

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»
(ИОФ РАН)

УТВЕРЖДАЮ



Директор ИОФ РАН,
чл.-корр. РАН

С.В. Гарнов

» _____ 202__ г.

Рабочая программа дисциплины
**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАТЕРИАЛОВ И
ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

Специальность: 2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и
приборов электронной техники

г. Москва

2022 год

Рабочая программа дисциплины «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов, утвержденными приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

Программу составили: Жариков Е.В., д.т.н., главный научный сотрудник.
Ивлева Л.И., д.т.н., главный научный сотрудник

.

Программа обсуждена и одобрена на заседании аспирантской комиссией ИОФ РАН
30.06.2022, протокол №2206-30

Программа утверждена решением Ученого совета ИОФ РАН 05.07.2022 протокол №13

Аннотация

Учебная дисциплина «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» является важной составной частью Учебного плана программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИОФ РАН. Актуальность курса обусловлена возрастающей ролью электроники и фотоники в науке и технике. Ключевая роль в повышении эффективности и надежности работы приборов и устройств оптоэлектроники принадлежит повышению качества и улучшению характеристик применяемых материалов, чего невозможно достичь без поиска и разработки более совершенных материалов и без оптимизации технологии их получения. В рамках курса рассматриваются современные методы получения кристаллических, стеклообразных, керамических и композиционных материалов, применяемых в приборах и устройствах электроники и фотоники, а также методы исследования и основные свойства и характеристики указанных материалов, их преимущества и недостатки.

Дисциплина «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» является важным фактором формирования у аспиранта и соискателя целостного научного мировоззрения, развития физического мышления. Освоение дисциплины позволит выработать у будущих ученых практические подходы к решению современных проблем в области технологии и оборудования для производства материалов и приборов электронной техники и фотоники и в смежных областях естественных наук. Дисциплина «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» также направлена на подготовку аспирантов к сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.2.3 Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Общая трудоемкость учебной дисциплины «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» составляет 5 зачетных единиц (180 часов).

Контроль уровня освоения дисциплины аспирантами и соискателями проводится в форме текущей и итоговой аттестации. Текущий контроль предполагает оценку знаний и умений на лекционных занятиях с помощью устных опросов, оценки различных видов самостоятельной работы аспирантов. Промежуточная аттестация аспирантов проводится в форме зачетов (в 3, 4 и 5 семестрах). Итоговая аттестация проводится в рамках кандидатского экзамена по специальности «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» (6 семестр).

1. Цель изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины состоит в освоении обучающимися знаний в области технологии и оборудования для производства материалов и приборов электронной техники и фотоники, овладении методами и выработке практических навыков решения задач по технологии производства материалов и приборов электронной техники и фотоники, формировании творческих подходов и умений, необходимых для успешного осуществления научно-исследовательской деятельности в области технологии производства материалов и приборов электронной техники и фотоники.

2. Задачи дисциплины

1) освоение аспирантами базовых знаний в области технологии производства материалов и приборов электронной техники и фотоники, как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку специалистов в данной области и обеспечивающей научно-технические основы современных инновационных сфер деятельности;

2) обучение аспирантов основным принципам решения задач в области технологии производства материалов и приборов электронной техники и фотоники и освоение

основных теоретических методов, применимых к описанию явлений в соответствующих областях физики и химии и в смежных междисциплинарных областях;

3) формирование правильных теоретических подходов к выполнению научных исследований в области технологии производства материалов и приборов электронной техники и фотоники.

3. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» относится к элективным дисциплинам Образовательного компонента «Дисциплины (модули)» программы аспирантуры по специальности 2.2.3 Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Дисциплина «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники и фотоники» реализуется в соответствии с ФГТ, ОПОП ВО и Учебного плана аспирантуры ИОФ РАН по специальности 2.2.3 Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

4. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» направлено на формирование у аспирантов следующих когнитивных умений и навыков:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач в области технологии производства материалов и приборов электронной техники и фотоники, а также в смежных и междисциплинарных областях;
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области технологии производства материалов и приборов электронной техники и фотоники.

