

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  В.А. Небольсин  
«26»  2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины

«Тонкопленочные материалы и устройства»

Направление подготовки 16.04.01 ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Профиль Прикладная физика твердого тела

Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2019

Автор программы



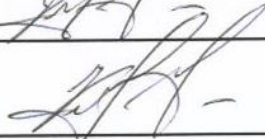
/Янченко Л.И./

И.О. Зав. кафедрой  
Физики твердого  
тела



/Костюченко А.В./

Руководитель  
ОПОП



/Костюченко А.В./

Воронеж 2019

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины** формирование у студентов систематических знаний о фундаментальных принципах, определяющих структуру и физические свойства тонких пленок, а также влияющих на изменение физических свойств твердых тел при переходе к тонкопленочному состоянию, которые составляют основу подготовки специалистов в области электронной техники и физики твердого тела.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных профессиональных задач;

овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;

умение ориентироваться в научно-технической информации;

формирование навыков по применению положений фундаментальной теории к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми магистру придется сталкиваться при создании или использовании новой техники и новых технологий;

умение использовать физические принципы и законы, а также результаты экспериментальных открытий в тех областях техники, в которых они будут трудиться;

ознакомление студентов с историей и логикой развития научных знаний о тонких пленках.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Тонкопленочные материалы и устройства» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Тонкопленочные материалы и устройства» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-6 - способностью самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств

ДПК-2 - способность самостоятельно разрабатывать новые материалы, элементы, приборы и устройства электронной техники, работающие на новых физических принципах

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-6	Знать основные физические явления и основные законы физики тонких пленок; границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях; методы получения тонких пленок металлов, полупроводников и диэлектриков;
	Уметь выбирать метод, режимы распыления и условия осаждения материала для обеспечения формирования требуемой структуры; выявлять факторы, влияющие на механизм роста и структуру

	<p>формирующейся пленки;          истолковывать смысл физических величин и понятий;          объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий;</p>
	<p>Владеть навыками исследования физических свойств тонких пленок;          навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач;</p>
ДПК-2	<p>Знать закономерности и механизмы роста тонких пленок;          электрические и магнитные свойства тонких и островковых пленок;          о механических свойствах тонких пленок и напряжениях, возникающих в них в процессе роста</p>
	<p>Уметь работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории;          использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных;          использовать методы адекватного физического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем.</p>
	<p>Владеть навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории;          навыками обработки и интерпретирования результатов эксперимента;</p>

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Тонкопленочные материалы и устройства» составляет 2 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	45	45
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	9	9
<b>Самостоятельная работа</b>	27	27
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	72	72
зач.ед.	2	2

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС
1	Методы получения тонких пленок металлов, полупроводников, диэлектриков. Методы контроля структуры и химического состава поверхности и пленок	Испарение и конденсация в вакууме. Элементарные сведения о физике процессов. Способы и техника испарения. Способы подготовки поверхностей подложек для наращивания пленок. Методы исследования атомной структуры поверхности. Исследование морфологии поверхности подложек и пленок. Методы исследования химического состава тонких пленок и поверхности подложек.	6	6	3	8
2	Механизмы роста пленок.	Виды роста пленок при конденсации из паровой фазы. Эволюция представлений о росте пленок по механизму Фольмера и Вебера. Рост пленок по механизму Франка и Ван дер Мерве. Критическая толщина псевдоморфного слоя. Структура псевдоморфного слоя. Механизм релаксации упругих деформаций псевдоморфного слоя. Структурные превращения при росте пленок по Крастанову и Странскому. Критерии ориентированной кристаллизации пленок. Ориентированная кристаллизация пленок на неориентирующих (аморфных) подложках	6	6	4	10
3	Особенности физических свойств тонких пленок. Некоторые примеры практического	Механические свойства пленок. Адгезия. Упругость, пластичность, прочность и микротвердость пленок. Макронапряжения. Общие закономерности поведения макронапряжений в зависимости от параметров роста и последующей термообработки пленок. Внутреннее трение и демпфирующая способность пленок.	6	6	2	9

применения тонких пленок в электронике, вычислительной технике и приборостроении.	<p>Электропроводность пленок. Механизм электропроводности островковых конденсированных пленок металлов на диэлектрических подложках. Электропроводность сплошных пленок. Классический размерный эффект. Квантовый размерный эффект. Температурная зависимость электропроводности</p> <p>Ферромагнитные пленки. Доменная структура. Процесс перемагничивания. Петля гистерезиса. Размерные эффекты некоторых свойств ферромагнитных пленок. Использование восстанавливающего действия поля анизотропии в создании элементов памяти</p> <p>Пленочные резисторы. Пленочные конденсаторы. Тонкопленочный транзистор. Тонкопленочный диод. Тонкопленочные интегральные схемы. Металлизация.</p>				
<b>Итого</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>27</b>

