

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники и электроники
В.А. Небольсин/
И.О. Фамилия
30 августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Физика тонких пленок»

Направление подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия
код и наименование направления подготовки

Направленность 01.04.07 – Физика конденсированного состояния
название направленности/программы

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Нормативный период обучения 4 года
Очная/заочная (при наличии)

Форма обучения Очная

Год начала подготовки 2021 г.

Автор(ы) программы _____ В.М. Иевлев
подпись и печать

Заведующий кафедрой _____ Ю.Е. Калинин
наименование кафедры, реализующей дисциплину
подпись

Руководитель ОПОП _____ Ю.Е. Калинин
подпись

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Цель дисциплины – усвоение сложившихся представлений о росте, особенностях структуры и свойств тонких пленок и пленочных гетеросистем, приобретение практических навыков по методам получения и исследования пленочных структур.

1.2. Задачи освоения дисциплины

1.2.1-определить взаимосвязь между внешними параметрами процесса формирования полупроводниковых, диэлектрических, металлических пленок и изменениями во внутренней структуре, в том числе на атомном уровне;

1.2.2-рассмотреть физические закономерности и механизмы процессов испарения, массопереноса и конденсации вещества в виде пленок в условиях высокого и сверхвысокого вакуума, рассмотреть процессы дефектообразования;

1.2.3-рассмотреть особенности формирования наноструктурированных объектов электронной техники и композитов, методы их самоорганизации;

1.2.4-рассмотреть принципиальные вопросы обеспечения высокого и сверхвысокого вакуума исходя из физико-химических свойств конструкционных материалов технологического и аналитического оборудования;

1.2.5-рассмотреть вопросы контрольно-измерительных приборов для оценки параметров технологического процесса и его продуктов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физика тонких пленок» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

2.1. Связь с предшествующими знаниями.

Изучение дисциплины специализации связано с базовыми знаниями курса физики конденсированного состояния и кристаллографии.

2.2. Связь с последующими дисциплинами.

Изучение дисциплины специализации связано с подготовкой выпускной квалификационной работы.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика тонких пленок» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 - способностью осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, готовность к профессиональному росту, к активному участию в научной и преподавательской деятельности, конференциях, выставках и презентациях

ПК-6 - способностью представлять результаты исследования в формах отчетов, рефератов, публикаций и презентаций

ПК-7 - способностью демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе и тех, которые находятся на передовом рубеже физики конденсированного состояния

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	знать- механизмы (виды) роста пленок, фазовые, субструктурные превращения при росте, размерный эффект структуры и всех физических свойств пленок неорганических материалов, методы исследования структуры и свойств;
	уметь- предсказывать ожидаемый вид роста пленок заданных систем, анализировать данные по фазовому составу, субструктуре, ориентации пленок;
	владеть- основными методами расчета критических параметров проявления размерных эффектов
ПК-6	знать- экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований, используемые при подготовке в области физики тонких пленок (ФТП)
	уметь- пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями ФТП
	владеть- навыками представления результатов исследований в формах отчетов, рефератов, публикаций и презентаций
ПК-7	знать- современные физико-математические методы для решения профессиональных задач
	уметь- применять современные физико-математические методы для решения профессиональных задач; составлять рекомендации по практическому использованию полученных результатов
	владеть- современными физико-математическими методами для решения профессиональных задач; навыками составления рекомендаций по практическому использованию полученных результатов

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физика тонких пленок» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	18	18
В том числе:		
Лекции	18	18
Самостоятельная работа	90	90
Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