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- Место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях; естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности в областях, связанных с технологиями и оборудованием для производства материалов и приборов электроники и фотоники;
- Основные полупроводниковые материалы, а также магнитные материалы, материалы оптоэлектроники и вакуумной электроники, а также другие функциональные материалы, применяемые в приборах и устройствах электронной техники.
- Основные лазерные, нелинейно-оптические материалы и другие функциональные материалы, широко используемые в квантовой электронике, волоконной и нелинейной оптике, их свойства, и конкретные сферы применения, преимущества и недостатки по сравнению с другими аналогичными материалами;
- Наиболее распространенные методы получения, а также специфические разновидности методов, связанные с получением важнейших традиционных функциональных материалов электроники и фотоники, основные преимущества и недостатки того или иного способа получения того или иного материала;
- Современное состояние науки и перспективные разработки в области создания новых функциональных материалов электроники и фотоники с улучшенными характеристиками, а также разработки в области совершенствования традиционных материалов;

- Современные методы анализа, контроля, диагностики и исследования характеристик материалов, применяемых в приборах и устройствах электронной техники, квантовой электроники, волоконной и нелинейной оптики; возможности этих методов; физические и химические законы, лежащие в основе работы этих методов, а также соответствующих измерительных приборов, установок и стендов;

- Требования к образцам для их исследования различными методами, основные операции по подготовке образцов к исследованиям.

- Основные вредные и опасные для здоровья факторы, связанные с получением и характеристикой материалов, применяемых в приборах и устройствах электронной техники, квантовой электроники, волоконной и нелинейной оптики, важнейшие меры охраны труда и техники безопасности, которые необходимо предпринимать при исследовании таких материалов.

Уметь:

- квалифицированно поставить научный эксперимент, имеющий целью разработку новых либо совершенствование традиционных материалов и/или методов их получения;

- корректно и исчерпывающим образом интерпретировать результаты указанного эксперимента (серии экспериментов), при этом абстрагироваться от факторов, оказывающих несущественное влияние на поведение системы;

- подготовить научную публикацию (статью в научный журнал, доклад на научном мероприятии, раздел в кандидатской диссертации) по результатам указанного эксперимента (серии экспериментов).

- выбрать оптимальный метод характеристики, анализа и диагностики материалов, применяемых в приборах и устройствах электронной техники, квантовой электроники, волоконной и нелинейной оптики, исходя из вида материала, конкретной решаемой научно-технической задачи, а также реальных (в том числе, финансовых) возможностей лаборатории (научной группы) по доступу к тому или иному аналитическому, диагностическому или исследовательскому оборудованию;

- правильно поставить конкретную задачу по исследованию свойств конкретного образца или серии образцов (условия, режимы и диапазоны измерений, геометрические области образца, подлежащие анализу, количество анализируемых точек, используемые эталоны, виды и методы математической обработки полученных результатов и т.п.) перед оператором, имеющим допуск к работе на соответствующем сложном и дорогостоящем научном оборудовании, исходя из вида материала, конкретной решаемой научно-технической задачи и финансовых возможностей лаборатории (научной группы);

- квалифицированно интерпретировать результаты анализа, характеристики и диагностики материалов, применяемых в приборах и устройствах электронной техники, квантовой электроники, волоконной и нелинейной оптики различными методами.

Владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов эксперимента в области технологии производства материалов и приборов электроники и фотоники;

- современными научными представлениями в области материаловедения и технологии производства материалов и приборов электроники и фотоники и в смежных областях естествознания;

- творческим подходом в реализации научно-технических задач, основанном на систематическом обновлении полученных знаний, навыков и умений и использовании последних достижений в области технологии производства материалов и приборов электроники и фотоники.

- навыками поиска научно-технической информации (как в библиотечных, так и в электронных ресурсах) в области создания новых функциональных материалов электроники и фотоники с улучшенными характеристиками, а также в области совершенствования традиционных материалов, и в области разработки новых и совершенствовании традиционных методов получения таких материалов.

- основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в материаловедении, технологии материалов, характеризации, анализе и диагностике материалов квантовой электроники, волоконной и нелинейной оптики.

