

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович
Должность: Проректор по учебной и методической работе
Дата подписания: 11.09.2023 16:40:28
Уникальный программный ключ:
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной
и методической работе

_____ Б.В.Пекаревский

« 24 » декабря 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

ТЕХНОЛОГИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ И ОСОБО ЧИСТЫХ ВЕЩЕСТВ

Направление подготовки

18.03.01 Химическая технология

Направленность программы бакалавриата

Химическая технология материалов и изделий электроники и наноэлектроники

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Факультет **Химии веществ и материалов**

Кафедра **Химической нанотехнологии и материалов электронной техники**

Санкт-Петербург

2020

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Профессор		профессор Ю.К. Ежовский

Рабочая программа дисциплины «Технология монокристаллов и особо чистых веществ»
обсуждена на заседании кафедры химической нанотехнологии и материалов электронной
техники

протокол от 15.12.2020 № 4

Заведующий кафедрой ХНиМЭТ

А.А. Малыгин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов

протокол от 17.12.2020 № 4

Председатель

С.Г. Изотова

СОГЛАСОВАНО

Руководитель ООП «Химическая технология»		доцент М.В. Рутто
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н. Денисенко

СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	05
3. Объем дисциплины	05
4. Содержание дисциплины	06
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	06
4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины	07
4.3. Занятия лекционного типа	07
4.4. Занятия семинарского типа.....	10
4.4.1. Семинары, практические занятия	10
4.4.2. Лабораторные занятия	10
4.5. Самостоятельная работа.....	11
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	12
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	12
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины	13
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины	14
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	14
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	15
10.1. Информационные технологии	15
10.2. Программное обеспечение	15
10.3. Базы данных и информационные справочные системы	15
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	15
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья	15
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	16

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Для освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p>ПК-2 Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции</p>	<p>ПК-2.3 Подбор материалов необходимой чистоты или методов очистки материалов, используемых в процессах получения микрoeлектронных изделий</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическую сущность, особенности и структуру процессов очистки веществ (ЗН-1); - свойства чистых веществ и материалов и области их применения (ЗН-2); - классификацию чистых и особо чистых веществ и условия работы с этими веществами (ЗН-3). <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать на практике современные представления о влиянии микро- и наноструктуры на чистоту и свойства материалов (У-1); - использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса (У-2). <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методиками работы с чистыми и особо чистыми веществами (Н-1); - методиками анализа и сертификационных испытаний чистых и особо чистых веществ (Н-2).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Технология монокристаллов и особо чистых веществ» относится к части Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы бакалавриата, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.07) и изучается на четвертом году обучения в 8 семестре.

Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, полученных в ходе обучения по программам бакалавриата при изучении курсов: "Общая и неорганическая химия", "Физика", "Общая химическая технология".

Полученные в процессе освоения дисциплины знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе студента бакалавриата, а также при выполнении ВКР по тематике, связанной с разработкой и инновационным внедрением наукоемких процессов, материалов и технологий, созданием наноматериалов и разработкой нанотехнологических процессов.

3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
Общая трудоемкость дисциплины (зачетных единиц / академических часов)	6 / 216
Контактная работа с преподавателем:	110
занятия лекционного типа	52
занятия семинарского типа, в т.ч.	52
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	52 (13)
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	-
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	6
другие виды контактной работы	-
Самостоятельная работа	70
Формы текущего контроля	-
Форма промежуточной аттестации	Экзамен (36)

4. Содержание дисциплины

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Введение. Основные понятия, подходы и требования к веществам высокой чистоты	2	-	-	-	ПК-2
2	Рост кристаллов. Методы получения монокристаллов	6	4	-	4	ПК-2
3	Жидкофазный синтез неорганических веществ	4	4	-	4	ПК-2
4	Методы кристаллизации и осаждения из растворов	6	4	-	6	ПК-2
5	Твердофазный синтез неорганических веществ	6	6	-	6	ПК-2
6	Физико-химические основы очистки веществ. Энтропия смешения. Классификация веществ высокой чистоты и методов очистки.	4	6	-	6	ПК-2
7	Физические методы очистки веществ	4	-	-	4	ПК-2
8	Дистилляционные и экстракционные методы очистки	4	4	-	16	ПК-2
9	Способы адсорбционной очистки веществ	2	4	-	8	ПК-2
10	Химические методы очистки веществ	4	4	-	6	ПК-2
11	Кристаллизационные методы глубокой очистки	6	16	-	4	ПК-2
12	Условия проведения очистки веществ	2	-	-	4	ПК-2
13	Методы контроля степени чистоты химических соединений	2	-	-	2	ПК-2
ИТОГО		52	52	-	70	

