

Программа утверждена на заседании  
Ученого Совета химического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова  
Протокол № 3 от 24 апреля 2015 г.

### Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. Наименование дисциплины (модуля): **Химия полупроводников.**

Краткая аннотация: Основная цель курса - *ознакомление аспирантов с фундаментальными и практическими аспектами химии важного класса функциональных неорганических материалов. Методы получения и свойства полупроводниковых материалов будут рассмотрены последовательно для объемных кристаллов, тонких пленок и планарных структур, нитевидных и наноразмерных кристаллов. Особенностью курса является то, что он базируется на физико-химическом анализе фазовых превращений и строении Р-Т-х фазовых диаграмм соответствующих систем.*

- Создание у аспирантов физико-химической базы, необходимой для выбора полупроводниковых материалов на основе их зонной структуры, кристаллической и дефектной структуры.
- Умение анализировать Р-Т-х фазовые диаграммы с целью выбора условий синтеза кристаллов и пленок полупроводниковых материалов с заданными свойствами.
- Способность самостоятельно анализировать взаимосвязь «Состав-структура-свойство» для полупроводниковых материалов. Понимание роли атомных дефектов и примесей в формировании полупроводниковых свойств.

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, «Дисциплины (модули)».

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

<b>Формируемые компетенции (код компетенции)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
УК-1 способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<i>B1 (УК-1) Владеть</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
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	<i>31 (УК-2) Знать</i> методы научно-исследовательской деятельности
ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	<i>У1 (ОПК-1) Уметь</i> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования
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	<i>31 (ПК-1) Знать</i> современное состояние науки в области неорганической химии  <i>B1 (ПК-1) Владеть</i> методами синтеза полупроводников с заданными свойствами, современными инструментальными методами исследования состава, строения и свойств полупроводников
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	<i>31 (ПК-16) Знать</i> современное состояние науки в области химии полупроводников  <i>B1 (ПК-16) Владеть</i> методами синтеза твердофазных веществ и материалов с заданными свойствами; современными инструментальными методами исследования состава, строения и свойств твердофазных веществ и 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 часа, из которых 58 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия семинарского типа, 4 часа мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 50 часов составляет самостоятельная работа учащегося.*

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

Для освоения программы в специалитете или магистратуре должны быть освоены общие курсы «Математический анализ», «Физика», «Физическая химия», «Кристаллохимия», а также спецкурсы, в которых излагались основы физико-химического анализа многокомпонентных систем и 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	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов, л.п.	Всего
Раздел 1. Р-Т-х фазовые диаграм-	27	10	5	-	-	-	15	12	-	12

мы как основа направленного синтеза полупроводников.										
Раздел 2. Химия дефектов в полупроводниковых соединениях	12	8	4	-	-	-	12	6	-	14
Раздел 3. Рост кристаллов и пленок полупроводников	27	10	5	-	-	-	15	12	-	12
Раздел 4. Нанокристаллические полупроводники	26	8	4				12	8		
<b>Промежуточная аттестация</b> зачет по курсу	16						4			12
<b>Итого</b>	<b>108</b>	36	18				<b>58</b>	38		<b>50</b>

#### 8. Образовательные технологии

Наряду с традиционными лекциями, для предметного ознакомления аспирантов с возможностями современного программного обеспечения проводятся лекции-демонстрации. В преподавание дисциплины используются результаты исследований, полученные сотрудниками 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, а также из интернет-ресурсов.

#### 10. 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. Handbook of crystal growth ed D.T.J.Hurle, 1994 Elsevier science
3. Современная кристаллография, т.3, М Наука, 1980
4. А. Вест. Химия твердого тела, т.2. М.: Мир, 1988.

5. Суздаев И.П. Физикохимия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. Москва. КомКнига, 2006.
6. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников, Москва, Наука, 1977.
7. Semiconductor and metal nanocrystals. Edited by V.Klimov. New York, Marcel Dekker Inc. 2004.
8. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.

