

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Аннотированная рабочая программа дисциплины  
Химия материалов электронной техники**

Направление подготовки  
**04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

Квалификация  
**Специалист**

Форма обучения  
**Очная**

Томск – 2016

**1. Код и наименование дисциплины:** Б1.В.ДВ.1.3.3 «Химия материалов электронной техники»

**2. Цель изучения дисциплины** – изучение общих свойств, методов синтеза и областей применения металлических, полупроводниковых и диэлектрических материалов опто- и электронной техники, как объектов, занимающих высокие позиции в ранге значимости в современном материаловедении.

**3. Год/годы и семестр/семестры обучения:** 4 год, 7 семестр

**4. Общая трудоемкость дисциплины (модуля)** составляет 4 зачетных единицы, 144 часа, из которых 68 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (34 часа – занятия лекционного типа, 34 часа – занятия семинарского типа) 40 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**  
(заполняется в соответствии с картами компетенций)

<b>Формируемые компетенции</b> (код компетенции, уровень (этап) освоения)	<b>Планируемые результаты обучения по</b> <b>дисциплине (модулю)</b>
<b>Первый уровень</b> (пороговый) <b>(ОПК-1) – I</b> <b>Второй уровень</b> (углубленный) <b>(ОПК-1) – II</b> способность воспринимать, развивать и использовать теоретические основы традиционных и новых разделов химии при решении профессиональных задач	<b>В (ОПК-1) – I – Владеть:</b> основами строения твердых тел, знаниями о типах и роли дефектов в твердых телах, взаимосвязью между составом, строением и свойствами материалов, сведениями о методах синтеза твердых веществ, принципами протекания твердофазных реакций <b>У (ОПК-1) – II – Уметь:</b> использовать знания о составе, структуре и реакционной способности твердых тел для оценки возможности направленного изменения тех или иных физических и физико-химических свойств материалов путем их модификации и выбора условий получения
<b>Первый уровень</b> (пороговый) <b>(СК-1) – I</b> способность использовать в исследованиях и расчётах приобретённые знания о физических и химических процессах получения веществ и материалов, их анализе, прогнозировании свойств	<b>З (СК-1) – I – Знать:</b> теоретические основы способов очистки металлических и полупроводниковых материалов от примесей и их легирования <b>У (СК-1) – I – Уметь:</b> рассчитывать профиль распределения примесей и легирующих добавок в материале в зависимости от способа очистки и условий введения

## 6. Содержание дисциплины (модуля) и структура учебных видов деятельности

### 6.1. Структура учебных видов деятельности

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)	Подготовка к экзамену (час.)
		Лекции	Семинары		
Классификация элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений	6	2	2	2	
Теория дефектного кристалла	10	4	2	4	
Методы очистки полупроводниковых соединений	12	4	4	4	
Синтез полупроводниковых соединений	8	2	2	4	
Методы выращивания монокристаллов	14	4	4	6	
Легирование полупроводников	8	2	2	4	
Нанотехнология полупроводниковых структур	4		2	2	
Металлы и сплавы со специальными свойствами	16	6	6	4	
Керамические материалы	18	6	6	6	
Полимерные материалы	12	4	4	4	
Промежуточный контроль (экзамен)	36				36
<b>ВСЕГО</b>	<b>144</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>40</b>	<b>36</b>

## 6.2. Содержание дисциплины

**Введение.** Основные материалы электронной техники. Представления науки о твердом состоянии вещества. Связь свойств материалов со структурой и составом. Классификация твердых материалов по химическому составу, структуре, свойствам и функциональному назначению. Фундаментальные и прикладные проблемы электронного материаловедения.

### Часть 1. Полупроводниковые материалы

**1. Классификация элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений.** Классификация твердых тел: металлы, изоляторы, полупроводники. Основные физические и химические свойства полупроводников. Распределение элементарных полупроводников в периодической системе Д.И. Менделеева. Двойные соединения, их классификация. Правила образования алмазоподобных полупроводников с тетраэдрической координацией атомов. Изоэлектронные ряды. Тройные, четвертные и т.д. полупроводниковые соединения. Связь свойств соединений с положением в периодической системе. Фазы переменного состава. Твердые растворы. Природа химической связи, структура и координация атомов. Критерии полупроводимости.