- основными навыками математической (в том числе, компьютерной) обработки результатов эксперимента, анализа и диагностики материалов электронной техники, квантовой электроники, волоконной и нелинейной оптики различными методами.

5. Объем и вид учебной работы

Общая трудоёмкость дисциплины «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» составляет 5 зач. ед. (180 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице 1.

Таблица 1

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Вид учебной работы	Трудоёмкость					
	зач. ед.	час.	в т.ч. по семестрам			
			3	4	5	6
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	5	180	54	54	36	36
Аудиторная работа:		114	36	36	18	24
лекции (Л)		114	36	36	18	24
семинары (С)		-	-	-	-	-
Самостоятельная работа:		66	18	18	18	12
самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала, освоение материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарам и т.д.)		48	16	16	16	-
Подготовка к зачёту		6	2	2	2	-
Подготовка к экзамену		12	-	-	-	12
Вид контроля (З – зачет, Э – кандидатский экзамен)			3	3	3	Э

6. Содержание дисциплины

Таблица 2

Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего	Аудиторная работа		Внеаудиторная работа СР
		Л	С	
Раздел 1. Важнейшие материалы фотоники				
Тема 1.1. Основные понятия квантовой электроники	14	10		4
Тема 1.2. Современные лазерные материалы и методы их получения	14	10		4
Тема 1.3. Основы физики активных диэлектриков	12	8		4
Тема 1.4. Важнейшие активные диэлектрики	14	8		6

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего	Аудиторная работа		Внеаудиторная работа СР
		Л	С	
Всего за 3 семестр	54	36		18
Тема 1.5. Люминофоры и сцинтилляторы	12	9		4
Тема 1.6. Важнейшие функциональные материалы	16	9		4
Раздел 2. Современные материалы оптоэлектроники и электронной техники				
Тема 2.1. Алмаз, кремний и карбид кремния: структура, свойства, технологии получения, области применения	14	9		6
Тема 2.2. Полупроводники типа $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$: свойства, технологические особенности получения и области применения	12	9		4
Всего за 4 семестр	54	36		18
Раздел 3. Основные методы получения материалов электронной техники и фотоники				
Тема 3.1 . Физико-химические основы процессов получения материалов и изделий электронной техники.	3	0		3
Тема 3.2 . Методы выращивания монокристаллических материалов	12	6		6
Тема 3.3. Основные методы получения тонкопленочных материалов для оптоэлектроники, включая гетероструктуры	6	0		6
Тема 3.4. Технологии стекловидных и стеклокристаллических материалов	6	6		0
Тема 3.5. Способы получения волоконных материалов	3	2		1
Тема 3.6. Методы получения оптической керамики	6	4		2
Всего за 5 семестр	36	18		18
Раздел 4. Современные методы характеристики материалов				
Тема 4.1. Основные методы исследований оптических и спектрально-люминесцентных характеристик материалов для фотоники	14	10		4
Тема 4.2. Методы исследований электрофизических, термических и механических характеристик материалов для оптоэлектроники	8	4		4
Тема 4.3. Современные методы исследований состава, структуры и основных дефектов материалов электронной техники и фотоники	14	10		4
Всего за 6 семестр	36	24		12
Итого по дисциплине	180	72	0	108

Раздел 1. Важнейшие материалы фотоники

Тема 1.1. Основные понятия квантовой электроники

Поглощение и усиление света. Коэффициенты Эйнштейна. Спонтанное и вынужденное излучение. Оптический резонатор. Контур и ширина линий излучения (поглощения). Однородное и неоднородное уширение линий. Монохроматичность излучения. Когерентность излучения. Направленность излучения. Селекция типов колебаний в лазерах. Поперечные и продольные типы колебаний. Условия получения генерации. Источники излучения. Физические основы работы лазеров. Твердотельные лазеры. Ионы- активаторы. Способы управления оптическим излучением. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на органических красителях.