4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1	ПК-2.3	<p>Введение. Основные понятия, подходы и требования к веществам высокой чистоты</p> <p>Рост кристаллов. Методы получения монокристаллов</p> <p>Жидкофазный синтез неорганических веществ</p> <p>Методы кристаллизации и осаждения из растворов</p> <p>Твердофазный синтез неорганических веществ</p> <p>Физико-химические основы очистки веществ. Энтропия смешения.</p> <p>Классификация веществ высокой чистоты и методов очистки.</p> <p>Физические методы очистки веществ</p> <p>Дистилляционные и экстракционные методы очистки</p> <p>Способы адсорбционной очистки веществ</p> <p>Химические методы очистки веществ</p> <p>Кристаллизационные методы глубокой очистки</p> <p>Условия проведения очистки веществ</p> <p>Методы контроля степени чистоты химических соединений</p>

4.3. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p>Введение. Основные понятия, подходы и требования к веществам высокой чистоты</p> <p>Предмет курса и его задачи. Основные определения, подходы и требования к веществам высокой чистоты. Понятия «индивидуального вещества» и «высокочистого вещества».</p> <p>Основное вещество и примеси. Влияние примесей на свойства веществ. Типы примесей (лимитирующие, химические, технологические, специфические, сопутствующие) и их определение. Формы нахождения примесей в твердой фазе. Методы анализа содержания примесей.</p>	2	Лекция-беседа
2	<p>Представление о зарождении и росте кристаллов. Гомогенное и гетерогенное образование зародышей твердой фазы.</p> <p>Термодинамика образования зародышей твердой фазы.</p> <p>Кинетика и механизм роста кристаллов. Термодинамическая и дислокационная теории роста кристаллов. Получение монокристаллов из расплава, раствора, газовой фазы.</p>	6	Лекция-беседа
3	<p>Неорганический синтез твердых веществ: основные понятия и определения. Расчет выхода продуктов по уравнениям реакций. Синтез комплексных соединений. Учет константы устойчивости и произведения растворимости при синтезе комплексных соединений. Различные виды выражения концентраций. Влияние гидролиза на синтез солей, образованных слабыми основаниями или кислотами.</p>	4	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
4	Равновесный и неравновесный процесс кристаллизации. Перекристаллизация, определение условий перекристаллизации, фракционная (дробная) перекристаллизация. Эффект высаливания. Фильтрование. Промывка осадка. Высушивание. Перекристаллизация и фильтрование с использованием неводных растворителей. Характеристика и классификация процессов разложения. Осаждение с коллектором. Явление изоморфизма. Гидротермальный метод выращивания монокристаллов	6	Лекция-беседа
5	Выращивания монокристаллов из стехиометрических расплавов. Механизмы роста монокристаллов. Роль полупроводниковых материалов. Получение и основные свойства германия, кремния, соединений АПВV и АПВVI. Особенности получения монокристаллов разлагающихся соединений. Выращивание монокристаллов тугоплавких соединений. Методы направленной кристаллизации и вытягивания кристаллов из расплавов. Методы Бриджмена-Стокбаргера, Киропулоса, Чохральского, Хорна и Вернейля.	6	Лекция-беседа
6	Классификация веществ высокой чистоты. Маркировка материалов по чистоте. Классификация, общая характеристика методов и оценка предельных возможностей очистки веществ. Сравнительная характеристика химических и физико-химических методов очистки веществ. Предельные возможности методов. Пределы влияния примесей на свойства веществ. Понятие об области примесной чувствительности свойств веществ.	4	Лекция-беседа
7	Разделение в гравитационном, магнитном и температурном полях. Диффузионные методы разделения. Метод удаления примесей в форме частиц.	4	Лекция-беседа
8	Ректификация. Ректификация в тарельчатых и насадочных колоннах. Оценка глубины ректификационной очистки. Ректификация под пониженным давлением. Использование ректификационных методов в технологии очистки полупроводниковых материалов. Коэффициент разделения. Теоретическая и экспериментальные оценки коэффициента разделения. Простая перегонка, перегонка с водяным паром, вакуумная перегонка. Фракционная перегонка. Однократная и многократная перегонка. Экстракция - метод очистки и разделения неорганических соединений. Экстракция простых ковалентных молекул без изменения их состава. Экстракция ионов путем введения их в состав нейтральных молекул. Экстракция координационно несольватированных и сольватированных солей. Экстракционное разделение смесей неорганических соединений.	4	Лекция-беседа