#### Практические занятия

№ п/п	Тема практического занятия	Объем часов	Форма контроля
	<b>Раздел 1. Методы получения пленок металлов, полупроводников, диэлектриков</b>	4	
1	Ионное распыление. Ионно-плазменное (катодное) распыление. Ионно-лучевое распыление.	2	Доклад на семинаре
2	Химические методы получения пленок. Химическое осаждение из газовой фазы	2	Реферат
	<b>РАЗДЕЛ 2. Методы контроля структуры и химического состава поверхности подложек и пленок</b>	4	
3	Дифракция медленных электронов. Дифракция быстрых электронов. Просвечивающая электронная микроскопия. Электронно-зондовый микроанализ.	2	Доклад на семинаре
4	Электронная Оже-спектроскопия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, вторично-ионная масс-спектрометрия.	2	Реферат
	<b>РАЗДЕЛ 3. Механизмы роста пленок</b>	2	
5	Теоретические модели образования зародышей. Капиллярная модель. Атомистическая модель. Кинетика зарождения. Метод кинетических уравнений. Кинетика	2	Реферат

	роста свободных островков. Рост изолированного островка. Рост островков в ансамбле. Кинетика поздних стадий роста пленки. Влияние дефектов подложки		
	<b>РАЗДЕЛ 4.</b> Особенности физических свойств тонких пленок	4	
6	Гальваномагнитный размерный эффект. Эффект Холла. Тензоэффект островковых пленок. Сверхпроводимость пленок. Критическая температура. Критическое поле. Критический ток тонких пленок. Размерный эффект проводимости пленок полупроводников.	2	Реферат
7	Теплофизические свойства тонких пленок. Методы исследования. Тепловое расширение. Излучательная способность. Теплопроводность. Температуропроводность. Теплоемкость	2	Реферат.
8	Массоперенос в тонких пленках. Диффузия в тонких пленках. Электромиграция в пленочных проводниках	2	Доклад на семинаре
	<b>РАЗДЕЛ 5.</b> Некоторые примеры практического применения тонких пленок в электронике, вычислительной технике и приборостроении	2	
9	Устройства на магнитных пленках, криотроны	2	Доклад на семинаре
Итого часов		18	

## 5.2 Перечень лабораторных работ

№ п/п	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Форма контроля
<b>РАЗДЕЛ 1.</b> Методы получения пленок металлов, полупроводников, диэлектриков		4	
1	Получение тонких пленок в вакууме распылением металлических мишеней	4	Опрос, отчет
<b>РАЗДЕЛ 2.</b> Методы контроля структуры и химического состава поверхности подложек и пленок		4	
2	Определение размера гранул с помощью программы Gatan DigitalMicrograph Электронно-микроскопические исследования гетерогенных тонкопленочных структур	4	Опрос, отчет
<b>РАЗДЕЛ 3.</b> Особенности физических свойств тонких пленок		4	
3	Исследование газовой чувствительности пленок оксидных полупроводников (In-Y-O-C).	4	Опрос, отчет
<b>РАЗДЕЛ 4.</b> Некоторые примеры практического применения тонких пленок в электронике, вычислительной технике		4	
4	Исследование характеристик солнечных фотопреобразователей	4	Опрос, отчет
Зачетное занятие		2	Зачет

Итого часов	18
-------------	----

### Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Вид СРС	Форма контроля	Объем часов
1	Подготовка поверхности полупроводниковых кристаллов в технологии производства приборов на их основе.	Опрос	
2	Подготовка к лабораторной работе		
3	Рост из жидкой фазы. Осаждение из химического раствора. Твердофазные методы	Реферат	
4	Элементы кристаллографии поверхности Атомная структура поверхности монокристаллов, диэлектриков	Семинар.	
5	Стохастические модели роста. Вводные замечания и классификация моделей. Дискретные модели. Континуальные модели. Приложения моделей	Опрос	
6	Подготовка к зачету по лабораторной работе	Зачет	
7	Атомная структура и субструктура межфазных границ. Атомная структура и морфология свободной поверхности пленок. Субструктура многослойных пленочных композиций	Опрос	
8	Изучение теоретического материала	Зачет	
9	Подготовка к коллоквиуму	Коллоквиум	
11	Подготовка к отчету по лабораторной работе	Опрос	
12	Классификация макронапряжений в пленках. Механизм образования. Способы измерения макронапряжений в пленках	Реферат	
14	Подготовка к отчету по лабораторной работе	Зачет	
15	Свойства диэлектрических пленок. Диэлектрическая проницаемость. Потери в диэлектрических пленках. Электропроводность диэлектрических пленок	Опрос	
16	Изучение теоретического материала	Опрос	
18	Подготовка к отчету по лабораторной работе	Зачет	
Итого часов: 27			1

### 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не

предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-6	знать основные физические явления и основные законы физики тонких пленок; границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях; методы получения тонких пленок металлов, полупроводников и диэлектриков;	Решение задач, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь выбирать метод, режимы распыления и условия осаждения материала для обеспечения формирования требуемой структуры; выявлять факторы, влияющие на механизм роста и структуру формирующейся пленки; истолковывать смысл физических величин и понятий; объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий;	Решение задач, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками исследования физических свойств тонких пленок; навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач;	Решение задач, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный



				ый в рабоч их прогр амма х
ДПК-2	знать закономерности и механизмы роста тонких пленок; электрические и магнитные свойства тонких и островковых пленок; о механических свойствах тонких пленок и напряжениях, возникающих в них в процессе роста	Решение задач, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории; использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных; использовать методы адекватного физического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем.	Решение задач, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории; навыками обработки и интерпретирования результатов эксперимента;	Решение задач, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 3 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
-------------	---	---------------------	---------	------------

ПК-6	<p>знать основные физические явления и основные законы физики тонких пленок; границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях;</p> <p>методы получения тонких пленок металлов, полупроводников и диэлектриков;</p>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<p>уметь выбирать метод, режимы распыления и условия осаждения материала для обеспечения формирования требуемой структуры;</p> <p>выявлять факторы, влияющие на механизм роста и структуру формирующейся пленки; истолковывать смысл физических величин и понятий;</p> <p>объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий;</p>	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<p>владеть навыками исследования физических свойств тонких пленок;</p> <p>навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач;</p>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ДПК-2	<p>Знать закономерности и механизмы роста тонких пленок;</p> <p>электрические и магнитные свойства тонких и островковых пленок;</p> <p>о механических свойствах тонких пленок и напряжениях, возникающих в них в процессе роста</p>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<p>уметь работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории;</p> <p>использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных;</p> <p>использовать методы адекватного физического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем.</p>	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<p>владеть навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории;</p> <p>навыками обработки и интерпретирования результатов эксперимента;</p>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

**7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Какое условие должно выполняться, для того, чтобы пленку можно было считать «тонкой»? (Критерий того, что пленка действительно является тонкой)
2. В чем основное отличие физических методов получения тонкой пленки от химических?
3. Перечислить основные стадии процесса напыления пленки физическими методами.
4. Чем «прямой нагрев» отличается от «косвенного» в методах вакуумного напыления?
5. В чем основное отличие термовакuumного метода напыления пленок от метода катодного напыления?
6. Перечислить способы с помощью которых испаряется твердое вещество в методах термо-вакуумного напыления?
7. Дать определение понятия "давление насыщенного пара".
8. Дать определение понятия "условная температура испарения".
9. Что конденсируется на поверхности подложки в методах термо-вакуумного напыления – ионы или атомы?
10. Что является рабочей атмосферой внутри камеры в методах термо-вакуумного напыления?
11. Что такое коэффициент распыления?
12. Для чего в методах ионно-плазменного напыления используется аргон?
13. Каким образом происходит ионизация атомов аргона?
14. Что конденсируется на поверхности подложки в методах ионно-плазменного напыления – ионы или атомы?
15. Что является источником электронов в методе катодного (двух-электродного) распыления?
16. Почему газовый разряд в методе катодного распыления называется «самостоятельный тлеющий разряд»?
17. Какие процессы происходят в области «темного катодного пространства» в методе катодного распыления?
18. Как соотносятся (что больше) длина свободного пробега и расстояние мишень-подложка в методе катодного распыления?
19. Почему в методе ионно-плазменного распыления можно использовать более низкое рабочее давление по сравнению с катодным распылением?
20. Что является источником электронов в методе трехэлектродного ионно-плазменного распыления?