Оптические волноводы. Волоконные, планарные и канальные волноводы. Потери в волноводах. Волоконные лазеры. Преобразование частоты оптического излучения в волноводных структурах Основные компоненты систем оптической связи со спектральным уплотнением. Оптические усилители. Интегрально-оптические элементы. Фотонные кристаллы.

Тема 1.2. Современные лазерные материалы и методы их получения

Иттрий-алюминиевый гранат: структура, важнейшие физические свойства. Диаграмма плавкости и факторы, благоприятствующие кристаллизации гранатовой фазы. Методы выращивания, характерные ростовые дефекты и методы борьбы с ними. Термодиффузионное получение композитных активных элементов. Лазерная керамика на основе иттрий-алюминиевого граната. Прочие оксидные кристаллические матрицы для редкоземельных ионов (молибдаты и вольфраматы, алюминат иттрия, ванадаты, сесквиоксиды и лазерная керамика на их основе). Лазерные кристаллы, легированные переходными 3d-ионами. Проблемы управления зарядовым состоянием ионов-активаторов.

Лазерные кристаллы фторидов: общие отличительные особенности физико-химических и спектрально-люминесцентных свойств, преимущества и недостатки по сравнению с оксидными кристаллами. Проблемы технологии получения высокопрозрачных монокристаллов и методы глубокой очистки ростовой зоны от воды и кислорода. Фторидные оптические кристаллы. Фторидная лазерная керамика и наностеклокерамика.

Разупорядоченные кристаллические матрицы для редкоземельных ионов. Лазерные стекла и волокна.

Тема 1.3. Основы физики активных диэлектриков

Гетерогенные равновесия. Условия стабильности и равновесия фаз. Типы диаграмм фазовых равновесий двух- и многокомпонентных систем. Диаграммы как источник информации необходимой для выбора и оптимизации метода синтеза материалов с заданным составом и свойствами, определение условий их стабильного существования.

Поляризация диэлектриков и ее физическая сущность. неполярные и полярные диэлектрики. Проводимость диэлектриков и ее физическая природа. Диэлектрические потери и их природа. Фазовые переходы первого и второго рода. сегнетоэлектрические фазовые переходы.

Принципы нелинейной оптики. Нелинейно-оптические эффекты. Электрооптические эффекты, фотоупругий эффект, магнитооптический эффект. Акустооптические эффекты. Фоторефракция. Диэлектрические среды для генерации

когерентного излучения. Твердые диэлектрические среды для преобразования частоты и модуляции когерентного излучения.

Тема 1.4. Важнейшие активные диэлектрики

Важнейшие нелинейно-оптические, пьезо- и сегнетоэлектрические, а также фоторефрактивные кристаллы.

Ниобат лития: Структура и фазовые превращения, физико-химические характеристики, фазовая диаграмма и особенности технологии выращивания кристаллов. Конгруэнтные и стехиометрические кристаллы LiNbO_3 . Технологические дефекты и возможности их устранения. Доменное строение, кристаллы с регулярной доменной структурой и их применение, монодоменизация кристаллов. Специфика LiTaO_3 . Монокристаллы калий-титанил-фосфата. Краткий обзор других нелинейно-оптических кристаллов (BBO , LBO , KDP).

Пьезо- и сегнетоэлектрики. Особенности структуры и сегнетоэлектрический фазовый переход. Кварц. Структура, полиморфные модификации, физико-химические свойства кварца. Выращивание крупных монокристаллов гидротермальным методом. Области применения кристаллов.

Кристаллы семейства лангасита как альтернатива синтетическому кварцу. Структура, свойства и выращивание кристаллов. Краткий обзор других пьезо- и сегнетоэлектрических кристаллов. Монокристаллы ниобата бария-натрия и ниобата бария-стронция как электрооптические и фоторефрактивные материалы: физико-химические свойства, структура полиморфных модификаций.

