

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/

«27» февраля 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Синтез и свойства неорганических веществ и материалов (III).  
Синтез и свойства полупроводниковых материалов.**

**Уровень высшего образования:**  
Специалитет

---

**Направление подготовки (специальность):**  
04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
Неорганическая химия

**Форма обучения:**  
очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №1 от 27.01.2017)

Москва 2017

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 / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 22 июля 2011 года № 729 (в редакции приказов МГУ от 22 ноября 2011 года № 1066, от 21 декабря 2011 года № 1228, от 30 декабря 2011 года № 1289, от 27 апреля 2012 года № 303, от 30 декабря 2016 года № 1671).

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

1. Наименование дисциплины (модуля) **Синтез и свойства неорганических веществ и материалов (III). Синтез и свойства полупроводниковых материалов.**
2. Уровень высшего образования – **специалитет.**
3. Направление подготовки: **04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия.**
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Компетенция	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p><b>ОПК-1.С.</b> Способность решать современные проблемы фундаментальной и прикладной химии, используя методологию научного подхода и систему фундаментальных химических понятий и законов</p>	<p><b>Уметь</b> анализировать научную литературу с целью выбора направления и методов, применяемых в исследовании по теме выпускной квалификационной работы,  <b>Уметь:</b> самостоятельно составлять план исследования  <b>Владеть</b> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации, постановки целей исследования и выбора оптимальных путей и методов их достижения</p>
<p><b>СПК-2. С.</b> Способность применять кристаллохимические, термодинамические и кинетические представления для проведения направленного неорганического синтеза, владение как классическими, так и новейшими методами синтеза для получения неорганических веществ и материалов с заданной морфологией, микроструктурой, дисперсностью, включая монокристаллы, наночастицы, аморфные фазы и пленки</p>	<p><b>Уметь:</b> критически анализировать, обобщать и применять научную информацию о фазовых равновесиях, реакционной способности и физических свойствах неорганических веществ, с целью оптимизации экспериментальных условий направленного синтеза неорганических соединений и материалов с определенным строением и свойствами</p>
<p><b>СПК-4.С.</b> Владение классическими и новейшими методами получения неорганических веществ и материалов с заданной морфологией, микроструктурой, дисперсностью, включая монокристаллы, наночастицы, аморфные фазы и пленки.</p>	<p><b>Знать</b> возможности и ограничения методов получения неорганических веществ и материалов из газовой фазы, раствора и твердой фазы, понимать роль термодинамики и кинетики процессов синтеза, возможности и ограничения управления составом и структурой в процессе синтеза. Студент должен знать основные виды опасностей при работе в химической лаборатории, правила техники безопасности при работе с химическими реактивами, ЛВЖ, вакуумными установками, баллонами со сжатыми газами и сосудами под давлением, криогенными сосудами, электрическими установками, высокотемпературными печами.  <b>Уметь</b> находить релевантные методы синтеза и исследования, применять основные законы химии при анализе полученных результатов, в том числе с привлечением ин-</p>

	формационных баз данных; представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчета, научного доклада, презентации.
<b>СПК-5.С.</b> Владение основным терминологическим и понятийным аппаратом современного неорганического материаловедения; знание основных классов функциональных материалов, методов их получения, взаимосвязи структуры и свойств, умение анализировать и предлагать способы получения функциональных материалов с заданными свойствами, выбирать оптимальные материалы для дизайна устройств с заданным функционалом.	<b>Уметь:</b> выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению неорганических веществ и материалов <b>Владеть:</b> информацией о возможностях методов, их точности и ограничениях, иметь представление о приемах подготовки образцов, задании параметров проведения эксперимента, методах регистрации и обработки экспериментальных результатов.

6. Объем дисциплины 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 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 58 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 36 часов – занятия семинарского типа, 4 часа – промежуточный контроль успеваемости), 14 часов составляет самостоятельная работа студента.*

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

Требуется освоение дисциплин «Неорганическая химия», «Общая физика», «Элементы строения вещества», «Физическая химия», «Кристаллохимия» в объеме, преподаваемом на Химическом факультете МГУ.

Обучающийся должен

**Знать:** химические и функциональные свойства неорганических полупроводниковых материалов и основные закономерности в их изменении, основные законы физики, основные операторы физических величин, основы учения о фазовых равновесиях, основные подходы к получению нанокристаллов, объемных кристаллов и пленок полупроводниковых материалов.