9	Адсорбция, абсорбция, хемосорбция. Основные закономерности и особенности. Адсорбция на границе раздела "жидкость – газ". Адсорбция на поверхности твердых тел. Наиболее распространенные типы сорбентов. Практическое применение адсорбционных методов для глубокой очистки веществ.	2	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
10	<p>Химические методы разделения смесей и очистки, основанные на различиях в свойствах основного вещества и примеси. Избирательное осаждение примесей. Реакции избирательного окисления / восстановления.</p> <p>Метод химических транспортных реакций. Термодинамическая оценка эффективности очистки. Перенос вещества потоком газа-реагента и перенос вещества молекулярной диффузией.</p> <p>Гидридный, хлоридный и карбонильные методы. Метод с использованием металлоорганических соединений. Основные критерии очистки и предельные возможности химических и физико-химических методов.</p>	4	Лекция-беседа
11	<p>Кристаллизационная очистка. Физико-химические основы метода. Виды и их предельные возможности. Кристаллизация из расплава. Равновесный и эффективный коэффициенты распределения примесей.</p> <p>Направленная кристаллизация. Распределение примесей по длине слитка при однократной и многократной направленной кристаллизации.</p> <p>Зонная перекристаллизация (плавка). Типы зонной плавки (с различными способами нагрева) и их использование в технологии полупроводниковых материалов и изделий электронной техники. Распределение примеси по длине слитка после одного и бесконечно большого числа проходов расплавленной зоны (конечное распределение). Факторы, влияющие на эффективность процесса: скорость передвижения зоны, варианты ее перемещения, длина зоны, форма и способ расположения вещества, температура на границе раздела фаз.</p> <p>Зонное замораживание (затвердевание).</p> <p>Противоточная кристаллизация из расплава.</p>	6	Лекция-беседа
12	<p>Требования к помещениям и оборудованию для очистки веществ. Зависимость процесса глубокой очистки веществ от выбора материала для изготовления химической аппаратуры и степени изоляции от воздушной среды. Коррозия конструкционных материалов.</p> <p>Способы управления качеством растущего кристалла.</p>	2	Лекция-беседа
13	<p>Критерии выбора методов анализа. Методы термогравиметрии. Рентгенофазовый анализ. Методы оптической спектроскопии и люминесценции: атомно-эмиссионный спектральный анализ; масс-спектрометрия; атомно-абсорбционная спектроскопия; атомно-флуоресцентный метод; люминесцентный метод анализа. Хромато-масс-спектрометрия. Высокоэффективная жидкостная хроматография.</p>	2	Лекция-беседа

4.4. Занятия семинарского типа.

4.4.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в т.ч. на практическую подготовку	
2	Определение параметров критического зародыша. Оценка термодинамических характеристик процесса зародышеобразования.	4	-	Групповая научная дискуссия
3	Оценка константы устойчивости и произведения растворимости при синтезе комплексных соединений.	4	-	
4	Определение условий перекристаллизации при фракционная (дробная) перекристаллизации.	4	-	Мозговой штурм
5	Основные свойства германия, кремния, соединений $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$.	4	4	Групповая научная дискуссия
	Особенности получения монокристаллов разлагающихся соединений	2	-	Групповая научная дискуссия
6	Оценка предельных возможностей химических и физико-химических методов очистки веществ.	4	-	Мозговой штурм
	Пределы влияния примесей на свойства веществ.	2	2	Мозговой штурм
8	Коэффициент разделения. Теоретическая и экспериментальные оценки коэффициента разделения.	4	2	
9	Практическое применение адсорбционных методов для глубокой очистки веществ	4	2	Групповая научная дискуссия
10	Термодинамическая оценка эффективности очистки	4	-	Мозговой штурм
11	Определение эффективного коэффициента распределения примеси при кристаллизационной очистке	4	-	
	Расчет профиля распределения примеси по длине слитка при направленной кристаллизации и зонной плавке.	4	3	
	Определение влияния размеров зоны и скорости перекристаллизации на профиль распределения примеси по длине слитка.	4	-	
	Распределение примеси по длине слитка после одного и нескольких проходов расплавленной зоны.	4	-	