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	СРС	Всего, час
1	Виды роста пленок. Критерии ориентированной кристаллизации	Общая характеристика видов роста, критерии их прогноза и методы выявления. Критерии ориентированной кристаллизации. Ориентированная кристаллизация пленок на неориентирующих (аморфных) подложках.	4	14	18
2	Рост пленок по механизму Фольмера и Вебера. Дискретные наноструктуры	Основные теоретические модели зародышеобразования на свободной поверхности при конденсации из паровой фазы в вакууме. Кинетика зародышеобразования при конденсации из однокомпонентной паровой фазы. Структура, форма и ориентация дискретных наноконденсатов.	4	14	18
3	Субструктурные превращения при росте по механизму Франка и Ван дер Мерве	Критическая толщина псевдоморфного слоя. Структура псевдоморфного слоя. Фазовый размерный эффект при эпитаксиальном росте.	2	14	16
4	Рост пленок по механизму Странского и Крастанова. Двухмерные наноструктуры	Механизм взаимодействия адатомов, приводящий к образованию двухмерных структур.	2	16	18
5	Природа и механизм образования дефектов кристаллической структуры пленок	Точечные дефекты. Дислокации. Дефекты упаковки. Границы зерен. Атомная структура и морфология свободной поверхности пленок.	2	16	18
6	Тонкопленочные гетероструктуры	Возможные варианты пленочных гетероструктур. Многофазные гетероструктуры с произвольным пространственным распределением фаз. Многослойные ориентированные гетероструктуры. Классификация межфазных границ.	2	8	10
7	Свойства пленок и пленочных гетероструктур	Механические свойства пленок: адгезия; упругость, пластичность, прочность и микротвердость пленок и многослойных пленочных гетероструктур; макронапряжения (классификация макронапряжений в пленках, механизм образования, способы измерения макронапряжений в пленках); Механизм электропроводности островковых конденсированных пленок металлов на диэлектрических подложках. Классический размерный эффект электропроводности сплошных пленок. Квантовый размерный эффект. Гальваномагнитный эффект. Эффект Холла. Размерный эффект проводимости пленок полупроводников. Свойства диэлектрических пленок (диэлектрическая проницаемость, потери в диэлектрических пленках, электропроводность диэлектрических пленок). Сверхпроводимость пленок (критическая температура, критическое поле, критический ток тонких пленок, классические сверхпроводники, высокотемпературные (керамические) сверхпроводники). Ферромагнитные пленки. Доменная структура. Процесс перемагничивания. Петля гистерезиса. Размерный эффект доменной структуры и свойств. Магнитные свойства гетероструктур. Теплофизические свойства тонких пленок: методы исследования, тепловое расширение, излучательная способность, теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость. Диффузия в тонких	2	8	10

		пленках. Электромиграция в пленочных проводниках. Оптические свойства пленок. Металлы, полупроводники, диэлектрики. Размерный эффект.			
Итого			18	90	108

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

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-3	знать- механизмы (виды) роста пленок, фазовые, субструктурные превращения при росте, размерный эффект структуры и всех физических свойств пленок неорганических материалов, методы исследования структуры и свойств;	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь- предсказывать ожидаемый вид роста пленок заданных систем, анализировать данные по фазовому составу, субструктуре, ориентации пленок;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть- основными методами расчета критических параметров проявления размерных эффектов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-6	знать- экспериментальные, теоретиче-	Тест	Выполнение работ	Невыполне-

	ские и компьютерные методы исследований, используемые при подготовке в области физики тонких пленок (ФТП)		в срок, предусмотренный в рабочих программах	ние работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь- пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями ФТП	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть- навыками представления результатов исследований в формах отчетов, рефератов, публикаций и презентаций	укажите критерий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-7	знать- современные физико-математические методы для решения профессиональных задач	тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь- применять современные физико-математические методы для решения профессиональных задач; составлять рекомендации по практическому использованию полученных результатов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть- современными физико-математическими методами для решения профессиональных задач; навыками составления рекомендаций по практическому использованию полученных результатов	Решение стандартных практических задач	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 4 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-3	знать- механизмы (виды) роста пленок, фазовые, субструктурные превращения при росте, размерный эффект структуры и всех физических свойств пленок	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	неорганических материалов, методы исследования структуры и свойств;					
	уметь- предсказывать ожидаемый вид роста пленок заданных систем, анализировать данные по фазовому составу, субструктуре, ориентации пленок;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть- основными методами расчета критических параметров проявления размерных эффектов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-6	знать- экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований, используемые при подготовке в области физики тонких пленок (ФТП)	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь- пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями ФТП	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть- навыками представления результатов исследований в формах отчетов, рефератов, публикаций и презентаций	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-7	знать- современные физико-математические методы для решения профессиональных задач	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь- применять современные физико-математические методы для решения профессиональных задач; составлять рекомендации по практическому использованию полученных результатов	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть- современными физико-	Решение	Задачи ре-	Проде-	Продемонстр	Задачи не