### **Вспомогательная литература**

1. Мясоедов Б.Ф. Давыдов А.В. Химические сенсоры, возможности и перспективы. *Журнал аналитической химии*, 1990, т. 45, с. 1259-1278.
2. Власов Ю.Г. Твердотельные сенсоры в химическом анализе. *Журнал аналитической химии*, 1990, т. 45, с. 1279-1289
3. Мясников И.А., Сухарев В.Я., Куприянов Л.Ю., Завьялов С.А. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях. М.: Наука, 1991.
4. Карпов Е.Ф., Басовский Б.И. Контроль проветривания и дегазации в угольных шахтах. М.: Недра, 1994.
5. Золотов Ю.А. Аналитическая химия в ИОНХ. *Журнал аналитической химии*, 1995, т. 50, с. 1223-1228.
6. Lead Calcogenides: Physics and Applications ed D.Khokhlov, Taylor and Francis, New York, 2003
7. Процессы реального кристаллообразования, М.Наука, 1977
8. О.Г.Козлова, Рост и морфология кристаллов. МГУ, 1972.
9. Рост кристаллов. Теория роста и методы выращивания кристаллов, под ред. Гудмана, М Мир, 1977
10. Р.Ф. Стрикленд-Консэбл, Кинетика и механизмы кристаллизации, Л, Недра, 1971
11. Р.Лодиз, Р.Паркер, Рост монокристаллов, М, Мир 1974

### **12.. Периодическая литература**

Журналы «Успехи химии», «Журнал неорганической химии», «Неорганические материалы», «Кристаллография», «Известия РАН. Серия химическая», «Физика твердого тела», Materials Chemistry, Mendeleev Communications, Scientific Reports, Journal of Materials Chemistry, Journal of Alloys and Compounds, Inorganic Chemistry, European Journal of Inorganic Chemistry, Chemistry - A European Journal, Journal of Crystal Growth

### **Интернет-ресурсы**

materials.springer.com – доступ к различным базам данных по материаловедению

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):  
Базы данных NIST <http://www.nist.gov>

- Описание материально-технической базы.

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оборудованной презентационной техникой. Вспомогательный материал в виде презентаций доступен аспирантам на сайте химического факультета <http://chem.msu.ru/>

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

Д.х.н., профессор Гаськов Александр Михайлович, [gaskov@inorg.chem.msu.ru](mailto:gaskov@inorg.chem.msu.ru)

Д.х.н., профессор ; Зломанов Владимир Павлович [zlomanov@inorg.chem.msu.ru](mailto:zlomanov@inorg.chem.msu.ru)

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

1. Планируемые результаты обучения для формирования компетенций п.5 и соответствующие им критерии оценивания приведены в Приложении 1.
2. Образцы оценочных средств:
  - примеры контрольных вопросов:
    1. Определение полупроводниковых материалов, Электропроводность полупроводников, металлов и диэлектриков, Собственный полупроводник, концентрация носителей заряда в Si при 300K
    2. Кристаллическая структура кремния, германия, алмазоподобные полупроводники, Правило Музера -Пирсона
    3. Запрещенная зона, влияние Eg на электрические и оптические свойства материалов, прямозонные и непрямозонные полупроводники, определение, примеры. Оптические свойства полупроводников.
    4. Уровень Ферми, дать определение, Уровень Ферми в собственных и легированных полупроводниках
    5. Отклонение состава от стехиометрического. Точечные дефекты в полупроводниках АВ, обозначения, методы определения. Равновесие твердое-пар для PbSe.
    6. Особенности синтеза полупроводников, чем вызвана необходимость использования особо чистых веществ. Методы получения кристаллов из расплава. Рост кристаллов из пара. Роль пересыщения.
    7. Что такое эффекты Зеебека и Пельтье? В чем смысл безразмерной термоэлектрической добротности, через какие величины она выражается? Какие факторы влияют на теплопроводность твердых тел?