Тема 1.5. Люминофоры и сцинтилляторы

Самоактивированные и примесно-активированные люминофоры. Активаторные примеси для люминофоров и сцинтилляторов, требования, предъявляемые к ним. Требования, предъявляемые к люминофорным и сцинтилляторным матрицам. Монокристаллы вольфрамата свинца. Типичные дефекты. Щелочно-галогенидные сцинтилляторные кристаллы, структура и свойства, выращивание крупных кристаллов, области применения. Монокристаллы фторида церия. Физико-химические и эксплуатационные свойства. Методы получения кристаллов. Влияние атмосферы на качество кристаллов. Краткий обзор современных порошкообразных люминофоров. Основные методы их синтеза.

Тема 1.6. Важнейшие функциональные материалы

Корунд как важнейший функциональный и подложечный монокристалл. Основные физико-химические свойства, структура. Выращивание кристаллов методами Киропулоса, Багдасарова и Чохральского. Получение кристаллов различных форм методом Степанова. Дефекты в кристаллах, методы их контроля и способы устранения.

Фианит, его основные свойства и сферы применения. Структурные модификации и способы их стабилизации, Частично стабилизированный диоксид циркония (ЧСЦ). Выращивание кристаллов методом холодного контейнера. Краткий обзор других функциональных и подложечных материалов.

Основы физической химии высокодисперсных систем. Наноматериалы. Нанотехнология. Современные технологические методы формирования наноструктур. Процессы самоорганизации и самоформирования в технологии наноструктур. Современные технологические методы формирования наноструктурированных материалов. Золь-гель технология. Принципы создания нанокомпозиционных материалов.

Раздел 2.

Современные материалы оптоэлектроники и электронной техники

Тема 2.1. Алмаз, кремний и карбид кремния: структура, свойства, технологии получения, области применения

Материалы оптоэлектроники. Излучение света в полупроводниках. Полупроводники с прямой и непрямой запрещенной зоной. Материалы полупроводниковых светодиодов, лазеров и фотоприемников.

Алмаз: физическая классификация и свойства кристаллов, важнейшие точечные дефекты. Фазовая диаграмма. Важнейшие способы получения поликристаллов, пленок и крупных кристаллов оптического качества.

Монокристаллический кремний, структура, свойства, сферы применения. Получение структур «кремний на изоляторе» (КНИ). Основные способы глубокой очистки шихты и способы выращивания крупных монокристаллов. Способы борьбы с конвективными потоками в расплаве. Способы борьбы с дислокациями в кристалле. Послеростовая обработка и контроль качества.

Поликристаллический кремний и солнечные батареи на его основе. Способы повышение эффективности солнечных батарей.

Основные физико-химические и электрофизические свойства карбида кремния. Важнейшие полиморфы SiC, фазовая диаграмма. Важнейшие методы получения объемных монокристаллов, метод Лели и сэндвич-сублимации. Получение эпитаксиальных пленок SiC. Характерные дефекты кристаллов SiC.

Тема 2.2. Полупроводники типа $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^V$: свойства, технологические особенности получения и области применения

Полупроводники типа $A^{III}B^V$, общая характеристика. Основные структурные модификации. Зависимость свойств, методов получения и сфер применения от состава. Физико-химические свойства GaAs. Фазовая диаграмма арсенида галлия. Важнейшие способы выращивания монокристаллов GaAs, их преимущества и недостатки. Характерные дефекты в кристаллах GaAs и способы борьбы с ними. Зонная структура и основные электрофизические характеристики GaAs. Полупроводящий и полупрозрачный GaAs. Твердые растворы $Al_xGa_{1-x}As$ и $In_xGa_{1-x}As$, а также гетероструктуры на их основе.

Нитрид галлия и эпитаксиальные гетероструктуры на его основе, их получение и применение. Нитрид галлия и эпитаксиальные гетероструктуры на его основе, их получение и применение. Получение объемных монокристаллов GaN. Антимонид индия, основные физико-химические и электрофизические характеристики, выращивание монокристаллов и важнейшие сферы применения. Полупроводники типа $A^{II}B^{VI}$, общая характеристика и основные отличия от полупроводников типа $A^{III}B^V$. Важнейшие представители этого класса полупроводников (ZnS, ZnSe, KPT), их свойства, основные способы их получения в виде объемных монокристаллов, эпитаксиальных пленок, и прозрачной керамики, сферы применения в оптоэлектронике.

Области применения кристаллов: лазеры, оптические модуляторы, акустоэлектронные приборы, ИК-фотоприемники.

Раздел 3. Основные методы получения материалов электронной техники и фотоники

Тема 3.1 . Физико-химические основы процессов получения материалов и изделий электронной техники.

Кристаллизация, физико-химические основы технологий. Термодинамика кристаллизации. Атомарно-структурные модели и механизмы роста. Процессы в газах и вакууме, распыление материалов и осаждение пленок. Методы эпитаксии. Газофазная эпитаксия. МОС-гидридный метод. Жидкостная эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

Элементы зонной теории. Механизмы собственной и примесной проводимости. Свойства p-n перехода. Кинетические явления в полупроводниках. Электро- и теплопроводность полупроводников. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Термоэлектрические явления и эффект Холла в полупроводниках. Магнетосопротивление. Диффузия носителей и примесей. Термо-ЭДС. Эффект Пельтье.

Исходные вещества, используемые для производства монокристаллов и пленок. Особо чистые элементы и материалы, их роль в современной технике. Понятие о чистоте вещества, методы определения и оценка чистоты. Физико-химические основы глубокой очистки веществ. Понятие о коэффициенте разделения и распределения. Методы очистки. Зонная очистка. Сублимация. Ректификация.

Тема 3.2 .Методы выращивания монокристаллических материалов

Методы Чохральского, Бриджмена (горизонтальная и вертикальная конфигурации), зонной плавки (горизонтальная и вертикальная конфигурации), а также модификации этих методов (TSSG-метод, методы Степанова, Киропулоса, градиентного охлаждения, теплообменника, холодного тигля, плавающей зоны и т.п.). Тепло- и массоперенос при выращивании кристаллов различными методами из расплава и раствор-расплава. Распределение примесей в кристалле, равновесный и эффективный коэффициенты распределения. Виды конвекции в расплаве и способы управления ими. Проблемы устойчивости фронта кристаллизации. Концентрационное переохлаждение и ячеистый рост. Гидро- и аммонотермальный методы. Способы выращивания кристаллов из растворов.

Тема 3.3. Основные методы получения тонкопленочных материалов для оптоэлектроники, включая гетероструктуры

Методы нанесения тонких пленок в вакууме: вакуум-термический, термоионный, электронно-лучевой, ионно-плазменный (с использованием разрядов на постоянном токе (ПТ), а также ВЧ и СВЧ разрядов), с помощью автономных ионных источников. Магнетронные распылительные системы.

Жидкофазная и молекулярно-лучевая эпитаксия, лазерное распыление, физическое и химическое осаждение из паровой фазы. Преимущества и недостатки, а также основные сферы применения этих методов. Применение металлоорганических соединений как источников компонентов полупроводниковых пленок и техника безопасности при работе с металлоорганическими соединениями. Требования к подложкам и подготовка поверхностей. Особенности получения многослойных полупроводниковых гетероструктур. Фотолитография.

Тема 3.4. Технологии стекловидных и стеклокристаллических материалов

Стекловидное состояние вещества. Особенности спектрально-люминесцентных, электрофизических, механических и тепловых свойств стекловидных материалов по сравнению с кристаллическими. Методы получения оптических стекол. Основные виды объемных дефектов в оптических стеклах и методы борьбы с ними. Характеристические температуры стекол и «опасный» диапазон температур. Особенности кристаллизации стекла. Гомогенная и гетерогенная нуклеация, фотонуклеация, добавки-нуклеаторы.

Поверхностная и объемная кристаллизация стекла. Кинетика кристаллизации. Диффузионный барьер. Прозрачная нано- и стеклокерамика и способы их получения. Факторы, влияющие на величину рэлеевского рассеяния света в стеклокристаллических материалах.

Тема 3.5. Способы получения волоконных материалов

Методы получения активных и пассивных оптических волокон, сравнительные характеристики, преимущества и недостатки. Борьба с гидроксил-ионами в оптоволоконках. Способы введения примесей в волокна и пути предотвращения их кластеризации. Особенности получения многосердцевидных и фотонных оптоволокон. Способы создания брэгговских решеток в оптоволоконках. Методы получения монокристаллических волокон: микровытягивание вниз, экструзия, минипьедестал. Способы придания монокристаллическим волокнам волноводных свойств.

