литературы*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);

✓ *Приложения*– необязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

### Оформление отчета по лабораторной работе

Лабораторная работа относится к категории «*письменная работа*», оформляется *по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ*.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;

- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

### Набор текста

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- ✓ печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- ✓ интервал межстрочный – полуторный;
- ✓ шрифт – Times New Roman;
- ✓ размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- ✓ выравнивание текста – «по ширине»;
- ✓ поля страницы -левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;
- ✓ нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).
- ✓ режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все *приложения* включаются в общую сквозную нумерацию страниц работы.

#### Рекомендации по оформлению графического материала, полученного с экранов в виде «скриншотов»

Графические копии экрана («скриншоты»), отражающие графики, диаграммы моделей, схемы, экранные формы и т. п. должны отвечать требованиям визуальной наглядности представления иллюстративного материала, как по размерам графических объектов, так и разрешающей способности отображения текстов, цветовому оформлению и другим важным пользовательским параметрам.

Рекомендуется в среде программного приложения настроить «экран» на параметры масштабирования и размещения снимаемых для иллюстрации объектов. При этом необходимо убрать «лишние» окна, команды, выделения объектов и т. п.

В перенесенных в отчет «скриншотах» рекомендуется «срезать» ненужные области, путем редактирования «изображений», а при необходимости отмасштабировать их для заполнения страницы отчета «по ширине».

«Скриншоты» в отчете оформляются как рисунки, с заголовками, помещаемыми ниже области рисунков, а в тексте должны быть ссылки на указанные рисунки.

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

*Оценивание лабораторных работ* проводится по критериям:

- полнота и качество выполненных заданий;



- владение методами и приемами компьютерного моделирования в исследуемых вопросах, применение специализированных программных средств;

- качество оформления отчета, использование правил и стандартов оформления текстовых и электронных документов;

- использование данных отечественной и зарубежной литературы, источников сети Интернет, информации нормативно-правового характера и передовой практики;

- отсутствие фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине «Физика эпитаксиальных и наноструктурированных  
пленок»  
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
Профиль «Нанотехнологии в электронике»  
Форма подготовки очная

**Владивосток**  
**2018**

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-7, способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности	знает	Физические основы формирования и механизмы роста тонких пленок, модели зародышеобразования, коалесценции и коагуляции островков, дефекты в тонких наноструктурированных пленках
	умеет	Применять электронику и персональные компьютеры для управления процессом осаждения наноструктурированных пленок. При этом от студента не требуется умения создавать программное обеспечение, студенты используют готовые программные комплексы и умеют с ними работать
	владеет	Определенными навыками работы со сложным электронным оборудованием, позволяющим контролировать процесс получения наноструктурированных пленок и измерять их параметры
ПК-9, способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	знает	Физические основы методов магнетронного и термического осаждения тонких пленок, основы вакуумной техники
	умеет	Выбрать необходимую экспериментальную стратегию для получения тонкой пленки с заданными структурными свойствами
	владеет	Навыками работы с механических вакуумным оборудованием, предназначенным для получения наноструктурированных пленок и исследования их свойств

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Рост тонких пленок	ОПК-7, ПК-9	знает	Лабораторные работы 1-4	Зачет, вопросы 1-19
			умеет	Лабораторные работы 1-4	Зачет, вопросы 1-19
			владеет	Лабораторные работы 1-4	Зачет, вопросы 1-19
2	Раздел II. Свойства наноструктурированных пленок	ОПК-7, ПК-9	знает	Лабораторные работы 5-7	Зачет, вопросы 20-28

			умеет	Лабораторные работы 5-7	Зачет, вопросы 20-28
			владеет	Лабораторные работы 5-7	Зачет, вопросы 20-28

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ОПК-7, способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности	знает	Физические основы формирования и механизмы роста тонких пленок, модели зародышеобразования, коалесценции и коагуляции островков, дефекты в тонких наноструктурированных пленках	Воспроизводит и объясняет учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты	Способен детально объяснить физические принципы методов осаждения тонких пленок материалов, знает преимущества и недостатки каждого метода, применимость с различными материалами
	умеет	Применять электронику и персональные компьютеры для управления процессом осаждения наноструктурированных пленок. При этом от студента не требуется умения создавать программное обеспечение, студенты используют готовые программные комплексы и умеют с ними работать	Способен напылить пленку заданного состава	Умеет работать с кварцевым измерителем толщин, ознакомлен с программным обеспечением, контролирующим процесс осаждения тонких пленок

	владеет	Определенными навыками работы со сложным электронным оборудованием, позволяющим контролировать процесс получения наноструктурированных пленок и измерять их параметры	Навыками работы с вакуумной техникой	Способен загрузить образец в вакуум, переместить образец в вакуумной камере, ориентировать образец нужным образом по отношению к молекулярному пучку, попадающему на поверхность образца
ПК- 4, способность проводить комплексные исследования на различных экспериментальных установках взаимодополняющими методами с последующим анализом и теоретическим моделированием полученных данных	Знает (пороговый уровень)	Как строится научно-исследовательский проект, его структуру и основные составные части	Грамотно составляет научный отчет	Отчет составлен правильно, экспериментальные результаты представлены надлежащим образом
	умеет (продвинутый)	Выбирать и реализовать эффективную методику экспериментальных исследований	Методика обработки экспериментальных результатов выбрана верно	Экспериментальные результаты обработаны полно
	владеет (высокий)	Общей характеристикой работ по формированию новых объектов электроники и микроэлектроники	Знаниями, которые позволяют анализировать обработанные экспериментальные результаты	Правильно сделанные выводы в домашних заданиях

**Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины «Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок»**

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине «Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Текущая аттестация по дисциплине «Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок» проводится в форме контрольных мероприятий (семинарских занятий и защите отчетов по

лабораторным работам) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);

- степень усвоения теоретических знаний;

- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;

- результаты самостоятельной работы.

По каждому объекту дается характеристика процедур оценивания в привязке к используемым оценочным средствам.

#### **Критерии оценки работы на практическом / семинарском занятии**

<b>Оценка</b>	<b>50-60 баллов (неудовлетворительно)</b>	<b>61-75 баллов удовлетворительно)</b>	<b>76-85 баллов (хорошо)</b>	<b>86-100 баллов (отлично)</b>
<b>Критерии</b>	<b>Содержание критериев</b>			
<b>Учебная дисциплина</b>	Посещение менее 50% от общего количества занятий	Посещение от 50 до 65% от общего количества занятий	Посещение от 65 до 75% от общего количества занятий	Посещение от 75 до 100% от общего количества занятий
<b>Степень усвоения теоретических знаний</b>	В семинарском занятии не принимает участия	Принимает участие в семинарском занятии, ориентируется в проблеме, но допускает много ошибок, не может полно раскрыть даже один вопрос по заданной теме	Принимает участие на семинарском занятии, может раскрыть заданный вопрос	Активно принимает участие на семинарском занятии, дополняет ответы других участников семинара
<b>Уровень овладения практическими умениями</b>	Графический материал в домашних заданиях не оформлен надлежащим образом	Графический материал оформлен в соответствии с требованиями, но с множеством ошибок	Графический материал оформлен в соответствии с требованиями, но недочетами	Графический материал оформлен в соответствии с требованиями

## Критерии оценки выполнения отчета по лабораторной работе

Оценка	50-60 баллов (неудовлетворительно)	61-75 баллов удовлетворительно)	76-85 баллов (хорошо)	86-100 баллов (отлично)
Критерии	Содержание критериев			
<b>Теоретическая подготовка</b>	Студент не может объяснить основные принципы работы экспериментальной лабораторной установки	Студент может объяснить основные принципы работы экспериментальной лабораторной установки	Студент может объяснить принципы работы экспериментальной лабораторной установки, отвечает на дополнительные вопросы	Студент может объяснить принципы работы экспериментальной лабораторной установки в деталях
<b>Структура и объем отчета</b>	В отчете недостает части научных результатов	В отчете отражены в графическом и текстовом формате все необходимые научные результаты	В отчете все необходимые научные результаты отражены без существенных замечаний к оформлению	В отчете все необходимые научные результаты отражены грамотно в удобном для восприятия виде
<b>Методика обработки результатов</b>	Студент полностью не понимает, как нужно обрабатывать измерения	Студент частично понимает методику обработки измерений	Студент достаточно понимает методику обработки измерений, чтобы оформить отчет	Студент детально понимает методику обработки измерений
<b>Понимание научной проблемы</b>	Студент не сделал выводы или выводы по отчету неверны, результаты обработаны неверно	Студент сделал выводы, но они содержат грубые ошибки, результаты обработаны в целом верно, но с ошибками	Студент сделал выводы, но они содержат незначительные ошибки, результаты обработаны в целом верно	Студент сделал правильные выводы, результаты обработаны верно

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок» проводится в виде зачета, форма зачета – два

устных вопроса. Допуск к зачету возможен только после сдачи всех отчетов по лабораторным работам и защиты всех семинарских занятий.

### **Вопросы к зачету**

1. Термодинамическая теория формирования пленок.
2. Структурные дефекты (дислокации)
3. Статистическая теория образования пленок.
4. Структурные дефекты (мало угловые и больше угловые границы)
5. Микрокинетическая теория конденсации
6. Роль температуры подложки и скорости осаждения при формировании структуры пленок
7. Полная и неполная конденсация
8. Зависимость размеров кристаллитов от температуры подложки и толщины пленок
9. Теория гетерогенного образования зародышей
10. Источники напряжений в пленках
11. Роль контактного угла при образовании зародышей
12. Сравнение напряжений в поли- и монокристаллических пленках при растяжении (и причины)
13. Основные типы морфологических изменений. Влияние температуры подложки на прочность пленок
14. Механизмы конденсации пленок
15. Влияние размеров зерен на магнитные параметры (коротковолновую рябь намагниченности и наведенную анизотропию)
16. Условия полной и неполной конденсации
17. Зависимость электросопротивления от размера зерна
18. Роль ступенек подложки при формировании пленки
19. Роль контактного угла при формировании пленок.
20. Вакуумные насосы
21. Измерители давления в вакуумных системах



22. Дифракция быстрых электронов. Устройство экспериментального оборудования и принципы получения изображений.
23. Расчет изображений дифракции быстрых электронов.
24. Осцилляции интенсивности в дифракции быстрых электронов при росте тонких пленок.
25. Методы осаждения тонких пленок.
26. Рентгеновская спектроскопия. Устройство экспериментального оборудования.
27. Рентгеновские спектры. Особенности анализа. Информация, получаемая из рентгеновских спектров.
28. Фотоэлектронная спектроскопия. Физические основы. Информация, получаемая данным методом исследования.

**Критерии выставления оценки студенту на зачете по дисциплине  
«Физика эпитаксиальных и наноструктурированных пленок»:**

Оценка (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
«зачтено»	<p>Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами вопросами и другими видами применения знаний;</p> <p>применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.</p> <p>Студент должен уметь работать с лабораторным сверхвысоковакуумным оборудованием, аналитическим измерительным оборудованием. У студента сданы все отчеты по лабораторным работам и защищены все практические занятия.</p>
«не зачтено»	<p>Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями</p>

	выполняет практические работы, имеет хотя бы одну задолженность по лабораторным работам.
--	--