	математическими методами для решения профессиональных задач; навыками составления рекомендаций по практическому использованию полученных результатов	прикладных задач в конкретной предметной области	получены в полном объеме и верные ответы	монстр и рован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	ирован верный ход решения в большинстве задач	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
Оценка текущей успеваемости происходит по результатам проверочных работ по лекционному материалу

1. Кристаллическая структура твердого тела. Решетки Браве. Индексы Миллера.

Пример простого кристалла.

2. Атомная структура чистых поверхностей: Релаксация и реконструкция. Модель террас –ступеней - изломов. Дефекты на поверхности.

3. Явление адсорбции. Физосорбция и хемосорбция. Кинетика адсорбции.

4. Явление десорбции. Кинетика десорбции.

5. Объемная диффузия вблизи поверхности: Механизмы диффузии. Первый закон Фика.

6. Виды эмиссии электронов и работа выхода.

7. Механизмы роста тонких плёнок.

8. Механизмы роста гетероэпитаксиальных пленок.

9. Принцип метода молекулярно-лучевой эпитаксии.

10. Методы осаждения тонких плёнок из паровой фазы.

11. Атомные манипуляции с помощью СТМ для формирования наноструктур.

12. Сканирующая электронная микроскопия. Принцип метода и его возможности.

13. Сканирующая туннельная микроскопия. Принцип метода и его возможности.

14. Атомно -силовая микроскопия. Принцип метода и его возможности.

15. Электронная спектроскопия. Методы и возможности.

16. Ионная спектроскопия. Методы и возможности

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Задача 1.

Образуют ли точки на представленном ниже рисунке двумерную решетку? Если «да», то укажите ее векторы примитивных трансляций. Если «нет», то обоснуйте свой ответ.



Задача 2.

Постройте плоскости (133), (33-1) и (113) простого кубического кристалла. Являются ли эти плоскости эквивалентными?

Задача 3.

Укажите тип решетки Браве плоскости (111) г.ц.к. (гранецентрированного кубического) кристалла. Какой период имеет эта решетка, если сторона гранецентрированного куба равна a ?

Задача 4.

Используя построение Вульфа, определите равновесную форму трехмерного простого кубического ТСИ кристалла, учитывая взаимодействие,

- (а) только между ближайшими соседями;
- (б) между первыми и вторыми соседями.

Задача 5.

Если пленка из материала А растет на подложке из материала В (а) по механизму Франка-ван дер Мерве, (б) по механизму Вольмера-Вебера, каков будет механизм роста пленки из материала В на подложке из материала А в каждом случае? Рассмотрите различные соотношения между энергиями поверхности и границы раздела.

Задача 6.

В вакуумную камеру объемом 50 л напущен молекулярный водород при температуре 300 К и давлении 10^{-6} Торр. Какой объем займет это количество водорода при нормальных условиях (1 Атм., 300 К)?

Задача 7.

В полевом эмиссионном микроскопе острие вольфрамовой иглы (работа выхода 4.5 эВ) имеет радиус кривизны 500 А и находится под потенциалом -5 кВ по отношению к окружающим элементам;

а - оцените напряженность электрического поля у острия иглы; ($E = 10^5$ В/м)

б - на какое расстояние должен протуннелировать электрон, чтобы покинуть иглу? ($z = 10^{-9}$ м)

Для ответа обратитесь к рис. 1.