Тема 3.6. Методы получения оптической керамики

Оптическая керамика. Основные требования к нанодисперсным порошкам для ее получения. Важнейшие способы получения нанодисперсных порошков и их гранулометрические характеристики. Виды и технологические режимы компактирования порошков, используемые при этом добавки и их роль. Горячее формование как способ получения оптической керамики из монокристаллов. Факторы, влияющие на величину рэлеевского рассеяния света в оптической керамике.

Раздел 4. Современные методы характеризации материалов

Тема 4.1. Основные методы исследований оптических и спектрально-люминесцентных характеристик материалов для фотоники

Основные методы измерения коэффициента преломления материала, его дисперсии и температурной зависимости. Особенности измерения коэффициента преломления в двулучепреломляющих кристаллах. Метод оптической коноскопии как способ ориентации кристаллов. Способы измерения основных оптических параметров волоконных световодов. Измерение нелинейно-оптических, электро- и магнитооптических и фоторефрактивных свойств кристаллов. Оптическая абсорбционная и люминесцентная спектроскопия. Люминесцентно-кинетический анализ. Особенности измерения спектров поглощения из возбужденного состояния и стимулированной люминесценции. ЭПР-, ИК- и рамановская спектроскопия.

Тема 4.2. Методы исследований электрофизических, термических и механических характеристик материалов для оптоэлектроники

Подготовка образцов для измерений электрофизических свойств. Измерение электрической проводимости, диэлектрической проницаемости, подвижности и концентраций основных и неосновных носителей заряда, ширины запрещенной зоны, глубины электронных и дырочных ловушек. Особенности измерений ионной проводимости. Методы исследований пьезо- пиро- и сегнетоэлектрических, а также магнитных характеристик.

Дифференциально-термический и термогравиметрический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия, дилатометрия. Основные методы измерений плотности, теплопроводности, теплоемкости материалов оптоэлектроники.

Измерение твердости, трещиностойкости, предела прочности, модуля Юнга, соотношения Пуассона, трибологических и других механических характеристик.

Тема 4.3. Современные методы исследований состава, структуры и основных дефектов материалов электронной техники и фотоники

Сканирующая (растровая) электронная микроскопия и рентгеноспектральный (энергодисперсионный) микроанализ, особенности исследований диэлектрических материалов этими методами. Атомно-силовая и туннельная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия и особенности подготовки образцов для нее. Рентгенофлуоресцентный и нейтронно-активационный анализ. Атомно-эмиссионная- и масс-спектрометрия в индукционно-связанной плазме, искровая масс-спектрометрия. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ, обсчет их результатов методом Ритвельда и полноматричным методом. Современные рентгеновские методы анализа локальной структуры вещества (EXAFS, XANES). Ориентация монокристаллов относительно основных кристаллографических осей рентгенодифракционными методами. Кривые качания. Оценка гранулометрических характеристик наноструктурированных материалов рентгенодифракционными методами. Определение пористости дисперсных материалов методом измерения адсорбционных свойств образца.

Дополнительный перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины «Физическая электроника» формируется научным руководителем аспиранта и утверждается аспирантской комиссией.

Перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины «Физическая электроника» при подготовке к кандидатскому экзамену по специальности соответствует программе кандидатского экзамена по специальности «Физическая электроника», утвержденной Ученым советом ИОФ РАН (протокол №__ от «__»_____ 20__ г.).

7. Примерная тематика:

7.1. Курсовых работ

Не предусмотрено учебным планом

7.2. Научно-исследовательских работ и проектов

Не предусмотрено учебным планом

7.3. Рефератов

Не предусмотрено учебным планом

8. Ресурсное обеспечение.

8.1. Кадровый потенциал

Аспирантура ИОФ РАН располагает кадровыми ресурсами, гарантирующими качество подготовки аспиранта по специальности 2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники в соответствии с ФГТ.