примеры домашних заданий:

1. Самостоятельно изучите по вспомогательной литературе основные методы роста кристаллов полупроводников.
2. Самостоятельно изучите по периодической литературе примеры установления взаимосвязи «состав – структура – свойство» для полупроводниковых материалов группы A2B6
3. Самостоятельно изучите по периодической литературе примеры использования диаграмм фазовых равновесий в процессах раз- синтеза полупроводниковых материалов из расплава и пара..
4. Самостоятельно изучите по вспомогательной и периодической литературе примеры особенности зонной диаграммы полупро- водников

• полный перечень вопросов к зачёту:

1. Физические причины возникновения размерного эффекта в полупроводниках. Типичный спектр поглощения квантовых точек, основные типы переходов. Типы гетеропереходов в квантовых точках полупроводников.
2. Коллоидный синтез квантовых точек полупроводников. Диаграмма Ла Мера. Основные реагенты и основные типы стабилизаторов для коллоидных квантовых точек A2B6.
3. Понятие химического сенсора. Классификация химических сенсоров. Основные параметры химических сенсоров. Выбор материалов для полупроводниковых газовых сенсоров. Обоснование преимуществ нанокристаллических материалов для газовых сенсоров. Основные приемы для изменения сенсорных характеристик полупроводниковых материалов.
4. Кристаллическая структура кремния, германия, алмазоподобные полупроводники, Правило Музера -Пирсона
5. Запрещенная зона, влияние  $E_g$  на электрические и оптические свойства материалов, прямозонные и непрямозонные полупроводники, определение, примеры. Оптические свойства полупроводников.
6. Уровень Ферми, дать определение, Уровень Ферми в собственных и легированных полупроводниках
7. Отклонение состава от стехиометрического. Точечные дефекты в полупроводниках АВ, обозначения, методы определения. Равновесие твердое-пар для PbSe.
8. Особенности синтеза полупроводников, чем вызвана необходимость использования особо чистых веществ. Методы получения кристаллов из расплава. Рост кристаллов из пара. Роль пересыщения.
9. Что такое эффекты Зеебека и Пельтье? В чем смысл безразмерной термоэлектрической добротности, через какие величины она выражается? Какие факторы влияют на теплопроводность твердых тел?
10. Методы роста кристаллов и пленок полупроводников из расплава и пара.

### *Примеры ПКЗ.*

#### Задание 1.

Предложите метод синтеза и обоснуйте соответствующие операционные параметры для получения полупроводникового материала группы A4B6

#### Задание 2.

На основании предложенной фазовой диаграммы определите условия синтеза полупроводникового соединения из расплава.

#### Задание 3.

Предложите метод синтеза нанокристаллических полупроводников A2B6 из раствора.

#### Задание 4

Предложите алгоритм установления взаимосвязи «состав – структура – свойство» для нанокристаллического полупроводникового материала. Обоснуйте выбор соответствующих методов исследования.

### **Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения**

Зачет проводится по билетам; билет включает 2 вопроса. Уровень знаний аспиранта по каждому вопросу оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае, если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено». Ведомость приема зачета подписывается членами комиссии.

**Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Химия полупроводников»  
на основе карт компетенций выпускников**

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) и ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ*
	1	2	3	4	5	
<i>B1 (УК-1) Владеть</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	ПКЗ: установление последовательности действий или поиск ошибок в предложенной последовательности при решении поставленной задачи с учетом знаний и навыков, полученных в курсе
<i>31 (УК-2) Знать</i> методы научно-исследовательской деятельности	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о методах научно-исследовательской деятельности	Неполные представления о методах научно-исследовательской деятельности	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о методах научно-исследовательской деятельности	Сформированные систематические представления о методах научно-исследовательской деятельности	Индивидуальное собеседование в ходе зачета

<p><i>У1 (ОПК-1) Уметь</i> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования</p>	<p>Отсутствие умений</p>	<p>Фрагментарное использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи</p>	<p>Сформированное умение выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи</p>	<p>ПКЗ: установление последовательности действий или поиск ошибок в предложенной последовательности при решении поставленной задачи с учетом знаний и навыков, полученных в курсе</p>
<p><i>З1 (ПК-1) Знать</i> современное состояние науки в области химии полупроводников</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Отрывочные знания теоретических представлений, а именно методов расчетов и прогнозирования фазовых равновесий, не позволяющие проводить теоретические расчеты и интерпретировать их результаты и непонимание взаимосвязи различных методов</p>	<p>В целом сформированное знание теоретических представлений, основных возможностей методов неэмпирических расчетов и теоретической оценки параметров термодинамических моделей фаз, но ограниченное знание их взаимосвязей и тенденций развития.</p>	<p>Систематические теоретические представления, в целом достаточные для осмысленного использования расчетно-прогностических методов построения фазовых диаграмм и понимания смысла результатов расчетов в обычных случаях.</p>	<p>Полностью сформированная система теоретических представлений и их взаимосвязи, позволяющая осмысленно применять расчетно-прогностические методы, полностью используя их возможности; гибко варьировать ход экспериментального исследования.</p>	<p>Индивидуальное собеседование в ходе зачета</p>
<p><i>В1 (ПК-1) Владеть</i> методами синтеза</p>	<p>Отсутствие</p>	<p>Владение только отдельными спо-</p>	<p>Несистематические и неуверенные</p>	<p>В целом успешное, хотя не во всех</p>	<p>Полностью сформированное владе-</p>	<p>ПКЗ: Установление</p>

полупроводников с заданными свойствами, современными инструментальными методами исследования состава, строения и свойств неорганических соединений	умений	собами прогнозирования и моделирования свойств химических веществ и материалов, путей их получения	навыки использования основных способов прогнозирования и моделирования свойств и строения химических веществ и материалов, а также путей их получения	случаях свободное, владение способами прогнозирования и моделирования строения и свойств химических веществ и материалов, а также путей их получения	ние способами прогнозирования и моделирования строения и свойств химических веществ и материалов, а также путей их получения	последовательности и взаимосвязанности действий или поиск ошибок в предложенной последовательности при решении поставленной задачи с учетом знаний и навыков, полученных в курсе
<b>31 (ПК-16) Знать</b> современное состояние науки в области химии твердого тела	Отсутствие знаний	Отрывочные знания теоретических представлений, а именно методов расчетов и прогнозирования фазовых равновесий, не позволяющие проводить теоретические расчеты и интерпретировать их результаты и непонимание взаимосвязи различных методов	В целом сформированное знание теоретических представлений, основных возможностей методов неэмпирических расчетов и теоретической оценки параметров термодинамических моделей фаз, но ограниченное знание их взаимосвязей и тенденций развития.	Систематические теоретические представления, в целом достаточные для осмысленного использования расчетно-прогностических методов построения фазовых диаграмм и понимания смысла результатов расчетов в обычных случаях.	Полностью сформированная система теоретических представлений и их взаимосвязи, позволяющая осмысленно применять расчетно-прогностические методы, полностью используя их возможности; гибко варьировать ход экспериментального исследования.	Индивидуальное собеседование в ходе зачета
<b>В1 (ПК-16) Владеть</b> методами синтеза твердофазных веществ и материалов	Отсутствие умений и знаний	Отрывочные представления о современных синтетических	Содержащие пробелы представления о современных методах синтеза	В целом сформированные, но содержащие отдельные пробелы	Полностью сформированное систематическое знание современных мето-	ПКЗ: Установление последовательности и взаимо-

<p>с заданными свойствами; современными инструментальными методами исследования состава, строения и свойств твердофазных веществ и материалов</p>		<p>методах химии твердого тела и закономерностях протекания твердотельных реакций</p>	<p>твердофазных веществ и проведения твердофазных реакций, несистематические знания о закономерностях протекания твердофазных процессов</p>	<p>представления о современных методах синтеза твердофазных веществ и проведения твердофазных реакций, знание основных закономерностей протекания твердофазных реакций и влияние условий синтеза на свойства продуктов</p>	<p>дов синтеза твердофазных веществ и проведения твердофазных реакций; знание закономерностей протекания твердофазных реакций, позволяющее вести направленный синтез материалов</p>	<p>связанности действий или поиск ошибок в предложенной последовательности при решении поставленной задачи с учетом знаний и навыков, полученных в курсе</p>
---	--	---	---	--	---	--