**Уметь:** применять знания вышеуказанных разделов для описания полупроводниковых материалов.

**Владеть:** современными представлениями о строении вещества, наноструктурном состоянии и факторах, влияющих на возможность протекания химических реакций.

## 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						Самостоятельная работа обучающегося, часы		
		из них						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
Раздел 1. Химия полупроводниковых и сенсорных материалов. Общие представления о полупроводниковых материалах.	10	3	6				9	1		1
Функциональные свойства полупроводников	10	3	6				9	1		1
Рост объемных кристаллов полупроводников. Тонкие пленки планарные гетероструктуры. Нитевидные кристаллы полупроводников.	11	3	6				9	2		2
Наночастицы. Реакционная способность поверхности полупроводниковых кристаллов. Сенсорные свойства.	14	4	8				12	2		2
Раздел 2. р-Т-х диаграммы, рост кристаллов и пленок.	17	5	10				15	2		2
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	10					4	4			6
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>36</b>			<b>4</b>	<b>58</b>	<b>8</b>		<b>14</b>

#### 9. Образовательные технологии:

- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

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

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Занятия могут проходить на русском или английском языках. Для самоподготовки предлагается список вопросов по каждой теме, контрольные задания и перечень вопросов к зачету.

#### 11. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

#### **Основная литература**

1. С.С.Горелик, М.Я Дашевский. Материаловедение полупроводников и диэлектриков, Москва МИСИС 2003. С 479.
2. Современная кристаллография , т.3, М Наука, 1980
3. А. Вест Химия твердого тела. Теория и приложения: в 2-х ч, пер. с англ. ч.1 2003
4. А.А.Елисеев, А.В. Лукашин Функциональные наноматериалы. 2010
5. И.П. Суздалев. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов., 589с. 2007

#### **Дополнительная литература**

1. Lead Calcogenides: Physics and Applications ed D.Khokhlov, Taylor and Francis, New York, 2003
2. Процессы реального кристаллообразования, М.Наука, 1977
3. О.Г.Козлова, Рост и морфология кристаллов. МГУ, 1972.
4. Рост кристаллов. Теория роста и методы выращивания кристаллов, под ред. Гудмана, М Мир, 1977
5. Р.Ф. Стрикленд-Консэбл, Кинетика и механизмы кристаллизации, Л, Недра, 1971
6. Р.Лодиз, Р.Паркер, Рост монокристаллов, М, Мир 1974

#### **Периодическая литература**

1. Ю.Д. Третьяков, А.В. Лукашин, А.А. Елисеев. Синтез функциональных нанокомпозитов на основе твердофазных нанореакторов. Успехи химии, 2004 С. 974-998
2. Р.Б. Васильев, Д.Н. Дирин, А.М. Гаськов. Полупроводниковые частицы с пространственным разделением заряда: синтез и оптические свойства Успехи химии. 2004.с. 1190-1210.
3. В.В.Кривецкий, М.Н.Румянцева, А.М.Гаськов. Химическая модифицировка нанокристаллического диоксида олова для селективных газовых сенсоров. Успехи химии 2013. 917-941.

- Материально-техническое обеспечение: специальных требований нет, занятия проводятся в обычной аудитории, оснащенной доской и мелом (маркерами)

12. Язык преподавания – русский

13. Преподаватели: Гаськов Александр Михайлович, д.х.н., профессор; Зломанов Владимир Павлович, д.х.н., профессор.

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

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачета. На зачете проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.5.

#### **Вопросы для самостоятельной работы и подготовки к зачету:**

##### **Раздел 1. Химия полупроводниковых и сенсорных материалов.**

1. Основы твердофазного синтеза неорганических веществ.
2. Применение методов «мягкой химии» для получения материалов с заданными свойствами: золь-гель процесс, криохимический метод, метод Печини, использование микроволнового излучения, УЗИ, синтез в сверхкритическом CO<sub>2</sub>.
3. Методы выращивания монокристаллов неорганических веществ из расплава (методы Бриджмена, Чохральского, синтез из расплава собственных компонентов и использование флюса) и пара (CVD, химический транспорт).
4. Методы получения неорганических веществ различной размерности: 0D, 1D, 2D, теоретическое обоснование и практическая реализация.
5. Химическая связь и зонная диаграмма кремния.
6. Основные параметры зонной диаграммы. Функция Ферми. Положение уровня Ферми в собственных и легированных полупроводниках.
7. Отклонение состава от стехиометрического и атомные дефекты. Энергия образования атомного дефекта. Методы определения природы и концентрации атомных дефектов
8. Электропроводность полупроводников. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Подвижность носителей заряда, факторы, влияющие на подвижность. Собственная проводимость. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры
9. Легирование, донорные и акцепторные примеси в кремнии. Положение уровня Ферми в легированных полупроводниках.
10. Оптические свойства полупроводников. Отражение, поглощение и пропускание света полупроводниками. Спектр поглощения, экситоны, люминесценция. Стоксов сдвиг. Фотоэффект