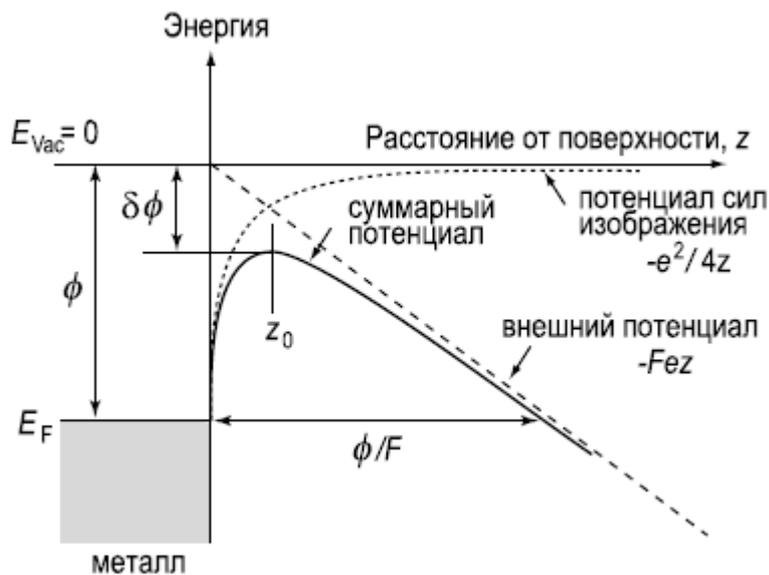


Рис. 1. Диаграмма потенциальной энергии для электрона вблизи поверхности металла в присутствии внешнего электрического поля, напряженности F . Суммарный потенциал (показан сплошной линией) равен сумме потенциала изображения (показан пунктирной линией) и потенциала приложенного поля (показан штриховой линией), ϕ - работа выхода в отсутствие приложенного поля. Уменьшение потенциала на величину $\delta\phi$ из-за эффекта Шотки отмечено, z_0 - положение максимума суммарного потенциала.

Задача 8.

В просвечивающем электронном микроскопе объективная линза с фокусным расстоянием 2 мм формирует изображение на расстоянии 10 см от центра линзы. Рассчитайте увеличение изображения для приближения тонких линз. ($M = 100000$)

Задача 9.

Кантиливер из кремния, используемый в атомно-силовом микроскопе, имеет упругую

константу $k \sim 50$ Н/м и собственную частоту механических колебаний $\nu_0 = 175$ кГц. Оценить массу кантиливера ($m = 7,2 \cdot 10^{-6}$ кг).

Задача 10.

Ионы ${}^4\text{He}^+$ с первичной энергией $E_0 = 2$ МэВ сталкиваются с мишенью, сделанной из неизвестного материала. После упругого прямого соударения ($\theta_1 = 180^\circ$) ионы отражаются с энергией $E_1 = 1.1$ МэВ. Каков атомный вес неизвестного материала? Что это за элемент? ($m = 29,75 \cdot 10^{-25}$ кг, Au)

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Задача 1.

Время жизни атома алюминия в состоянии адсорбции на поверхности Si(111) составляет 30 с при 850°C и 1000 с при 755°C . Найти энергию активации десорбции Al. ($E = 1,5$ эВ)

Задача 2.

Если сколотая поверхность Ge(111) 2×1 в результате прогрева переходит в поверхность Ge(111) $c(2 \times 8)$, то на больших террасах вдали от ступеней образуются ямки, глубина которых равна двойному слою (111) (см. рис. 1). Принимая во внимание атомную структуру поверхностей 2×1 и $c(2 \times 8)$, объясните происхождение этих ямок. Какова доля площади, занятая этими ямками в идеальном случае?

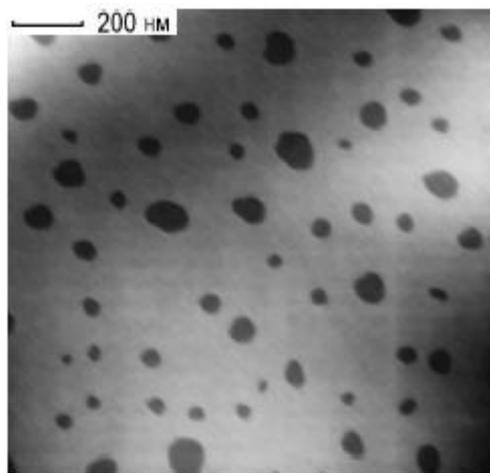


Рис. 1. Широкомасштабное топографическое СТМ изображение поверхности Ge(111) $c(2 \times 8)$, полученной отжигом сколотой поверхности Ge(111) 2×1 . Темные области - ямки глубиной в один двойной слой.

Задача 3.

Фаза Si(111) 6×1 -Ag содержит $1/3$ МС Ag и формируется при десорбции Ag из поверхностной фазы Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag с покрытием 1 МС Ag. В эксперименте было определено, что на промежуточной стадии перехода от $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ к 6×1 домены различных фаз занимают следующие доли площади:

- $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ (верхний уровень) - 28%,
- $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ (нижний уровень) - 37%,
- 6×1 (верхний уровень) - 20%,
- 6×1 (нижний уровень) - 15%.

Приняв во внимание, что покрытие Si составляет 2.08 МС в $\text{Si}(111)7 \times 7$ и 1.0 МС в $\text{Si}(111)\sqrt{3} \times \sqrt{3}\text{-Ag}$, определите покрытие Si в фазе $\text{Si}(111)6 \times 1\text{-Ag}$.

Задача 4.

В системе $\text{In}/\text{Si}(111)$ формируются два типа фазы со структурой $\sqrt{7} \times \sqrt{3}$: квазигексогональная фаза ($\text{hex-}\sqrt{7} \times \sqrt{3}\text{-In}$) и квазипрямоугольная ($\text{rec-}\sqrt{7} \times \sqrt{3}\text{-In}$) (см. рис. 2). На СТМ изображениях высокого разрешения видны пять максимумов на элементарную ячейку в случае $\text{hex-}\sqrt{7} \times \sqrt{3}\text{-In}$ и шесть максимумов в случае $\text{rec-}\sqrt{7} \times \sqrt{3}\text{-In}$. Предположив, что каждый максимум соответствует одному атому In , вычислите идеальное покрытие In для каждой фазы.

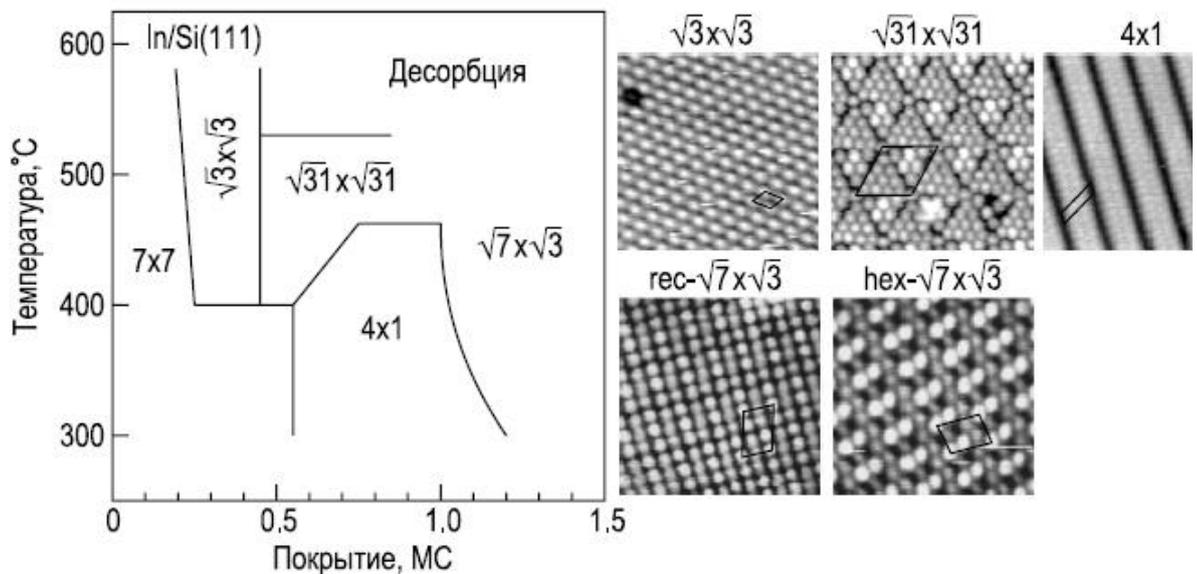


Рис. 2. Фазовая диаграмма системы $\text{In}/\text{Si}(111)$ и СТМ изображения высокого разрешения поверхностных фаз $\text{In}/\text{Si}(111)$. Элементарные ячейки обведены на СТМ изображениях сплошной линией.