4.4.2. Лабораторные занятия

Учебным планом не предусмотрены

4.5. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	Кинетика и механизм роста кристаллов. Термодинамическая и дислокационная теории.	4	Контрольный опрос
3	Неорганический синтез. Расчет выхода продуктов по уравнениям реакций. Синтез комплексных соединений.	4	Контрольный опрос
4	Перекристаллизация, определение условий перекристаллизации, фракционная (дробная) перекристаллизация. Эффект высаливания. Гидротермальный метод выращивания монокристаллов.	6	Контрольный опрос
5	Особенности получения монокристаллов разлагающихся соединений. Выращивание монокристаллов тугоплавких соединений.	6	Контрольный опрос
6	Пределы влияния примесей на свойства веществ. Понятие об области примесной чувствительности свойств веществ	6	Контрольный опрос
7	Диффузионные методы разделения. Метод удаления примесей в форме частиц.	4	Контрольный опрос
8	Теоретическая и экспериментальные оценки коэффициента разделения.	4	Контрольный опрос
	Простая перегонка, перегонка с водяным паром, вакуумная перегонка	4	Контрольный опрос
	Экстракция координационно несольватированных / сольватированных солей.	4	Контрольный опрос
	Экстракционное разделение смесей неорганических соединений	4	Контрольный опрос
9	Адсорбция на границе раздела "жидкость – газ". Адсорбция на поверхности твердых тел.	4	Контрольный опрос
	Практическое применение адсорбционных методов для глубокой очистки веществ.	4	Контрольный опрос
10	Химические методы разделения Избирательное осаждение примесей. Реакции избирательного окисления / восстановления.	6	Контрольный опрос
11	Факторы, влияющие на эффективность процесса: скорость передвижения зоны, варианты ее перемещения, длина зоны, форма и способ расположения вещества. Противоточная кристаллизация из расплава.	4	Контрольный опрос
12	Зависимость процесса глубокой очистки веществ от выбора материала для изготовления химической аппаратуры и степени изоляции от воздушной среды	4	Контрольный опрос
13	Критерии выбора методов анализа чистых веществ.	2	Контрольный опрос

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

1. Ежовский, Ю.К. Физико-химические основы технологии материалов электронной техники: Учебн. пособие / Ю.К. Ежовский.- СПб.: ИК СИНТЕЗ, 2007.– 124 с.
2. Ежовский, Ю.К. Чистые и особо чистые вещества: Учебн. пособие / Ю.К.Ежовский.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2010. - 91 с.
3. Ежовский, Ю.К. Введение в технологию материалов электронной техники: Учебн. пособие / Ю.К. Ежовский.- СПб.: ИК СИНТЕЗ, 2012. – 106 с.
4. Ежовский, Ю.К. Основы технологии монокристаллов и особо чистых веществ: Учебн. пособие / Ю.К. Ежовский.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2017.- 91 с.

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («зачтено») освоения предусмотренных элементов компетенций. Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Аттестация по дисциплине – в конце 8 семестра в виде экзамена в устной форме. К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Результаты экзамена включаются в приложение к диплому.

Примеры вопросов, предлагаемых на экзамене:

1. Чистые и особо чистые вещества. Типы примесей, их классификация и контроль. Классификация особо чистых материалов.
2. Физико-химические основы очистки веществ. Энтропия смешения.
3. Методы глубокой очистки веществ. Общая характеристика.
4. Характеристика и типы химических методов очистки.
5. Очистка веществ методом химических транспортных реакций.
6. Кристаллизационная очистка материалов.
7. Зарождение и рост кристаллов. Пересыщение, его физико-химический смысл. Критический зародыш. Определение параметров критического зародыша.
8. Равновесный и эффективный коэффициенты распределения примесей.
9. Очистка материалов методом направленной кристаллизации. Распределение примесей по длине слитка.
10. Глубокая очистка веществ методом зонной перекристаллизации (зонная плавка). Распределение примесей по длине слитка после одного и нескольких проходов зон.