**2. Теория дефектного кристалла.** Задачи статистической термодинамики и квантовой статистики в теории дефектного кристалла. Современная трактовка законов простых и кратных отношений и постоянства состава в применении к кристаллическим решеткам. Ближний и дальний порядок в кристалле.

Виды дефектов: точечные, плоские, объемные, протяженные. Классификация дефектов и дефектных структур: структуры смещения, разрыхления, взаимозамещения, деления, вычитания, замещения, внедрения. Собственный беспорядок в кристаллах (тепловые дефекты). Зависимость дефектов Френкеля и Шоттки от температуры. Термодинамический вывод устойчивости кристаллов с дефектами. Сложные дефекты. Виды взаимодействия дефектов в кристаллах. Примеры.

Полупроводники как фазы переменного состава. Критерии устойчивости фаз, область гомогенности. Классификация фаз переменного состава. Понятие о термодинамическом *p-n*-переходе. Применение к фазам переменного состава правила фаз Гиббса. Равновесия в дефектных кристаллах: гомогенное, гетерогенное, полное внутреннее равновесие, частичное или «квазиравновесное» состояние. Графический метод расчета равновесной концентрации дефектов (метод Крюгера и Винка). Химические следствия существования дефектов в кристаллах. Влияние дефектов на физические свойства кристаллов.

**3. Методы очистки полупроводниковых соединений.** Требования чистоты в отношении полупроводниковых веществ. Классификация особо чистых веществ и материалов, применяемых в полупроводниковой технике. Нормирование микропримесей. Хранение особо чистых веществ. Особенность методов получения особо чистых веществ. Основные проблемы глубокой очистки. Термодинамическая устойчивость кристалла с примесью. Основные термодинамические характеристики особочистых веществ.

Физико-химические методы очистки веществ: экстракция, соосаждение, ионный обмен, дистилляция, ректификация, электрохимические методы, хроматографические методы. Принцип методов, основные законы и закономерности процессов, математические описания.

Физические методы очистки. Кристаллизация твердого вещества из расплава. Закон распределения. Коэффициент распределения *K*. Термодинамический вывод *K* и его зависимость от температуры и концентрации. Метод зонной плавки (тигельный и бестигельный). Вывод уравнения Пфанна. Графическое распределение примесей вдоль стержня. Предельное распределение. Влияние различных факторов на степень очистки при зонной плавке. Зонное выравнивание. Роль диффузионных процессов при зонной очистке. Равновесные и неравновесные условия кристаллизации. Графический способ определения  $K_{эф}$ . Метод направленной кристаллизации. Сущность метода. Вывод

уравнения. Критерии эффективности очистки кристаллизационными методами.

**4. Синтез полупроводниковых соединений.** Прямой синтез соединений сплавлением рассчитанных количеств компонентов. Синтез соединений, имеющих легко летучий компонент. Температурная зависимость упругости пара. Равновесие в газовой системе, содержащей молекулы разного сорта. Термодинамический расчет условий получения стехиометрических кристаллов (на примере синтеза арсенида галлия). Полное равновесное описание диаграммы состояния Ga-As). Двух-, трехтемпературный синтез. Химические методы синтеза.

**5. Методы выращивания монокристаллов.** Общая характеристика методов выращивания. Общая термодинамическая теория роста кристаллов. Вероятность и термодинамические условия образования критических зародышей. Влияние пересыщения и поверхностно-активных веществ на величину зародыша кристалла.

Выращивание из расплавов. Общая характеристика методов выращивания из расплава. Метод Чохральского. Технологические условия получения совершенных монокристаллов. Распределение и выравнивание примесей в растущем кристалле. Метод зонной перекристаллизации. Методы направленной кристаллизации (метод Бриджмена, метод Чалмерса). Дефекты при выращивании монокристаллов. Температурная зависимость концентрации точечных дефектов.

Выращивание из растворов. Требования к растворителям. Основные растворители. Выращивание из индифферентного раствора, из избытка исходного компонента.

Рост кристаллов из газовой фазы. Простые и эпитаксиальные пленки; способы получения. Основные методы эпитаксиального наращивания. Прямой синтез из паров. Термодинамический расчет парциальных давлений газов при росте стехиометрических кристаллов. Температурный режим и дефекты при выращивании монокристаллов. Равновесие растущего кристалла с паровой фазой. Расчет концентраций дефектов в кристалле в зависимости от давления паров летучего компонента. Получение монокристаллов заданного типа и величины проводимости.