Задача 5.

Атом Ag случайно мигрирует по поверхности $\text{Si}(111)\sqrt{3} \times \sqrt{3}\text{-Ag}$. Определите среднее смещение атома за 1 с, 1 мин. и 1 час при температуре 450 °C. $D_0 = 10^{-3} \text{ см}^2\text{с}^{-1}$, $E_{\text{diff}} = 0.33 \text{ эВ}$.

Задача 6.

Скорость скачков атома азота по поверхности $\text{Fe}(100)$ составляет 10^{-3} с^{-1} при 300 К и $3 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ при 330 К. Оцените коэффициент диффузии и вычислите энергию активации, принимая во внимания, что железо - это о.ц.к. кристалл с постоянной решетки 2.87 Å. Предпо-

ложите, что частота колебаний равна $\nu_0 = 4.3 \times 10^{12} \text{с}^{-1}$.

Задача 7.

После напыления равных количеств алюминия с постоянной скоростью на поверхность Si концентрация островков Al была равна 10^{10}см^{-2} при 350°C и 10^{12}см^{-2} при 80°C . Оцените энергию активации поверхностной диффузии адатомов Al, считая что размер критического островка $i = 1$.

Задача 8.

Используя выражение Ричардсона-Дэшмана, оцените температуру, при которой катоды из материалов, перечисленных в таблице, обеспечивают плотность термоэлектронного тока

1 А/см^2 .

Катод	ϕ , эВ	j , А/см ²	T, °C
W	4,6	1	
Th-W	3,2	1	
LaB ₆	2,8	1	
BaO	1,5	1	

Задача 9.

Рассчитайте время, необходимое для того, чтобы молекула N₂ прошла расстояние, равное средней длине ее пробега в вакууме 10^{-10} Торр при 300 К. ($t = 10^{-7} \text{с}$)

Задача 10.

Скорость скачков атома азота по поверхности Fe(100) составляет 10^{-3}с^{-1} при 300 К и $3 \times 10^{-2} \text{с}^{-1}$ при 330 К. Оцените коэффициент диффузии и вычислите энергию активации, принимая во внимания, что железо - это о.ц.к. кристалл с постоянной решетки 2.87 Å. Предположите, что частота колебаний равна $\nu_0 = 4.3 \times 10^{12} \text{с}^{-1}$. ($E = 0,3 \text{ эВ}$)

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Перечислите возможные факторы, которые могут изменить механизм роста для конкретных пар подложка – пленка.
2. Какова природа многоориентационного зарождения пленок на монокристаллических подложках?
3. Почему знак несоответствия следует учитывать при прогнозе ориентационных соотношений?
4. Оцените применимость различных критериев с учетом механизма роста пленок. Проиллюстрируйте свой анализ на примерах конкретных систем подложка - пленка.
5. В чем может проявиться эффект второй компоненты в кинетике зарождения двухкомпонентных конденсированных пленок?
6. В чем может проявиться эффект сильно развитой поверхности, поверхности с открытой пористостью в зарождении конденсированной пленки?
7. В каких случаях может быть применима капиллярная модель зародышеобразования?

8. Как ориентированная кристаллизация может сказаться на возможности проявления размерного эффекта структуры островков конденсата?
9. Как можно управлять формой островков в растущих островковых пленках? В сконденсированных островковых пленках?
10. Объясните природу псевдоморфизма.
11. Чем отличается эпитаксиально-стабилизированная фаза от псевдоморфной? Чем обусловлена стабилизация фазы?
12. Охарактеризуйте возможные виды сопряжения кристаллических решеток на межфазных границах подложка-пленка в двухслойных пленочных композициях.
13. Почему псевдоморфизм должен сохраняться до большей толщины в многослойной гетероструктуре?
14. Чем отличается рост по механизму Крастанова и Странского от слоевого дискретного трехмерного зарождения-роста пленки?
15. Какова природа дефектов упаковки в эпитаксиальных пленках?
16. Почему островки малых размеров не содержат дислокаций?
17. В чем могут проявиться особенности зернограничной структуры пленок твердых растворов?
18. Чем отличаются межфазные дислокации от дислокаций в объеме кристалла?
19. Чем отличается дислокационная структура эпитаксиальных межфазных границ и границ зерен?
20. Как фасетирование поверхности подложки может отразиться на ориентации и морфологии поверхности пленки?

