

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,
акад. РАН, профессор



/В.В. Лунин/

«30» мая 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Дифракционные и спектральные методы исследования
тонкопленочных материалов и гетероструктур

Уровень высшего образования:
Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки (специальность):

04.06.01 Химические науки

Направленность (профиль) ОПОП:

Химия твердого тела 02.00.21

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол № 4 от 27 мая 2016 г.)

Москва 2016

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 «Химические науки» на основе Образовательного стандарта, самостоятельно установленного МГУ имени М.В.Ломоносова (далее – ОС МГУ), утвержденного Приказом № 552 от 23.06.2014 г. по МГУ с учетом изменений в ОС МГУ, внесенных Приказом №831 по МГУ от 31.08.2015 г..

Год (годы) приема на обучение 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019, 2019/ 2020

1. Наименование дисциплины (модуля): **Дифракционные и спектральные методы исследования тонкопленочных материалов и гетероструктур.**

Краткая аннотация: Программа курса «Дифракционные и спектральные методы исследования тонкопленочных материалов и гетероструктур» предназначена для аспирантов, специализирующихся в области химии неорганических веществ и материалов, научная работа которых связана с тонкопленочными материалами. В курсе рассматриваются понятия одно- и двухосной текстуры и способы ее представления; способы представления обратного пространства; методы исследования обратного пространства с помощью рентгеновской, нейтронной и электронной дифракции; особенности различных геометрий дифракционных экспериментов применительно к ориентированным тонким пленкам и гетероструктурам; особенности применения спектроскопических методов (EDX, RBS, XPS, SIMS, EELS) для изучения состава тонких пленок и гетероструктур.

2. Уровень высшего образования– подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

3. Направление подготовки: 04.06.01 Химические науки. Направленность (профиль) Химия твердого тела

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок 1 «Дисциплины (модули)», которую учащийся может освоить на выбор из списка предложенных в период обучения, отмеченный в базовом учебном плане

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Компетенция	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
СПК-2: Способен выполнять комплексное исследование общих и функциональных свойств твердотельных материалов с использованием современных физико-химических методов; интерпретировать и анализировать результаты исследований	Знать современные методы исследования тонких пленок неорганических материалов и гетероструктур Знать методы исследования эпитаксиальных отношений на интерфейсах пленка-подложка и пленкапленка в гетероструктурах Уметь использовать современные методы исследования тонких пленок при решении практических задач неорганической химии

	Уметь использовать методы рентгеновской дифракции для определения эпитаксиальных напряжений в тонких пленках.
--	--

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 54 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (26 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятий семинарского типа, 4 часа групповых консультаций, 6 часов мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 54 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

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

ЗНАТЬ: фундаментальные основы неорганической химии, химии твердого тела и кристаллохимии

УМЕТЬ: анализировать данные экспериментальных исследований и обобщать полученные результаты

ВЛАДЕТЬ: базовыми представлениями о дифракционных и спектроскопических методах исследования неорганических веществ

8. 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	Работа с литературой	Всего
Тема 1. Текстура и обратное пространство.	23	6	4			1	11	6	6	12
Тема 2. Дифракционные методы исследования тонких пленок и гетероструктур	61	14	10	4		1	29	24	8	32
Тема 3. Применение спектроскопических методов для анализа тонких пленок	21	6	4			1	11	4	6	10
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>	3					3	3			
Итого	108	26	18	4		6	54	34	20	54

8. Образовательные технологии

Преподавание дисциплин в форме авторского курса с использованием мультимедийных презентаций в формате традиционных лекций и лекций-демонстраций посвященных проблемам комплексного анализа тонкопленочных материалов. Демонстрации составлены на основе результатов исследований научных школ МГУ и современных актуальных публикаций в ведущих научных журналах.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и перечень домашних заданий. По теме каждой лекции указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы.

10. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература

1. Т.Л. Алфорд, Л.К. Фельдман, Д.В. Майер, Фундаментальные основы анализа нанопленок. / Пер. с англ. Образцов А.Н., Долганов М.А. - М.: Научный мир, 2012. - 392 с.
2. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А., "Рентгенографический и электронно-оптический анализ металлов", 1996 (или 2001).
3. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. "Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия" 1982.
4. Уманский Я.С. "Рентгенография металлов и полупроводников", 1969.
5. Бублик В.Т., Дубровина А.Н., "Методы исследования структуры полупроводников и металлов". 1978.
6. B.D. Cullity, "Elements of X-ray diffraction", (2nd edition), 1978.

Дополнительная литература

7. M. Birkholz, «Thin Film Analysis by X-Ray Scattering», 2006

8. V. Holý, U. Pietsch, T. Baumbach, «High-Resolution X-Ray Scattering from Thin Films and Multilayers», 1999.

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):
 - Сайт международного союза кристаллографии: www.iucr.org

- База данных структур неорганических соединений icsd.fiz-karlsruhe.de
- Свободная база данных кристаллических структур www.crystallography.net/cod/
- База данных порошковой дифракции PDF-2 www.icdd.com/products/pdf2.htm
- Сайт Кембриджского университета с интерактивными демонстрациями https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/crystallographic_texture/contents.php

- **Описание материально-технической базы.**

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оборудованной презентационной техникой. Лекции-демонстрации проводятся в аудитории, оснащенной компьютерами (компьютерном классе).