Метод газотранспортных реакций. Термодинамические условия и выход транспортных реакций. Примеры получения эпитаксиальных слоев элементарных и двойных соединений. Исследование несовершенств монокристаллических пленок. Термодинамический расчет концентрации примеси при транспорте. Использование газотранспортных реакций для очистки полупроводниковых соединений.

**6. Легирование полупроводников.** Физико-химические основы легирования полупроводников. Легирование металлургическим сплавлением. Расчет лигатуры. Поверхностное диффузное легирование. Законы Фика. Распределение концентрации диффундирующей примеси вглубь образца. Коэффициент диффузии  $D$  как величина кинетическая и термодинамическая. Зависимость  $D$  от температуры, концентрации и типа дефектов.

Механизмы диффузии. Легирование элементарных полупроводников. Влияние концентрации дефектов на растворимость примеси. Легирование нестехиометрических соединений. Зависимость растворимости примеси от характера и концентрации дефектов и давления летучего компонента. Электронное и ионное легирование (элионика). Сущность метода. Радиационно-стимулированная диффузия.

**7. Нанотехнология полупроводниковых структур.** Наноструктурированные кристаллы, их характерные размерные эффекты и отличие от объемных кристаллов. Основные полупроводниковые соединения, используемые в нанотехнологии – Ge, Si, соединения  $A^{111}B^V$  (GaAs, InAs),  $A^{11}B^{VI}$  (CdS, CdTe). Локализация электронов в наноструктурах и связанные с ней эффекты. Области применения нанотехнологии: полевые транзисторы с дискретным переносом энергии, лазеры на квантовых точках на основе диода  $p - GaAs$ , гетероэпитаксиальные структуры с нанослоями. Применение углеродных трубок (фуллерены) в технологии полупроводниковых приборов в качестве затворов, межслойных контактов и непосредственно полупроводников с различной

шириной запрещенной зоны.

## **Часть 2. Функциональные материалы (металлы, керамика, полимеры)**

**8. Металлы и сплавы со специальными свойствами.** Теории металлического состояния: теория свободных электронов, ее недостатки; квантово-механическая теория электронов; зонная теория твердых тел. Структура металлов. Фазы в металлических сплавах: твердые растворы, интерметаллические фазы. Искажения решеток (дислокаций) и дефекты структуры; связь между линейными дефектами и свойствами металлов; пути управления дислокационными дефектами.

Электрические свойства металлов. Физическая природа электропроводности металлов. Природа сопротивления металлов; центры рассеяния и правило Маттиссена. Температурная зависимость удельного сопротивления металлических проводников. Влияние примесей и других структурных дефектов на удельную проводимость металлов. Металлы, используемые в качестве проводников в электронной технике.

Сверхпроводящие металлы и сплавы. Основные свойства сверхпроводников: эффект Мейсснера-Оксенфельда, эффекты Джозефсона, сверхпроводники первого и второго рода, критические магнитные поля, критический ток. Природа явления сверхпроводимости, изотопический эффект, куперовские пары, фононный и экситонный механизм проводимости. Коммерческие материалы и приборы на основе сверхпроводимости: сильноточные и слаботочные технологии.

Магнетизм металлических твердых тел. Пара- и диамагнетики, ферромагнетики, магнитоstriction, распределение магнитных моментов при помещении различных магнетиков в магнитное поле; влияние температуры: законы Кюри и Кюри-Вейсса; магнетизм коллективизированных электронов. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы.

**9. Керамические материалы.** Общие сведения о керамических материалах (КМ). Структура и свойства керамических материалов. Классификация и характеристика КМ: оксидная керамика, бескислородная керамика, керметы. Твердофазные реакции в синтезе керамических материалов: типы твердофазных реакций; специфические особенности механизма, кинетика и термодинамика твердофазных реакций и превращений.

Электрические свойства керамики. Диэлектрическая керамика: механизмы поляризации керамики в электрическом поле; пьезо-, сегнето- и пьезоэлектрическая керамика, взаимосвязь между пьезо-, сегнето- и пьезоэлектрическими свойствами.