7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

а) печатные издания:

1. Ежовский, Ю.К. Физико-химические основы технологии материалов электронной техники: учебное пособие / Ю.К.Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии материалов и изделий электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2007. – 124 с.
2. Ежовский, Ю.К. Чистые и особо чистые вещества: Учебн. пособие / Ю.К. Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2010. - 91 с.
3. Ежовский, Ю.К. Введение в технологию материалов электронной техники: Учебн. пособие / Ю.К. Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: ИК СИНТЕЗ, 2012. – 106 с.
4. Ежовский, Ю.К. Основы технологии монокристаллов и особо чистых веществ: Учебн. пособие / Ю.К. Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2017.- 91 с.
5. Таиров, Ю.М. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов: Учебник для вузов / Ю.М. Таиров, В.Ф. Цветков. - СПб.: Лань, 2002 – 423 с. - ISBN 5-8114-0438-7

б) электронные издания:

1. Ежовский, Ю.К. Физико-химические основы технологии материалов электронной техники: учебное пособие / Ю.К.Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии материалов и изделий электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2007. – 127 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
2. Ежовский, Ю.К. Введение в технологию материалов электронной техники: Учебное пособие / Ю.К. Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 106 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
3. Ежовский, Ю.К. Основы технологии монокристаллов и особо чистых веществ: Учебн. пособие / Ю.К. Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2017.- 91 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины

1. Учебный план, РПД и учебно-методические материалы - media.technolog.edu.ru
2. ЭБ "Библиотех" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
3. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет;
4. www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3160.html

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

1. СТО СПбГТИ(ТУ) 026-2016. Положение о бакалавриате./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2016.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 38 с.
2. СТП СПбГТИ 040-02. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.07.2002.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2002.- 7 с.
3. СТО СПбГТИ(ТУ) 018-2014. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2014.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 16 с.
4. СТП СПбГТИ 048-2009. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2010.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.- 6 с.
5. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.

В ходе лекционных занятий студенту необходимо готовить конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Провести проверку терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Аудиторная часть курса должна сопровождаться интенсивной самостоятельной работой студента с рекомендованными преподавателями литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет по всем разделам дисциплины. Планирование времени для изучения дисциплины необходимо осуществлять на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо в рамках внеаудиторной самостоятельной работы регулярно дополнять сведениями из литературных источников, приведенных в разделе 7 настоящей программы. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения следующих разделов учебной дисциплины. Для расширения и углубления знаний по учебной дисциплине необходимо активно использовать информационные ресурсы сети Интернет.

Для работы на практических занятиях необходимы: проработка рабочей программы, уделив особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины, и конспектирование источников, а также изучение конспекта лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам и просмотр рекомендуемой литературы.

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце 8 семестра в виде экзамена в устной форме. Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин. Результаты экзамена включаются в приложение к диплому.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

10.1. Информационные технологии

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций, видеоматериалов;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

10.2. Программное обеспечение

Представление лекционного материала и проведение практических занятий:

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

MS PowerPoint 97 и выше

10.3. Базы данных и информационные справочные системы.

1. ЭБ "Библиотех" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
2. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет; ЭБС «Лань»

11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Реализация программы учебной дисциплины не предполагает наличия специализированного учебного кабинета при условии соответствия учебных кабинетов санитарным нормам, а его оборудования – изложенным ниже требованиям:

1. Учебная аудитория на 25 мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.
5. Комплект презентаций и видеофильмов по дисциплине.

Практические занятия проводятся в учебном кабинете, отвечающем санитарным нормам, а его оборудование – следующим требованиям:

1. Учебная аудитория на 10 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.

Использование лицензионного ПО:

При представлении лекционного материала и проведении практических занятий:

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

MS PowerPoint 97 и выше

12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допущенные по медицинским показаниям к обучению по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология, изучают дисциплину в полном объеме. Учебный процесс осуществляется в соответствии с "Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ФГБОУ ВПО СПбГТИ(ТУ)", утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине
«Технология монокристаллов и особо чистых веществ»**

1. Перечень компетенций и этапов их формирования.

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
ПК-2	Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	промежуточный

2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-2.3 Подбор материалов необходимой чистоты или методов очистки материалов, используемых в процессах получения микроэлектронных изделий	Знает физико-химическую сущность, особенности и структуру процессов очистки веществ (ЗН-1)	Ответы на вопросы №№ 1-37 к экзамену	Имеет представление о физико-химической сущности и особенностях процессов очистки веществ	Знает физико-химическую сущность и особенности процессов очистки веществ	Знает физико-химическую сущность, и использует при решении задач особенности процессов очистки веществ
	Знает свойства чистых веществ и материалов и области их применения (ЗН-2)	Ответы на вопросы №№ 38-40 к экзамену	Имеет представление о свойства чистых веществ и материалов и области их применения	Знает свойства чистых веществ и материалов и области их применения	Знает и использует при решении задач свойства чистых веществ и материалов и области их применения
	Знает классификацию чистых и особо чистых веществ и условия работы с этими веществами (ЗН-3)	Ответы на вопросы №№ 41-49 к экзамену	Имеет представление о классификации чистых и особо чистых веществ и условия работы с этими веществами	Знает классификацию чистых и особо чистых веществ и условия работы с этими веществами	Знает и использует в работе классификацию чистых и особо чистых веществ и условия работы с этими веществами
	Умеет использовать на практике современные представления о влиянии микро- и наноструктуры на чистоту и свойства материалов (У-1)	Ответы на вопросы №№ 50-52 к экзамену	Имеет представление об использовании современных представлений о влиянии микро- и наноструктуры на чистоту и свойства материалов	Умеет использовать на практике современные представления о влиянии микро- и наноструктуры на чистоту и свойства материалов	Применяет на практике современные представления о влиянии микро- и наноструктуры на чистоту и свойства материалов

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Умеет использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса (У-2)	Ответы на вопросы №№ 53-55 к экзамену	Имеет представление об использовании технических средств измерения основных параметров технологического процесса	Умеет использовать технические средства измерения основных параметров технологического процесса	Умеет использовать и применяет на практике технические средства измерения основных параметров технологического процесса
	Владеет методиками работы с чистыми и особо чистыми веществами (Н-1)	Ответы на вопросы №№ 56-58 к экзамену	Имеет представление о методиках работы с чистыми и особо чистыми веществами	Владеет методиками работы с чистыми и особо чистыми веществами	Применяет на практике методики работы с чистыми и особо чистыми веществами
	Владеет методиками анализа и сертификационных испытаний чистых и особо чистых веществ (Н-2)	Ответы на вопросы №№ 59-62 к экзамену	Имеет представление о методиках анализа и сертификационных испытаний чистых и особо чистых веществ	Владеет методиками анализа и сертификационных испытаний чистых и особо чистых веществ	Применяет на практике методики анализа и сертификационных испытаний чистых и особо чистых веществ

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация проводится в форме **экзамена**. Критерии оценивания – «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично» приведены в таблице 2.

Оценка **«неудовлетворительно»** ставится, если ответ студента не передает содержание проблемы, не демонстрирует умение выделять главное, существенное, ответ носит краткий, неглубокий, поверхностный характер.

3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-2

1. Дистилляционные методы. Виды и физико-химическая сущность методов.
2. Методики расчета выхода продуктов по уравнениям реакций.
3. Учет константы устойчивости и произведения растворимости при синтезе комплексных соединений.
4. Виды выражения концентраций.
5. Коэффициент разделения. Теоретическая и экспериментальные оценки коэффициента разделения.
6. Равновесный и неравновесный процесс кристаллизации.
7. Перекристаллизация, определение условий перекристаллизации, фракционная (дробная) перекристаллизация.
8. Эффект высаливания. Фильтрование. Промывка осадка. Высушивание.
9. Перекристаллизация и фильтрование с использованием неводных растворителей.
10. Гидротермальный метод выращивания монокристаллов
11. Однократная и многократная перегонка.
12. Ректификация. Ректификация в тарельчатых и насадочных колоннах.
13. Ректификация под пониженным давлением.
14. Использование ректификационных методов в технологии очистки полупроводниковых материалов.
15. Метод химических транспортных реакций. Перенос вещества потоком газа-реагента и перенос вещества молекулярной диффузией.
16. Гидридный, хлоридный и карбонильные методы очистки.
17. Метод с использованием металлорганических соединений.
18. Кристаллизационная очистка. Физико-химические основы метода.
19. Зарождение и рост кристаллов. Пересыщение, его физико-химический смысл.
20. Критический зародыш. Определение параметров критического зародыша.
21. Термодинамика гомогенного образования зародышей твёрдой фазы. Энергия и скорость образования критического зародыша.
22. Механизмы роста кристаллов и формирование граней кристалла .
23. Методы выращивания монокристаллов.
24. Кристаллизация из расплава. Равновесный и эффективный коэффициенты распределения примесей.
25. Метод направленной кристаллизации. Распределение примесей по длине слитка при однократной и многократной направленной кристаллизации.
26. Диффузионные методы разделения.
27. Метод удаления примесей в форме частиц.
28. Методы направленной кристаллизации и вытягивания кристаллов из расплавов.
29. Адсорбция, абсорбция, хемосорбция. Основные закономерности и особенности. Адсорбция на границе раздела "жидкость – газ".
30. Адсорбция на поверхности твердых тел. Наиболее распространенные типы сорбентов.
31. Зонная перекристаллизация (плавка). Типы зонной плавки и их использование в технологии полупроводниковых материалов.
32. Распределение примеси по длине слитка после бесконечно большого числа проходов расплавленной зоны (конечное распределение).
33. Зонное замораживание (затвердевание).
34. Противоточная кристаллизация из расплава.
35. Безтигельные методы глубокой очистки веществ.
36. Кристаллизация из раствора. Способы осуществления процесса. Коэффициент разделения (сокристаллизации).
37. Фракционированная (дробная) кристаллизация. Противоточная кристаллизация из раствора.

38. Получение и основные свойства соединений $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$.
39. Выращивание монокристаллов тугоплавких соединений.
40. Особенности получения монокристаллов разлагающихся соединений.
41. Понятие чистые вещества. Подходы к оценке чистоты и типы примесей.
42. Классификация веществ высокой чистоты и их маркировка.
43. Физико-химические основы очистки веществ. Энтропия смешения и оценка термодинамических условий разделения смеси веществ.
44. Классификация методов глубокой очистки веществ.
45. Общая характеристика и оценка предельных возможностей метода.
46. Сравнительная характеристика химических и физико-химических методов очистки веществ.
47. Химические методы глубокой очистки веществ. Их классификация и характерные особенности.
48. Основные критерии очистки и предельные возможности химических методов.
49. Классификация и общая характеристика методов очистки монокристаллов
50. Пределы влияния примесей на свойства веществ.
51. Понятие об области примесной чувствительности свойств веществ.
52. Влияние загрязняющего действия материала аппаратуры на глубину очистки веществ кристаллизационными методами.
53. Оценка предельных возможностей методов.
54. Разделение в гравитационном, магнитном и температурном полях.
55. Практическое применение адсорбционных методов для глубокой очистки веществ.
56. Требования к помещениям и оборудованию для очистки веществ.
57. Зависимость процесса глубокой очистки веществ от выбора материала для изготовления химической аппаратуры и степени изоляции от воздушной среды.
58. Способы управления качеством растущего кристалла.
59. Методы анализа чистых веществ и критерии выбора.
60. Методы термогравиметрии.
61. Рентгенофазовый анализ.
62. Методы оптической спектроскопии и люминесценции: атомно-эмиссионный спектральный анализ; масс-спектрометрия; атомно-абсорбционная спектроскопия; атомно-флюоресцентный метод; люминесцентный метод анализа.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. экзамен включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала.

Время подготовки студента к устному экзамену на вопросы - до 30 мин.

4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

1. Положение о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в СПбГТИ(ТУ) (Утв. Приказом ректора СПбГТИ(ТУ) от 12.12.2014 № 463).

2. СТО СПбГТИ(ТУ) 026-2016. Положение о бакалавриате./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2016.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 38 с.

3. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.