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 2 баллами, 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	Общая характеристика видов роста, критерии их прогноза и методы выявления. Критерии ориентированной кристаллизации. Ориентированная кристаллизация пленок на неориентирующих (аморфных) подложках.	ПК-3, ПК-6, ПК-7	Тест, контрольная работа,
2	Основные теоретические модели зародышеобразования на свободной поверхности при конденсации из паровой фазы в вакууме. Кинетика зародышеобразования при конденсации из однокомпонентной паровой фазы. Структура, фор-	ПК-3, ПК-6, ПК-7	Тест, контрольная работа,

	ма и ориентация дискретных наноконденсатов.		
3	Критическая толщина псевдоморфного слоя. Структура псевдоморфного слоя. Фазовый размерный эффект при эпитаксиальном росте.	ПК-3, ПК-6, ПК-7	Тест, контрольная работа,
4	Механизм взаимодействия адатомов, приводящий к образованию двумерных структур.	ПК-3, ПК-6, ПК-7	Тест, контрольная работа,
5	Точечные дефекты. Дислокации. Дефекты упаковки. Границы зерен. Атомная структура и морфология свободной поверхности пленок.	ПК-3, ПК-6, ПК-7	Тест, контрольная работа,
6	Возможные варианты пленочных гетероструктур. Многофазные гетероструктуры с произвольным пространственным распределением фаз. Многослойные ориентированные гетероструктуры. Классификация межфазных границ.	ПК-3, ПК-6, ПК-7	Тест, контрольная работа,
	<p>Механические свойства пленок: адгезия; упругость, пластичность, прочность и микротвердость пленок; Механизм электропроводности островковых конденсированных пленок металлов на диэлектрических подложках. Классический размерный эффект электропроводности сплошных пленок. Квантовый размерный эффект. Гальваномагнитный эффект. Эффект Холла. Размерный эффект проводимости пленок полупроводников. Свойства диэлектрических пленок (диэлектрическая проницаемость, потери в диэлектрических пленках, электропроводность диэлектрических пленок). Сверхпроводимость пленок (критическая температура, критическое поле, критический ток тонких пленок, классические сверхпроводники, высокотемпературные (керамические) сверхпроводники). Ферромагнитные пленки. Доменная структура. Процесс перемагничивания. Петля гистерезиса. Размерный эффект доменной структуры и свойств. Магнитные свойства гетероструктур.</p> <p>Теплофизические свойства тонких пленок: методы исследования, тепловое расширение, излучательная способность, теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость. Диффузия в тонких пленках. Электромиграция в пленочных проводниках.</p>	ПК-3, ПК-6, ПК-7	Тест, контрольная работа,

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 методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бу-

мажном 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

а) основная литература

1. Готтштейн Г. Физико-химические основы материаловедения / Г. Готтштейн; пер. с англ.; под ред. В.П. Зломанова. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009 – 400с.: ИЛ.- (лучший зарубежный учебник).
2. Третьяков Ю.Д. Введение в химию твердофазных материалов. / Ю.Д. Третьяков, В.П. Путияев. Серия: Классический университетский учебник. – М. : Наука, 2006. – 400 с. Изд. «Наука»
3. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. / Б.Н. Арзамасов и др. – М. : Изд. МГТУ им.Баумана, 2003. – 648 с.
4. Ржевская С.В. Материаловедение. / С.В. Ржевская. - М. : Логос, 2006. – 413 с.
5. Иевлев В.М. Тонкие пленки неорганических материалов: Механизм роста и субструктура. / В.М. Иевлев. учеб. пособие. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2008. – 496 с.
6. Елисеев А.А. Функциональные наноматериалы. / А.А. Елисеев, А.В. Лукашин; под ред. Ю.Д. Третьякова. учеб. пособие. - М. : Физматлит, 2010. - 456 с.
7. И.П. Суздаев. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. / И.П. Суздаев. Комкнига.- М. : 2006 - 592 с.
8. Андреева А.В. Основы физикохимии и технологии композитов: учеб. пособие для вузов. / А.В. Андреева. - М.: ИПРЖР, 2001. – 192 с.
9. Оксидная керамика: спекание и ползучесть. / В.С. Бокунов В.С., А.В. Беляков и др. – М. : Изд. РХТУ, 2007. - 584 с.