Высокотемпературная сверхпроводящая керамика: особенности кристаллохимии высокотемпературных сверхпроводников. Критические параметры ВТСП. Пути повышения критических характеристик ВТСП-материалов: Области применения ВТСП-материалов и ее перспективы в технике.

Ионные проводники. Критерии возникновения суперионного состояния твердых тел. Важнейшие типы проводников. Применение твердых электролитов.

Керамические ферриты. Классификация ферритов. Магнитомягкие ферриты со структурой шпинели. Ферриты с гексагональной кристаллической структурой (гексаферриты). Ферриты со структурой граната.

Оптические свойства керамических материалов. Характеристика оптических керамических материалов; методы получения прозрачной керамики; люминесценция и люминофоры, принцип работы лазера, общие требования к твердым материалам, используемым в лазерах.

**10. Полимерные материалы.** Физико-химические принципы создание полимерных материалов с заданными свойствами. Основные принципы химической и физической модификации полимеров. Полимерные композиционные материалы: классификация наполнителей, модель структуры наполненного полимера, модифицирующие действия наполнителей на полимеры. Молекулярные комплексы полимеров: свойства и способы получения. Металлорганические полимеры на основе металлсодержащих мономеров.

Электрические свойства полимеров. Химия проводящих полимерных соединений; типы проводящих полимерных веществ: полимеры с электронной проводимостью (наполненные проводящие полимеры, полимеры с системой сопряженных связей), полимеры с ионной проводимостью; механизм переноса заряда в проводящих полимерах. Отличительные особенности полимеров с системой сопряженных связей, твердых полимерных электролитов, их использование в современных устройствах.

Оптические свойства полимеров. Методы синтеза флуоресцирующих полимеров. Фотофизические процессы в полимерах: образование возбужденных состояний и перенос энергии, тушение флуоресценции добавками. Применение (люминесцентные солнечные концентраторы, материалы для лазерной техники).

Жидкокристаллические (ЖК) полимеры. Принципы их молекулярного конструирования. Структура и особенности свойств ЖК полимеров. Использование в современных устройствах: создание новых типов тонкопленочных оптических материалов и электрически управляемых сред для записи и отображения информации.

Современные тенденции развития химии дендримеров. Принципиальные синтетические схемы. Характерные свойства. Области применения дендримеров.

### **6.3. Форма промежуточной аттестации - экзамен**

#### **7. Ресурсное обеспечение:**

##### **7.1. Основная литература**

1. Фальхман Б. Химия новых материалов и нанотехнологии. Учебное пособие. Пер. с англ.: Научное издание / Б. Фальхман – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 464 с.
2. Сорокин В.С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики: учебник для вузов / В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. – СПб.: Лань, 2015. – 442 с.
3. Александров С.Е. Технология полупроводниковых материалов: учеб. пособие / С.Е. Александров, Ф.Ф Греков. – СПб.: Лань, 2012. – 230 с.

##### **7.2 Дополнительная литература**

1. Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов. Электронная структура и свойства полупроводников: пер. с англ. / Под ред. К.А. Джексон, В. Шретер. – Воронеж: Водолей, 2004. – 967 с.
2. Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников / Б.Ф. Ормонт. – М.: Высшая школа, 1982. – 528 с.
3. Гудымович Е.Н. Химия и термодинамика полупроводниковых соединений / Е.Н. Гудымович. – Томск: Изд-во ТГУ, 1981 – 110 с.
4. Вест А. Химия твердого тела. Теория и приложения. В 2-х ч. / А. Вест. – М.: Мир, 1988. – 558 с.

##### **7.3. Электронные ресурсы**

1. Горелик С.С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский. М.: МИСИС, 2003. – 480 с. Издательство «Лань» [Электронный ресурс]: электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – СПб. 2010. – URL: <http://e.lanbook.com/book/1816>
2. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. СПб.: Лань, 2008. – 624 с. Издательство «Лань» [Электронный ресурс]: электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – СПб. 2010. – URL: <http://e.lanbook.com/book/693>
3. Вихров С.П. Свойства и применение металлов и полупроводников / С.П. Вихров, Т.А. Холомина. Саратов: Вузовское образование, 2004. – 80 с. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22310763>

**8. Преподаватели (авторы):** канд. хим. наук, доцент Т.И. Изаак, канд. хим. наук, доцент Н.А. Гавриленко.