

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

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

Направление подготовки
04.03.01 Химия

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Томск – 2015

1. Код и наименование дисциплины (модуля) Б1.В.ДВ.4.3.3 – Химия материалов электронной техники

2. Цель изучения дисциплины (модуля) – 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)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
Первый уровень (пороговый) (ОПК-1)–I Второй уровень (углубленный) (ОПК-1) – II способность использовать теоретические основы традиционных и новых разделов химии при решении профессиональных задач	В (ОПК-1) –I – Владеть: 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 У (ОПК-1) –II – Уметь: 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
Первый уровень (пороговый) (СК-1) –I способность использовать в исследованиях и расчётах приобретённые знания о физических и химических процессах получения веществ и материалов, их анализе, прогнозировании свойств	З (СК-1) –I – Знать: теоретические основы способов очистки металлических и полупроводниковых материалов от примесей и их легирования У (СК-1) – I – Уметь: 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
ВСЕГО	144	34	34	40	36

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.

Модуль 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 $A^{III}B^V$ (GaAs, InAs), $A^{II}B^{VI}$ (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 $p-n-GaAs$, 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.

Модуль 2. Функциональные материалы (металлы, керамика, полимеры)

8. Металлы и сплавы со специальными свойствами

Теория 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: высокоточные 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 пироэлектрическая керамика, взаимосвязь между пьезо-, сегнето- и пироэлектрическими 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 создания полимерных материалов с заданными свойствами. Основные принципы химической и физической модификации полимеров. Полимерные композиционные материалы: классификация наполнителей, модель структуры наполненного полимера, модифицирующие действие наполнителей на полимеры. Молекулярные комплексы полимеров: свойства и способы получения. Металлорганические полимеры, полученные на основе металлосодержащих 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 (люминоцентные солнечные концентраторы, материалы для лазерной техники).

Жидкокристаллические (ЖК) полимеры. Принципы молекулярного конструирования ЖК полимеров. 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. Фахльман – 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.