б) дополнительная литература

1. Богодулов С.И. и др. Курс материаловедения в вопросах и ответах, М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
2. Иевлев В.М., Косилов А.Т. и др. Методы исследования атомной структуры и субструктуры материалов. Уч.пособие. Изд.Вор.гос.техн.унив. 2003, 485 с
3. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. Машиностроение. М. 2009, 312 с.
4. Алымов М.И. Порошковая металлургия нанокристаллических материалов. «Наука». М. 2007, 169 с.
5. Баринов С.М., Комлев В.С. Биокерамика на основе фосфатов кальция, М.: «Наука-2005», 205с
6. Обзоры в журналах «Nanotoday» и «Materialstoday» 2007-2010 г.
7. Третьяков Ю.Д., Гудилин Е.А. Успехи химии, 2009, т.78, № 9, с.867-888.
8. Успехи химии, 2004, т. 73, № 9.

9. Маттиас Эппле. Биоматериалы и биоминерализация. Пер. с нем. Под ред. В.Ф.Пичугина, Ю.П.Шаркеева, И.А.Хлусова. Томск: изд-во «Ветер», 2007. – 137 с.
10. Гусев А.И. Нанокристаллические материалы. / А.И. Гусев, А.А. Ремпель. – М. : Физматлит, 2000, 224 с.

в) методическая литература

1. Чепурнов В.И., Сивакова К.П. Эпитаксия в микроэлектронике. Самара: изд. СамГУ, 2009, 48с.
2. Чепурнов В.И., Покоева В.А., Сивакова К.П. Диффузионные процессы в диффузионной технологии. Самара: изд. СамГУ, 2008, 46с.
3. Чепурнов В.И., Сивакова К.П. Получение тонких пленок методом магнетронного распыления на постоянном токе. Самара: изд. СамГУ, 2007, 24с.
4. Чепурнов В.И., Фридман Т.П. Физика полупроводников и диэлектриков. Ч.2. Физическая химия технологии полупроводников), Самара: изд. СамГУ, 2003, 40с.

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:

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" - <http://window.edu.ru/>
2. Университетская библиотека ONLINE <http://www.biblioclub.ru/>
3. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>
4. Информационный образовательный портал физиков <http://fizfaka.net/>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://knigi.tr200.ru/v.php?id=220319>– Сборник книг по физике полупроводников.

<http://www.ioffe.ru/index.php?row=12&subrow=0> (– электронные версии журналов «Физика и техника полупроводников», «Физика твердого тела», «Журнал технической физики»).

http://www.nanometer.ru/library_list.html (дата обращения 15.10.2015) - Сборник книг по нанотехнологии и наноразмерным материалам.

http://www.nanorf.ru/science.aspx?cat_id=394– Журнал «Российские нанотехнологии» архив публикаций.

<http://weldzone.info/technology/gas-sputtering/518-texnologii-naneseniya-pokrytij> - справочник по методам нанесения покрытий;

<http://www.knigafund.ru/> - Электронно-библиотечная система «КнигаФонд».

<http://e.lanbook.com/> - Издательство «Лань». Электронно- библиотечная система.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированные лекционные аудитории, оборудованные видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуко-

воспроиз- ведения и экраном.

2. Видеопроектор, ноутбук, переносной экран, для проведения демонстраций и опытов, полный комплект физических установок и приборов: Электронограф ЭГ-100, просвечивающий электронный микроскоп ЭМВ-100БР, атомно-силовой микроскоп НТ-МДТ, вакуумный пост ВУП-5.

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

По дисциплине «Физика тонких пленок» читаются лекции.

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

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать 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.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none">- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;- выполнение домашних заданий и расчетов;- работа над темами для самостоятельного изучения;- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;- подготовка к промежуточной аттестации.
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 с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.