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

Цымбаренко Дмитрий Михайлович, к.х.н., tsymbarenko@inorg.chem.msu.ru, 8 495 939 00 29

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

1. Планируемые результаты обучения приведены в п.5.
2. Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации — зачета.
 - Образцы домашних заданий
 1. Найти решетку совпадающих узлов и записать эпитаксиальные отношения для интерфейса $\text{CeO}_2 // \text{R-Al}_2\text{O}_3$.
 2. Какие из рефлексов пленки Si будут доступны для измерения в асимметричной геометрии на $\text{Cu-K}\alpha_1$ излучении и какие будут наблюдаться: (111), (400), (3-11), (220)? Ответ аргументируйте.
 3. Предложите методику установления направления текстуры пленки (00l) LaMnO_3 на подложке (00l) MgO . Рассчитайте необходимые значения углов θ , ω и χ .
 4. Постройте прямые полюсные фигуры для отражений (110), (111) и (131) тетрагональных пленок PbTiO_3 ($a = 3.91\text{\AA}$, $c = 4.12\text{\AA}$) в следующих ориентациях:
 - 1) $(001)\text{PbTiO}_3 // (001)\text{MgO}$, $[100]\text{PbTiO}_3 // [100]\text{MgO}$;

2) $(100)\text{PbTiO}_3 // (001)\text{MgO}$, $[010]\text{PbTiO}_3 // [100]\text{MgO}$.

5. Постройте обратную полюсную фигуру поликристаллической пленки Ag на подложке поли-YSZ учитывая следующие значения текстурных коэффициентов: (111) 70%, (002) 20%, (113) 10%.

6. Рассчитайте параметры ромбоэдрической и псевдо-кубической ячеек для BiFeO_3 ($R\text{-}3c$, $a=b=5.588\text{\AA}$, $c=13.867\text{\AA}$). Предложите возможные варианты эпитаксиального роста BiFeO_3 на подложке $(001)\text{YSZ}$.

● Образцы контрольных вопросов для промежуточной аттестации — **зачета**:

1. Виды текстуры и способы ее обозначения.
2. Решетка совпадающих узлов.
3. Представление обратного пространства. Сфера Эвальда. Вектор дифракции.
4. Устройство рентгеновского дифрактометра для исследования тонких пленок. Четырехкружный гониометр. Обозначения углов.
5. Фокусировка по Брегг-Брентано и по Зеemannу-Болину. Монохроматоры. Щели Соллера. Дефокусировка.
6. Симметричная и асимметричная геометрия съемки. Представление в обратном пространстве.
7. Поглощение рентгеновских лучей, глубина проникновения. Анализ пленок и гетероструктур по глубине. Интенсивности рефлексов ориентированных и не ориентированных пленок.
8. Кривые качания и ϕ -сканирования.
9. Кривые χ -сканирования. Прямые полюсные фигуры.
10. Обратные полюсные фигуры. Метод текстурных коэффициентов.
11. Функция распределения ориентировок.
12. Рентгеновская рефлектометрия.
13. Дифракция отраженных электронов. Аппаратурное оформление метода. Линии Кикучи и ориентация зерна.
14. Метод EDX при анализе тонких пленок и гетероструктур. Недостатки ZAF-коррекции. Послойный анализ.
15. Резерфордское обратное рассеяние. Каналирование. Послойная реконструкция гетероструктур.

● Образцы практических контрольных заданий для промежуточной аттестации — **зачета**:

1. Изложите последовательность анализа текстуры тонкой пленки $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_y\text{MnO}_3$ на подложке $(001)\text{SrTiO}_3$. Рассчитайте все необходимые углы ориентации. Схематично изобразите вероятные результаты текстурного исследования.
2. По профилю нейтронной дифракции в геометрии θ - 2θ сканирования металлической проволоки в направлении волочения рассчитайте текстурные коэффициенты и построьте обратную полюсную фигуру.

3. Постройте прямую полюсную фигуру для рефлекса (111) пленки (110) $\text{La}_{1-x}\text{Pb}_x\text{MnO}_3$. Рассчитайте необходимые значения углов θ , ω и χ .
4. Выполните индицирование линий Кикучи на картине дифракции отраженных электронов, определите ориентацию зерна в пленке CeO_2 .
5. Расшифруйте спектр Резерфордского обратного рассеяния пленки $\text{Ba}_{0.05}\text{Cd}_2\text{KSi}_2\text{NaO}_4$ на монокристаллической подложке (111) Si. Предложите способ повышению точности определения содержания кислорода.
6. Используя программу STRATAGEM и результаты EDX анализа гетероструктуры $\text{CeO}_2/\text{Y}_2\text{O}_3/\text{Hastelloy}$ рассчитайте толщины слоев.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проводится по билетам, каждый из которых включает теоретические вопросы и практическое контрольное задание (ПКЗ). Уровень знаний аспиранта оценивается на «зачтено», «незачтено». Оценка «зачтено» выставляется, если по шкале оценивания учащийся демонстрирует знания умения и владения, соответствующие категориям 3, 4 и 5. В ходе зачета, проводимого в форме индивидуального собеседования, оценивается степень сформированности «знаниевой» компоненты компетенций УК-2, ПК-1 и ПК-16 (знание современного состояния науки и методов исследования в области тонкопленочных неорганических материалов). Частично сформированность умения выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования (ОПК-1) проверяется при выполнении ПКЗ, их оценка учитывается как одна из составляющих при выставлении зачета.

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие	В целом успешное, но не	В целом успешное, но содержащее	Успешное и систематическое

	умений	систематическое умение	отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач