

Правительство Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный университет
Наименование факультета

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Основы выращивания кристаллов из расплавов

Язык(и) обучения русский

Трудоёмкость 1 зачётных единиц

Регистрационный номер
рабочей программы:

<i>код года утверждения</i>	/	<i>код факультета или иного структурного подразделения</i>	/	<i>порядковый номер или шифр</i>
---------------------------------	---	--	---	--------------------------------------

Санкт-Петербург
2012

Раздел 1. Характеристики, структура и содержание учебных занятий

1.1. Цели и задачи учебных занятий

Дисциплина «Основы выращивания кристаллов из расплавов» изучается во третьем семестре и является курсом по выбору. Цель учебной дисциплины - обучение студентов способам синтеза искусственных кристаллов из расплава, термодинамическим особенностям кристаллизации из расплава, современным методам расчета и моделирования процессов кристаллизации, современным способам управления процессами кристаллизации и направлениям применения в промышленности синтетических кристаллических материалов получаемых из расплава.

Задачи дисциплины:

Изучение основ промышленного синтеза искусственных кристаллов из расплава; преподавание теоретических и термодинамических основ кристаллизации из расплава, свойств искусственных кристаллов и применения этих свойств в промышленности.

Обучение методологии сопоставления условий выращивания кристаллов с их

1.2. Требования к подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)

Для успешного освоения дисциплины студент должен иметь подготовку по базовым программам кристаллографии, кристаллохимии, кристаллогенезиса, физики, химии, физической химии .

1.3. Перечень формируемых компетенций (результаты обучения)

Достаточно полное знание способов выращивания кристаллов из расплава и представление о тенденциях их дальнейшего развития; углубленные знания о термодинамических особенностях расплавных, понимание влияния условий выращивания на уникальные свойства кристаллических материалов; . Способность использовать полученные знания в своей профессиональной деятельности.

1.4. Знания, умения, навыки, осваиваемые обучающимся

Знание уникальных свойств синтетических кристаллических материалов, а также направлений применения их в современной промышленности. Практические навыки выращивания кристаллов из расплава методом Чохральского.

1.5. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий

Лекции - 10 часов, семинары - 20 часов.

1.6. Организация учебных занятий

Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся

Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Аудиторная учебная работа обучающихся								Самостоятельная работа						Трудоёмкость	
	лекции	семинары	консультации	практические занятия	лабораторные работы	контрольные работы	коллоквиумы	текущий контроль	промежуточная аттестация	под руководством преподавателя	в присутствии преподавателя	в т.ч. с использованием методических	текущий контроль	промежуточная аттестация		Объём активных и интерактивных форм учебных занятий
<i>по формам обучения</i>																
	10	20							2	39		15		25	20	1
ИТОГО:	10	20							2	39		15		25	20	1

Виды, формы и сроки
текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Промежуточная аттестация		Текущий контроль	
	Виды	Сроки	Формы	Сроки
<i>очная форма обучения</i>				
Модули не предусмотрены	зачет	с 10 декабря	доклады на семинарах	систематическ в течение курса

1.7. Структура и содержание учебных занятий

Лекций -10 час., семинаров - 20 час.

Тема 1. Физико-химические основы выращивания кристаллов из расплава. Диаграммы состояния. Конгруэнтное и инконгруэнтное плавление. Коэффициенты распределения на основе диаграмм состояния. Особенности выращивания кристаллов соединений, обладающих областью гомогенности (твердые растворы). Методические основы синтеза шихты для выращивания кристаллов (соосаждение из растворов, высокотемпературный синтез в твердой фазе). Термодинамическая характеристика процессов кристаллизации из расплава, способы создания переохлаждения и теплоотвода.

Тема 2. Методы выращивания из расплава. «Консервативные» и «неконсервативные» методы. Методы Таммана, Обреимова и Шубникова, направленная кристаллизация по методу Бриджмена – Стокбаргера, Багдасарова. Методы вытягивания из расплава: Чохральского, Киропулоса, дифференциального вытягивания, метод гарниссажа, метод Степанова. Зонная плавка. Метод Вернейля.

Тема 3. Тепловые поля и гидродинамическое течение расплава. Температурное распределение в расплаве в зависимости от природы материала. Свободная и вынужденная конвекция и их взаимосвязь с условиями выращивания и природой кристаллизующего материала. Факторы, определяющие характер гидродинамического течения в расплаве (скорости вращения и вытягивания, аксиальный и радиальный температурные градиенты). Геометрические параметры основных узлов кристаллизационной системы.

Тема 4. Кристаллизация из расплава методом Чохральского. Способы нагрева и аппаратура для выращивания. Основные требования к ростовому узлу при омическом и высокочастотном нагреве. Управление градиентами в соответствии с симметрией кристалла. Выращивание кристаллов со структурой шеелита – переохлаждение расплава и его влияние на процесс роста кристаллов. Теория устойчивого роста кристаллов применительно к методу Чохральского.

