

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 2014 г..

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**  
**Физико-химические методы исследования полупроводников**

**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 №3 от 19.05.2014)

Москва 2014

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. Краткая аннотация:

Программа курса «Физико-химические методы исследования полупроводников» предназначена для аспирантов, специализирующихся в области химии неорганических веществ и материалов, научная работа которых связана с полупроводниками. Курс состоит из двух разделов. В первом разделе изучается исследование полупроводниковых свойств материалов электрическими и оптическими методами, а также установление состава материала методом рентгено-флуоресцентного анализа. Во втором разделе подробно рассматриваются методы, наиболее подходящие для исследования объектов научной работы каждого конкретного слушателя курса, не вошедшие в первый раздел.

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

3. Направление подготовки: 04.06.01 Химические науки, направленность: Неорганическая химия.

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)

Компетенция	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<b>СПК-2:</b> Способен выполнять комплексное исследование общих и функциональных свойств твердотельных материалов с использованием современных физико-химических методов; интерпретировать и анализировать результаты исследований	<b>Знать</b> современные методы исследования полупроводников <b>Знать</b> современные методы исследования точечных и протяженных дефектов в полупроводниках <b>Уметь</b> использовать современные методы исследования полупроводников при решении практических задач

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. 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	Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация	Всего	Выполнение домашних заданий	Работа с оригинальной литературой, подготовка	Всего
Тема 1.	54	18					18	18	18	36
Тема 2.	50	14					14	18	18	36
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>	4					4	4			
<b>Итого</b>	108	32				4	36	36	36	72

Содержание тем:

Тема 1. Исследование полупроводниковых свойств материалов электрическими и оптическими методами, а также установление состава материала методом рентгено-флуоресцентного анализа. Рассматриваются следующие методы:

измерение электропроводности четырехконтактным способом, анализ вольтамперных характеристик, определение работы выхода методом Кельвина, спектроскопия поглощения и отражения в УФ, видимой и ИК-областях спектра, рентгенофлуоресцентный анализ

Тема 2. Избранные методы исследования полупроводников. Выбирается по согласованию со слушателями курса несколько из следующих:

импеданс-спектроскопия, анализ температурных зависимостей ВАХ,

исследование эффекта Холла, визуализация р-п переходов и дислокаций методом химического травления кристаллов, визуализация барьеров и структурных дефектов в полупроводниковых кристаллах на СЭМ методом наведенного тока/ЭДС, исследование температурной зависимости ИК-спектров поглощения/отражения, люминесцентная спектроскопия,

исследование кинетики люминесценции, исследование температурной зависимости спектров люминесценции, люминесцентная микроскопия, поляризационная микроскопия.

#### 8. Образовательные технологии

Преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

#### 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. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1987.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов, т.1. М.: Мир, 1984.
3. Панкоф Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М.: Мир, 1973.
4. Ибрагимов Х.И., Корольков В.А. Работа выхода электрона в физико-химических исследованиях расплавов и твердых фаз на металлической основе. М.: Металлургия, 1995.
5. Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н. Основы рентгено-спектрального флуоресцентного анализа. М.: Химия, 1982.

##### **Дополнительная литература**

1. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. М.: Физматлит, 2008.
2. Воробьев В.Ю., Добровольский В.Н., Стриха В.И. Методы исследования полупроводников. К.: Выща школа, 1988.
3. Батавин В.В. Контроль параметров полупроводниковых материалов и эпитаксиальных слоев. М. «Советское радио», 1976
4. Милнс А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл – полупроводник. М.: Мир, 1975.
5. Handbook of X-Ray Spectrometry second edition by Van Grieken R.E., Markowicz A.A.. Marcel Dekker, New York – Basel, 2002.
6. Eugene P. Bertin Introduction to X-Ray Spectrometric Analysis. Plenum Press, New York - London, 1978.

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости): нет
- Материально-техническое обеспечение: занятия проводятся в обычной аудитории с возможностью подключения техники для демонстрации презентаций

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник Дорофеев Сергей Геннадиевич, dorofeev\_sg@mail.ru, 8-495-939-38-71

канд. хим. наук, доцент Васильев Роман Борисович, romvas@inorg.chem.msu.ru, 8-495-939-54-71

канд. хим. наук, доцент Винокуров Александр Александрович, alrazor@mail.ru, 8-495-939-38-71

### **Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения**

1. Планируемые результаты обучения приведены в п.5.

2. Вопросы к зачету:

Зачем нужны четырехконтактные измерения? Опишите метод Ван-дер-Пау.

Приведите температурные зависимости электропроводности полупроводника при разном уровне легирования.

Приведите основные типы годографов импеданса в координатах Найквиста и Боде. Как выбрать частотный диапазон и амплитуду переменного сигнала?

Как называются материалы, в которых термическая и оптическая работы выхода совпадают?

Нарисуйте основные типы барьеров. Зачем они нужны и как от них избавиться?

Каковы принципы визуализации барьеров?

Какие параметры полупроводника можно вычислить из ВАХ барьера?

Какие параметры полупроводника можно вычислить из спектра импеданса барьера?

Какую информацию можно извлечь из спектра люминесценции полупроводника?

В каких координатах спектр поглощения прямозонного полупроводника имеет линейный участок? А непрямозонного?

Как определить концентрацию носителей заряда в кристалле полупроводника оптическими методами?

Как определить размер квантовых точек по спектру поглощения?

Почему на ИК-спектре видны полосы колебаний не всех связей образца?

Назовите принципы рентгеновской флуоресценции. Чем определяется величина сигнала?

Найдите на представленном спектре рентгеновской флуоресценции артефакты. Каково их происхождение? Как их устранить, или уменьшить?

В чем преимущества и недостатки различных методов определения состава по данным рентгеновской флуоресценции?

Что такое внутренний стандарт?

Какую информацию можно извлечь из спектра люминесценции полупроводника?

Какие параметры влияют на люминесцентные свойства полупроводников? Какую длину волны следует использовать для возбуждения люминесценции в полупроводнике?

Что такое квантовый выход люминесценции и какие есть способы его определения?

Что можно определить, измеряя кинетику люминесценции полупроводника?

Как выбрать травитель для исследования микроструктуры кристалла?

Какие параметры анизотропии можно определить с помощью поляризационной микроскопии?

**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 (знание современного состояния науки в области методов исследования полупроводников). Частично сформированность умения выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования 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)

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач