

**Программа утверждена на заседании
Ученого совета Факультета наук о материалах
МГУ имени М.В.Ломоносова
Протокол № 173 от 25 сентября 2014 г.**

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. Наименование дисциплины (модуля): Тонкие пленки в развитии представлений о размерном эффекте структуры и свойств неорганических материалов
2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. Направление подготовки: 04.06.01 Химические науки.
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок 1 «Дисциплины (модули)». Дисциплина по выбору аспиранта во втором семестре первого года обучения.
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-2 способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	31 (УК-2) Знать методологию научно-исследовательской деятельности
ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с	У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы определения критических размеров для проявления эффекта

использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	
ПК-1 Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.01 Неорганическая химия	32 (ПК-1) Знать современные методы исследования наноструктур У2 (ПК-1) Уметь использовать современные методы исследования размерной зависимости свойств неорганических материалов
ПК-16 способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.21 Химия твердого тела	32 (ПК-16) Знать природу размерного эффекта структуры и свойств неорганических материалов

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 4 часа мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 72 часа составляет самостоятельная работа учащегося

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

В специалитете или магистратуре должны быть освоены общие курсы «Математический анализ», «Физика», «Физическая химия», а также спецкурс, в котором излагались основы зонной теории электронного строения кристаллов.

8. Формат обучения.

очная форма обучения, лекционные занятия.

9. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1 Определение понятия «тонкая пленка». Иллюстрации проявления размерного эффекта в структуре и свойствах неорганических материалов. Современные представления о механизмах (видах) роста пленок: характерные признаки вида. Критерии их реализации. Основные задачи. Примеры гетеросистем. Рост пленок – процессы атомной самосборки и самоорганизации. Размерный эффект в структуре и субструктуре пленок при росте по Фольмеру и Веберу; фазовый размерный эффект; полиморфизм и диаграммы состояния; образование многократно сдвойникованных островков; ориентационные превращения.	52	16					16	18	18	36

Размерный эффект в структуре и субструктуре пленок при росте по Франку и Ван дер Мерве: псевдоморфизм, эпитаксиальная стабилизация структуры. Особенности проявления размерного эффекта в многослойных эпитаксиальных гетероструктурах. Размерный эффект структуры и морфологии пленок при росте по Крастанову и Странскому. Структурные превращения в субмонослойных покрытиях; наследование ориентации субмонослойных покрытий при росте пленки. Обобщение критериев ориентированной кристаллизации. Размерный эффект в ориентации пленок. Природа эффекта. Дифракция электронов и просвечивающая электронная микроскопия в анализе наноструктур.										
Тема 2 Размерный эффект механических свойств пленок. Предпосылки. Природа. Макронапряжения (виды, природа, размерная зависимость). Классический размерный эффект электропроводности. Общность характера размерной зависимости для разных механизмов электропереноса. Механизмы	52	16					16	18	18	36

электропереноса в островковых пленках. Тензоэффект. Квантовый размерный эффект электропроводности: природа; условия экспериментального наблюдения. Размерный эффект магнитных свойств: эффект формы. Размерный эффект доменной структуры. Особенности переключения. Природа суперпарамагнетизма. Размерный эффект оптических свойств. Размерный эффект теплофизических свойств. Методы исследования теплофизических свойств. Сравнительный анализ проявлений размерного эффекта в объектах разной мерности: нанопорошки, нанонити, компактные наноструктуры. Примеры практического использования размерного эффекта структуры и свойств неорганических материалов.										
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>	4					4	4			
Итого	108	32				4	36	36	36	72

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине (модулю):

Конспекты лекций, списки задач к лекциям, основная и дополнительная учебная литература.

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю).

- Перечень компетенций: *УК-2, ОПК-1, ПК-1*.
- Описание шкал оценивания: *зачет*

- Вопросы к зачету:

1) Почему можно считать поверхность кристалла второй двумерной фазой? Приведите примеры поверхностных структур чистых поверхностей (111) кремния.

2) Какова природа двумерных длиннопериодных (субмонослойных) кристаллов?

3) Изобразите схему структуры субмонослойной пленки:

а) Si(111) – ($\sqrt{7} \times \sqrt{7}$) R 19,1° Ag;

б) Si(111) – ($\sqrt{3} \times \sqrt{3}$) R 30° Ag.

4) Объясните природу структурно-морфологического перехода (слоевой рост – островковый рост) при росте пленки по Странскому и Крастанову?

5) Какова природа псевдоморфизма? Почему псевдоморфный слой имеет предел по толщине? Как он изменится при переходе к многослойной гетероструктуре ABAB...AB?

6) Рассчитайте критическую толщину псевдоморфной пленки: а) Ge на (111) Si; б) Pd на (111) Au; в) W на (110) Mo.

7) Почему островки малых размеров в островковых пленках не содержат дислокаций?

8) Рассчитайте зависимость объемной доли «зернограничной фазы» от размера зерен в поликристаллической пленке, полагая структурную толщину границ равной двум параметрам кристаллической решетки.

9) Оцените возможное изменение периода кристаллической решетки островковых пленок металла с уменьшением размеров островков от 10 до 1 нм.

10) Оцените критические размеры островков при росте двухориентационных – (001) и (111) – островковых пленок Au на NaCl, при которых ориентация (111) не будет подавляться ориентацией (001).

11) Как экспериментально установить, какой механизм роста из трех возможных реализовался в конкретной системе подложка – пленка?

12) Предложите системы, в которых обоснованно можно ожидать рост пленки по Фольмеру и Веберу, по Франку и Ван дер Мерве.

13) Предложите эксперимент, иллюстрирующий в одном технологическом процессе рост пленок одного вещества (например, Pt или Ge) одновременно по механизму Фольмера – Вебера и Франка – Мерве.

- 14) Покажите термодинамическую неизбежность фазового размерного эффекта.
- 15) Проиллюстрируйте размерный эффект температуры плавления на примере пленок Ag на стекле: рассчитайте размерную зависимость относительного изменения температуры плавления $T_{пл}^n/T_{пл}^m$. Какова природа этого размерного эффекта?
- 16) Опишите эксперимент по определению размерной зависимости температуры плавления металлов.
- 17) Приведите примеры размерного эффекта в ориентации конденсированных пленок.
- 18). Какова природа многократно сдвойникованных частиц? Какие условия способствуют их образованию? Почему многократно сдвойникованные островки существуют до определенного размера?
- 19) Каковы предпосылки к проявлению размерного эффекта механических свойств тонких пленок?
- 20) Проиллюстрируйте и обоснуйте ожидаемую качественную размерную зависимость пластичности и прочности для тонких эпитаксиальных (монокристаллических) и высокодисперсных поликристаллических пленок
- 21) Почему характер зависимости удельного сопротивления пленок от средней толщины качественно одинаковый для пленок, растущих по механизмам Фольмера и Вебера и Франка и Ван дер Мерве (при принципиально отличающихся механизмах проводимости)?
- 22) Опишите механизм электропроводности островковых пленок металлов на диэлектрике. Каковы природа квантового размерного эффекта электропроводности и условия его проявления в эксперименте?
- 23) Какова природа размерной зависимости эффекта Холла?
- 24) Какие предпосылки к проявлению размерного эффекта в сверхпроводимости тонких пленок?
- 25) Какова природа эффекта близости в сверхпроводимости тонких пленок, размерного эффекта критического поля?
- 26) Почему критическая плотность тока сверхпроводника не зависит от толщины пленки?
- 27) Какова природа размерного эффекта доменной структуры ферромагнитных пленок?
- 28) Объясните природу размерного эффекта доменных границ ферромагнитных пленок.
- 29) В чем причина магнитной анизотропии формы тонких ферромагнитных пленок?
- 30) Какова природа суперпарамагнетизма тонких пленок?
- 31) Какова природа размерного эффекта теплопроводности и излучательной способности тонких металлических пленок?
- 32) Опишите эксперименты по электронографическому исследованию теплофизических свойств пленок металлов.

33) Приведите примеры проявления и объясните природу размерного эффекта в оптических свойствах пленок.

34) Как особенности субструктуры пленок могут отражаться на кинетике процесса взаимодиффузии в пленочных гетеросистемах:

а) поликристалл – поликристалл;

б) монокристалл – монокристалл;

в) монокристалл – поликристалл?

35) Приведите примеры практического использования размерной зависимости структуры и свойств неорганических материалов.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проводится по билетам, каждый из которых включает теоретические вопросы и практические задания. Уровень знаний аспиранта оценивается на «зачтено», «незачтено». Оценка «зачтено» выставляется, если по шкале оценивания учащийся демонстрирует знания и умения, соответствующие категориям 3, 4 и 5.

- Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) и ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ*
	1	2	3	4	5	
31 (УК-2)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методологии научно-исследовательской деятельности	Неполные знания методологии научно-исследовательской деятельности	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания методологии научно-исследовательской деятельности	Сформированные систематические знания методологии научно-исследовательской деятельности	Зачет в форме индивидуального собеседования
У1 (ОПК-1)	Отсутствие умений	Частично освоенное умение выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические	В целом успешное, но не систематическое умение выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-	В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические	Сформированное умение выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы	письменное решение задач

		методы определения критических размеров для проявления эффекта	теоретические методы определения критических размеров для проявления эффекта	методы определения критических размеров для проявления эффекта	определения критических размеров для проявления эффекта	
32 (ПК-1)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания современных методов исследования наноструктур	Неполные знания современных методов исследования наноструктур	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания современных методов исследования наноструктур	Сформированные систематические знания современных методов исследования наноструктур	Зачет в форме индивидуального собеседования
У2 (ПК-1)	Отсутствие умений	Частично освоенное умение использовать современные методы исследования размерной зависимости свойств неорганических материалов	В целом успешное, но не систематическое умение использовать современные методы исследования размерной зависимости свойств неорганических материалов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение использовать современные методы исследования размерной зависимости свойств неорганических материалов	Успешное и систематическое умение использовать современные методы исследования размерной зависимости свойств неорганических материалов	письменное решение задач
32 (ПК-16)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания природы размерного эффекта структуры и свойств неорганических материалов	Неполные знания природы размерного эффекта структуры и свойств неорганических материалов	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания природы размерного эффекта структуры и свойств неорганических материалов	Сформированные систематические знания природы размерного эффекта структуры и свойств неорганических материалов	Зачет в форме индивидуального собеседования

12. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной учебной литературы:

1. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований. Пер. с англ. под ред. Р.А. Андриевского. М.: “Мир”, 2002. – 292 с.
2. Иевлев В.М. Тонкие пленки неорганических материалов: механизм роста и структура / В.М. Иевлев. – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2008. – 496 с.
3. Палатник Л.С. Механизм образования и субструктура конденсированных пленок / Л.С. Палатник, М.Я. Фукс, В.М. Косевич. – М. : Наука, 1972. – 318 с.
4. Физика тонких пленок. Современное состояние исследований и технические применения: В 8 т. – М. : Мир, 1967-1978.
5. Структура межкристаллитных и межфазных границ / В.М. Косевич [и др.] – М. : Металлургия, 1980. – 256 с.

6. Введение в физику поверхности / К. Оура [и др.] – М. : Наука, 2006. – 490 с.
7. Иевлев В.М., Трусов Л.И., Холмянский В.А. Структурные превращения в тонких пленках. М.: Металлургия, 1988. – 320 с.
8. Чопра К.Л. Электрические явления в тонких пленках. М, Мир, 1972. – 435 с.
9. Комник Ю.Ф. Физика металлических пленок. М.: Атомиздат, 1979. – 264 с.

Перечень дополнительной учебной литературы:

1. Технология тонких пленок : справочник / под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга; пер. с англ. под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. – М. : Сов. радио, 1977: Т. 1. – 662 с.; Т. 2. – 767 с.
 2. Монокристаллические пленки. Пер. с англ. под ред. З. Г. Пинскера. М.: “Мир”, 1966. – 398 с.
 3. Палатник Л.С., Папилов И.И. Эпитаксиальные пленки. М.: Наука, 1971. – 480 с.
 4. Точицкий Э.И. Кристаллизация и термообработка тонких пленок. Минск: Наука и техника, 1976. – 377 с.
 5. Трусов Л.И., Холмянский В.А. Островковые металлические пленки. М.: Металлургия, 1973. – 320 с.
 6. Трофимов В.И., Осадченко В.А. Рост и морфология тонких пленок. М.: Атомиздат, 1993. – 272 с.
13. Язык преподавания: русский.
14. Преподаватель: Иевлев Валентин Михайлович, доктор физико-математических наук, академик РАН, rnileme@mail.ru, 8-499-135-94-87