##### **Раздел 2. p-T-x диаграммы, рост кристаллов и пленок.**

1. Отклонение состава от стехиометрического и атомные дефекты. Энергия образования атомного дефекта. Методы определения природы и концентрации атомных дефектов.

2. Гомогенная нуклеация. Критический зародыш. Влияние пересыщения на размер критического зародыша и скорость нуклеации. Механизмы роста кристаллов из растворов.
3. Рост кристаллов полупроводников из расплава. Условия получения объемных кристаллов. Методы Вернейля, Киропулоса и Чохральского. Преимущества и недостатки методов роста монокристаллов из расплава. Монокристаллы каких материалов выращивают из расплава.
4. Рост монокристаллов из пара. CVD технология, принцип метода, примеры. Кинетика роста кристаллов и пленок полупроводников методом CVD. Роль Р-Т-х фазовой диаграммы. Положительные и отрицательные особенности методов роста из пара.
5. Гетерогенная нуклеация. Свободная энергия образования зародышей. Роль подложки. Влияние параметров кристаллической структуры пленки и подложки на механизм роста пленок.
6. Рост кристаллов полупроводников из расплава. Метод Бриджмена. Принцип метода и температурный профиль в процессе роста. Механизмы роста кристаллов из растворов. Роль Р-Т-х фазовой диаграммы. Положительные и отрицательные особенности методов роста из расплава.
7. Рост кристаллов и пленок из пара. Роль подложки. Коэффициенты испарения и конденсации. . Пересыщение в паре. Механизмы роста кристаллов из пара. Эпитаксия. Метод Маркова-Давыдова. Рост нитевидных кристаллов, метод ПЖК.
8. Эпитаксия. Роль подложки. Напряжения несоответствия.
9. Общая характеристика полупроводниковых материалов группы А2В6. Атомные дефекты в полупроводниках А2В6. Рост кристаллов А2В6. Твердые растворы на основе соединений А2В6, влияние состава на параметр элементарной ячейки и E<sub>g</sub>. Методы роста тонкопленочных гетероструктур на основе А2В6, применение гетероструктур.
10. Процессы получения германия полупроводниковой чистоты

### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

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



РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
<p><b>Знать</b> возможности и ограничения методов получения неорганических веществ и материалов из газовой фазы, раствора и твердой фазы, понимать роль термодинамики и кинетики процессов синтеза, возможности и ограничения управления составом и структурой в процессе синтеза. Студент должен знать основные виды опасностей при работе в химической лаборатории, правила техники безопасности при работе с химическими реактивами, ЛВЖ, вакуумными установками, баллонами со сжатыми газами и сосудами под давлением, криогенными сосудами, электрическими установками, высокотемпературными печами.</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на семинарских занятиях и зачете</p>
<p><b>Уметь</b> анализировать научную литературу с целью выбора направления и методов, применяемых в исследовании по теме выпускной квалификационной работы,  <b>Уметь:</b> самостоятельно составлять план исследования  <b>Уметь:</b> критически анализировать, обобщать и применять научную информацию о фазовых равновесиях, реакционной способности и физических свойствах неорганических веществ, с целью оптимизации экспериментальных условий направленного синтеза неорганических соединений и материалов с определенным строением и свойствами  <b>Уметь</b> находить релевантные методы синтеза и исследования, применять основные законы химии при анализе полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных; представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчета, научного доклада, презентации.  <b>Уметь:</b> выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению неорганических веществ и материалов.</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на семинарских занятиях и зачете</p>
<p><b>Владеть</b> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации, постановки целей исследования и выбора оптимальных путей и методов их достижения.  <b>Владеть:</b> информацией о возможностях методов, их точности и ограничениях, иметь представление о приемах подготовки образцов, задании параметров проведения эксперимента, методах регистрации и обработки экспериментальных результатов.</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете</p>