Тема 5. Аппаратура для выращивания кристаллов методом Чохральского. Основные требования к системе. Методы контроля и стабилизации мощности. Эволюция способов автоматизации процесса выращивания. Алгоритмы расчета формы кристалла в установках с датчиком веса. Основные компоненты установки РУМО –1П.

Тема 6. Дефекты в кристаллах, выращиваемых из расплавов. Классификация дефектов. Термические напряжения, остаточные напряжения. Способы выявления дефектов. Слои роста. Эффект грани при росте кристаллов из расплава. Полосы скольжения, блоки и границы зерен. Отталкивание и захват посторонних частиц; типичные конфигурации газовых включений в кристаллах.

Тема 7. Основные приемы работы на установке для выращивания кристаллов методом Чохральского. Способы крепления затравок. Центровка затравки, системы выращивания методом Чохральского. Получение расплава. Определение точки фазового равновесия. Затравление.

Тема 8. Выращивание кристалла из расплава методом Чохральского. Расчет модельного кристалла. Анализ ошибок процесса автоматического управления реального роста кристалла. Отрыв кристалла. Расчет программы охлаждения.

Раздел 2. Обеспечение учебных занятий

2.1. Методическое обеспечение

2.1.1. Методическое обеспечение аудиторной работы:

Мультимедиа проектор

2.1.2. Методическое обеспечение самостоятельной работы

Не требуется.

2.1.3. Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания

Опросы на семинарах. Все правильные ответы - 5, отдельные ошибки - 4, 50 % правильных ответов - 3, менее 50% - 2.

2.1.4. Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы)

2.1.4.1. Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы по всем разделам программы:

- Методы выращивания кристаллов
- Виды диаграмм состояния
- Оценка коэффициентов распределения на основе диаграмм состояния.
- Конгруэнтное и инконгруэнтное плавление веществ.
- Термодинамическая характеристика процессов кристаллизации из расплава.
- Особенности выращивания кристаллов соединений, обладающих областью гомогенности
- Методы синтеза шихты для выращивания кристаллов.
- Способы создания переохлаждения и теплоотвода при выращивании кристаллов из расплава.
- «Консервативные» и «неконсервативные» методы кристаллов из расплава.
- Методы направленной кристаллизации из расплава.
- Методы вытягивания из расплава.
- Зонная плавка, особенности, распределение примеси.
- Способы синтеза корунда.
- Синтез гранатов методами горизонтально-направленной кристаллизации и методом Чохральского.
- Синтез фианитов методом гарнисажа.
- Температурное распределение в расплаве в зависимости от природы материала.
- Свободная конвекция ее зависимость от условий выращивания.
- Вынужденная конвекция ее зависимость от условий выращивания.
- Факторы, определяющие характер гидродинамического течения в расплаве.
- Выбор геометрических параметров основных узлов кристаллизационной системы.
- Способы нагрева ростовых узлов, особенности, преимущества и недостатки.

- Основные требования к ростовому узлу в зависимости от способов нагрева.
- Условия, влияющие на аксиальный и радиальный температурные градиенты.
- Управление градиентами в соответствии с симметрией кристалла.
- Основные положения теории устойчивого роста кристаллов применительно к методу Чохральского.
- Методы контроля и стабилизации мощности.
- Способы автоматизации процессов выращивания, их эволюция, современное состояние.
- Алгоритмы расчета модели кристалла в установках с верхним датчиком веса.
- Алгоритмы расчета ошибок в установках с верхним датчиком веса.
- Классификация дефектов в кристаллах.
- Термические напряжения и остаточные напряжения в кристаллах.
- Способы уменьшения остаточных напряжений в кристаллах.
- Эффект грани при росте кристаллов из расплава.
- Отталкивание и захват посторонних частиц.
- Причины и механизмы захвата газовых включений растущим кристаллом.
- Методы анализа процесса управления ростом кристалла (на примере метода Чохральского).
- Способы контроля температуры расплава.
- Способы управления процессом кристаллизации из расплава.
- Системы для выращивания кристаллов методом Чохральского.
- Расчет программы нагрева ростового узла кристалла.
- Расчет программы охлаждения кристалла.
- Кристаллофизические основы нелинейно-оптических кристаллов
- Сцинтилляционные материалы – особенности применения.
- Способы заполнения и наплавления тиглей.
- Отталкивание и захват посторонних частиц.

2.1.4.2. Примерный перечень вопросов к зачету по всем разделам учебной дисциплины

- Диаграммы состояния. Оценка коэффициентов распределения на основе диаграмм состояния
- Конгруэнтное и инконгруэнтное плавление веществ. Методы выращивания кристаллов.
- Термодинамическая характеристика процессов кристаллизации из расплава.
- Способы создания переохлаждения и теплоотвода при выращивании кристаллов из расплава.
- «Консервативные» методы кристаллов из расплава, особенности, распределение примеси.
- «Неконсервативные» методы кристаллов из расплава, особенности, распределение примеси.
- Синтез гранатов и корундов методами горизонтально-направленной кристаллизации и методом Чохральского.

- Температурное распределение в расплаве. Свободная конвекция ее зависимость от природы материала.
- Факторы, определяющие характер гидродинамического течения в расплаве. Вынужденная конвекция ее зависимость от условий выращивания.
- Способы нагрева ростовых узлов, особенности, преимущества и недостатки. Геометрические параметры основных узлов кристаллизационной системы.
- Условия, определяющие аксиальный и радиальный температурные градиенты.
- Методы контроля и стабилизации мощности. Способы автоматизации процессов выращивания, их эволюция, современное состояние.
- Алгоритмы расчета модели кристалла и ошибок в установках с верхним датчиком веса.
- Способы выявления дефектов в кристаллах. Классификация дефектов в кристаллах.
- Классификация дефектов в кристаллах. Одномерные и двумерные дефекты.
- Отталкивание и захват посторонних частиц. Причины и механизмы захвата газовых включений растущим кристаллом.
- Термические напряжения и остаточные напряжения в кристаллах. Способы уменьшения остаточных напряжений в кристаллах.
- Эффект грани при росте кристаллов из расплава его влияние на примесную структуру кристалла.
- Концентрационное переохлаждение его влияние на дефектность кристалла.
- Способы управления и контроля температурой расплава.
- Системы для выращивания кристаллов методом Чохральского.
- Расчет программ нагрева-охлаждения ростового узла.
- Способы крепления затравочных кристаллов при различных методах выращивания.
- Способы заполнения и наплавления тиглей.
- Методы анализа процесса управления ростом кристалла (на примере метода Чохральского).
- Кристаллофизические основы нелинейно-оптических кристаллов.
- Сцинтилляционные материалы – особенности применения.

2.2. Кадровое обеспечение

2.2.1. Требования к образованию и (или) квалификации штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к преподаванию дисциплины
Преподаватели с высшим специальным образованием (специальность - кристаллография)

2.2.2. Требования к обеспеченности учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом

Учебно-вспомогательный персонал должен обладать навыками организации работы с учебными и контрольными коллекциями

- 2.2.3. Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса
Не предусмотрены

2.3. Материально-техническое обеспечение

- 2.3.1. Требования к аудиториям (помещениям, местам) для проведения занятий

Стандартная аудитория

- 2.3.2. Требования к аудиторному оборудованию, в том числе к неспециализированному компьютерному оборудованию и программному обеспечению общего пользования
Мультимедиа проектор, персональный компьютер с ПО PowerPoint .

- 2.3.3. Требования к специализированному оборудованию

Оптический микроскоп "Полам Л-113" с системой видеорегистратора, установка для выращивания кристаллов методом Чохральского с комплектом оснастки

- 2.3.4. Требования к специализированному программному обеспечению

Системы расчетов тепловых полей кристаллизационного узла метода Чохральского «Crystal 2.5D» и «CGSim » (демо-версии).

- 2.3.5. Требования к перечню и объёму расходных материалов

0,2 пачки бумаги формата А4 для проведения опросов и зачета

2.4. Информационное обеспечение

- 2.4.1. Список обязательной литературы

1.Лодиз Р., Паркер Р., Рост монокристаллов. М., 1974, 540 с.

2.Татарченко В.П., Устойчивый рост кристаллов. М., 1987, 280 с.

3. Современная кристаллография. В 4-х томах. Том 3 под редакцией Х.С.Багдасарова . М.: Наука, 1981.

- 2.4.2. Список дополнительной литературы

1. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твёрдого тела. Т.1,2. М.: Мир, 1979.

2. Струков Б.А., Леванюк А.П. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах. М.: Наука, 1995.

3. Желудев И.С. Физика кристаллов и симметрия. М.: Наука, 1987.

4. Най Дж. Физические свойства кристаллов. М.: ИЛ. 1960.

5. Рост кристаллов, под ред. К. Гудмана. Т.1. М.: Мир, 1977. С. 363.

- 2.4.3. Перечень иных информационных источников

Не требуется

Раздел 3. Процедура разработки и утверждения рабочей программы

Разработчик(и) рабочей программы

Фамилия, имя, отчество	Учёная степень	Учёное звание	Должность	Контактная информация (служебный адрес электронной почты, служебный телефон)
Грунский Олег Сергеевич	канд.геол. мин.наук	нет	доцент	o.grunsky@gmail.com

В соответствии с порядком организации внутренней и внешней экспертизы образовательных программ проведена двухуровневая экспертиза:

первый уровень (оценка качества содержания рабочей программы и применяемых педагогических технологий)		
Наименование кафедры	Дата заседания	№ протокола
второй уровень (соответствие целям подготовки и учебному плану образовательной программы)		
Экспертиза второго уровня выполнена в порядке, установленном приказом		
<i>должностное лицо</i>	<i>дата приказа</i>	<i>№ приказа</i>
Уполномоченный орган (должностное лицо)	Дата принятия решения	№ документа

Иные документы об оценке качества рабочей программы

Документ об оценке качества	Дата документа	№ документа

Утверждение рабочей программы

Уполномоченный орган (должностное лицо)	Дата принятия решения	№ документа

Внесение изменений в рабочую программу

Уполномоченный орган (должностное лицо)	Дата принятия решения	№ документа