21. Зачем в методе ионно-плазменного распыления используют магнитное поле?
22. Какая необходимость обуславливает использование методов ВЧ-распыления? Какая проблема решается этим способом?
23. В чем особенность магнетронного распыления?
24. Почему при магнетронном распылении скорость напыления пленки более высокая по сравнению с другими методами?
25. Почему в методе магнетронного напыления возникают проблемы с распылением магнитных материалов?
26. Основная особенность реактивного напыления?
27. Какой смысл кроется в названии «реактивное»?

Какие материалы можно получать с помощью реактивного напыления и какая рабочая атмосфера для этого используется? (привести примеры).

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

28. Что такое «критический зародыш»?
29. Что такое «поверхность раздела»?
30. Чем гомогенное зародышеобразование отличается от гетерогенного?
31. При гомогенном зародышеобразовании появление новой фазы (появление зародышей) приводит к изменению энергии Гиббса системы ( $\Delta G$ ). Какие слагаемые, дающие вклад в  $\Delta G$ , при этом рассматриваются? Изменение энергии за счет какого фактора рассматривает каждое слагаемое?
32. Почему при образовании новой фазы (при появлении зародышей) в объеме исходной фазы система вынуждена преодолевать потенциальный барьер? Почему существует потенциальный барьер для формирования зародышей новой фазы?
33. От чего зависит размер критического зародыша? Как можно уменьшить размер критического зародыша?
34.  $\mu$  - это химический потенциал,  $\Delta\mu$  - изменение химического потенциала системы или разность между химическим потенциалом системы в начальном состоянии (до появления зародышей новой фазы) и химическим потенциалом новой фазы. Можно ли воздействуя на систему менять величину  $\Delta\mu$ ? Если да – привести примеры.
35. Какой, примерно, размер имеют критические зародыши металла при конденсации из пара? Какой размер при кристаллизации из расплава?
36. При образовании зародыша какой формы высота потенциального барьера меньше: изотропного (сферического) или анизотропного (то есть имеющего определенную кристаллографическую огранку)?
37. При рассмотрении гетерогенного зародышеобразования, какое слагаемое добавляется в выражение для  $\Delta G$ ?

38. В каком случае высота потенциального барьера меньше: в случае гомогенного или гетерогенного зародышеобразования? От чего зависит изменение высоты барьера?

39. Появление зародыша новой фазы в системе приводит к росту энергии Гиббса, это термодинамически не выгодно. Объяснить, каким образом зародыш «умудряется» достигнуть критического размера, после чего его рост ведёт уже к уменьшению энергии.

40. Какие два механизма определяют рост зародыша новой фазы?

41. При каком механизме роста размер зародыша будет линейно пропорционален времени?

42. Что является основным фактором, влияющим на то какой механизм формирования пленки на поверхности подложки (островковый, послойный или комбинированный) будет реализован?

43. В каком случае пленка будет расти по островковому механизму (Фольмера-Вебера)?

44. В каком случае пленка будет расти по послойному механизму (Франка - Ван дер Мерве)?

45. Чем отличается механизм роста Франка - Ван дер Мерве от механизма Крастанова – Странского?

46. Какой вид структурных дефектов будет основным в случае реализации механизма Франка - Ван дер Мерве, какой - в случае Фольмера-Вебера?

Нарисовать график зависимости упругой деформации от толщины пленки, растущей по механизму Франка - Ван дер Мерве

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

47. Как влияет температура подложки на размер зерен в формирующейся пленке:

- увеличение температуры подложки приводит к \_\_\_\_ размера зерна, почему так?

- уменьшение температуры подложки приводит к \_\_\_\_ размера зерна, почему так?

48. Как влияет термический отжиг поликристаллической пленки на размер зёрен? Почему так? Какие процессы могут при этом происходить?

49. Какие материалы могут использоваться в качестве подложек?

50. Методы очистки подложки (просто названия)?

51. Суть метода очистки подложки ионной бомбардировкой, плюсы, минусы.

52. Суть метода очистки подложки прогревом в вакууме, плюсы, минусы.

53. Какие методы очистки подложек дают наилучшие результаты и

почему?

54. Классификация микронапряжений в пленках, формируемых на подложках.

55. Чем определяется электрическое сопротивление металлов? С чем связан положительный знак температурного коэффициента электросопротивления у металлов?

56. Чем обусловлено остаточное сопротивление металлов при низких (гелиевых) температурах (если, конечно, металл не является сверхпроводником)?

57. В чем суть классического размерного эффекта?

58. Как влияет толщина металлической пленки на величину её удельного электросопротивления ?

59. При каких условиях в сплошной металлической пленке начинает проявляться размерный эффект?

60. Основные экспериментально наблюдаемые особенности электрических свойств островковых пленок?

61. Какой знак имеет температурный коэффициент сопротивления у островковых пленок? Объяснить почему.

62. Как будет меняться сопротивление островковой пленки при охлаждении если измерение будет проводиться на: - постоянном токе; - переменном токе высокой частоты?

63. Как толщина ферромагнитной пленки влияет на величину температуры Кюри?

64. Чем определяется ширина доменной стенки в ферромагнитном материале?

65. В чем заключается отличие доменной стенки Блоха от доменной стенки Неля?

66. Какие доменные стенки более вероятны в случае тонкой пленки (Блоха или Неля), почему?

Как проявляется магнитная анизотропия формы в тонких пленках?

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Испарение и конденсация в вакууме.
2. Ионное распыление.
3. Химические методы получения пленок.

4. Способы подготовки поверхностей подложек для наращивания пленок.
5. Методы исследований атомной структуры поверхности.
6. Исследование морфологии поверхности подложек и пленок.
7. Методы исследования химического состава тонких пленок и поверхности подложек (электронно-зондовый микроанализ, электронная Оже-спектроскопия).
8. Методы исследования химического состава тонких пленок и поверхности подложек (рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, вторично-ионная масс-спектрометрия).
9. Сравнительная характеристика механизмов роста пленок.
10. Рост по Фольмеру-Веберу (термодинамическая теория).
11. Рост по Фольмеру-Веберу (атомистическая теория).
12. Рост по Франку и Ван дер Мерве.
13. Рост по Крастанову – Странскому.
14. Механические свойства пленок (адгезия, упругость, пластичность, прочность, микротвердость).
15. Механические свойства пленок (макронапряжения: классификация и механизм образования).
16. Механические свойства пленок (макронапряжения: способы измерения и общие закономерности поведения).
17. Механические свойства пленок (внутреннее трение).
18. Механизмы электропроводности островковых пленок.
19. Электропроводность сплошных пленок. Эффект Холла. Тензоэффект.
20. Сверхпроводимость пленок.
21. Свойства диэлектрических пленок.
22. Ферромагнитные пленки.
23. Примеры практического применения тонких пленок в электронике, вычислительной технике и приборостроении.

### **7.2.5 Примерный перечень заданий для экзамена**

Не предусмотрено учебным планом

### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

*(Например: Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из*

которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Методы получения тонких пленок металлов, полупроводников, диэлектриков Методы контроля структуры и химического состава поверхности подложек и пленок	ПК-6, ДПК-2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Механизмы роста пленок	ПК-6, ДПК-2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Особенности физических свойств тонких пленок Некоторые примеры практического применения тонких пленок в электронике, вычислительной технике и приборостроении	ПК-6, ДПК-2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики



выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Иевлев В.М., Бугаков А.В., Трофимов В.И. Рост и субструктура конденсированных пленок Учебное пособие.-Воронеж: ВГТУ.-2000.-123 с. печатн

2. Пасынков В.В. Материалы электронной техники Учебник-СПб.: Лань, 2004.-368 с. печатн.

3. Л.И. Янченко, М.А. Каширин МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к лабораторным работам № 1—4 по дисциплине «Тонкопленочные материалы и устройства» для студентов направления 223200.68 «Техническая физика. Прикладная физика твердого тела» Воронеж, ВГТУ, 2013. 35 с. Эл

4. Л.И. Янченко Методические указания к практическим работам по дисциплине «Тонкопленочные материалы и устройства» для студентов направления 223200.68 «Техническая физика» (магистерская программа подготовки «Прикладная физика твердого тела») очной формы обучения ВГТУ, Воронеж, 2013, 270-2013, 0,9 п.л.,15 с., Эл

### **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

Автоматизированный измерительный комплекс сбора и предварительной обработки экспериментальных данных

Программа обработки и анализа микроскопических исследований ImageJ

Графическая обработка экспериментальных данных Origin 8.0

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ**

## ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.
2. Учебно-научная лаборатория “Нанотехнологии и наноматериалы”.
3. Учебно-научная лаборатория “Технология материалов электронной техники”.
4. Учебно-научная лаборатория “Физических методов исследования”.

Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума

### 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Тонкопленочные материалы и устройства» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета размерного эффекта физических свойств тонких пленок. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать

	дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.