8.2. Материально-техническое оснащение.

Для проведения занятий по дисциплине «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники», предусмотренной учебным планом подготовки аспирантов, имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам, обеспечивающая проведение всех видов теоретической и практической подготовки:

– аудитории для лекционных и семинарских занятий, оснащенные презентационным оборудованием (ноутбук, проектор, экран) и маркерными досками;

- оборудование для проведения лекционных и семинарских занятий в дистанционном формате (в случае необходимости);
- лицензионное программное обеспечение для демонстрации презентаций в формате PowerPoint, OpenOffice или Portable Document Format.
- учебная литература и методические материалы для проведения самостоятельной работы по дисциплине.

8.3. Образовательные технологии

При реализации различных видов учебной работы (лекции, семинары, самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- лекционная система обучения;
- информационно-коммуникационные технологии;
- исследовательские методы в обучении.

Программа дисциплины «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной самостоятельной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков у обучающихся. Эффективность применения интерактивных форм обучения обеспечивается реализацией следующих условий:

- создание диалогического пространства в организации учебного процесса;
- использование принципов социально-психологического обучения в учебной и научной деятельности;
- применение интерактивных форм обучения, направленных на развитие внутренней активности аспиранта, стимулирование мотивации и интереса в области углубленного изучения технологии производства материалов и приборов электронной техники в общеобразовательном и профессиональном плане; повышение уровня активности и самостоятельности научно-исследовательской работы; развитие навыков анализа, критичности мышления, научной коммуникации.

Образовательные технологии предполагают проведение занятий в форме лекций с объяснением теоретического материала, семинаров с разбором лекционного материала и решением задач и самостоятельную работу. Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе.

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

9.1. Электронные базы данных, к которым обеспечен доступ.

- Интернет-ресурсы научно-технической библиотеки ИОФ РАН
<https://www.gpi.ru/about/library/education/>
- Научная электронная библиотека elibrary.ru;
- Электронные базы Web of Science и SCOPUS;
- Журналы Physical Review, Journal of Apply Physics, Journal of Crystal Growth, Optical Materials, Journal of the American Optical Society B, Optics Letters, Applied Optics, Optics Express, Applied Physics Letters, Laser Physics, Laser Physics Letters, Chemical Physics Letters, Journal of Non-crystalline Solids, etc., «УФН», «Письма в ЖЭТФ», «ЖЭТФ», «КСФ», «Кристаллография», «Неорганические материалы», «Журнал неорганической химии», «Оптика и спектроскопия», «Журнал прикладной спектроскопии», «Квантовая электроника», и др.;
- Научные и научно-технические журналы издательств American Physical Society, American Institute of Physics, Institute of Physics, Nature, Springer Verlag, база данных Web of Science.

9.2. Литература

Основная

1. О. Звелто. Принципы лазеров. Санкт-Петербург, “Лань”, 2008.
2. А.А. Блистанов. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. Изд.МИСИС,М.,2007,432с.
3. Малышев В.А. Основы квантовой электроники и лазерной техники. Учебное пособие для вузов. - М. –Высш. шк., 2005.
4. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. Пер. с англ. М.: Мир, 2005.
5. Кардона М., Основы физики полупроводников, М., Физматлит, 2002.
6. Мартинес-Дуарт Дж. М., Мартин-Палма Р. Дж., Агулло-Рueda Ф. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. Изд. 2-е, доп. – Москва : Техносфера, 2009. – 368 с.
7. Г. Готтштайн. Физико-химические основы материаловедения. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2011 400с.
8. В.Н. Портнов, Е.В. Чупрунов. Возникновение и рост кристаллов. М.: Физматлит, 2006, 328 с.
9. Х.С. Багдасаров. Высокотемпературная кристаллизация из расплава, Физматлит, М.2004г.,160с.
10. В.В. Белозеров, С.И. Босый, С.И. Буйло, Ю.В. Прус Современные методы диагностики материалов и изделий из них. – Ростов н/Д : ЮФУ, 2007. – 224 с.
11. Ю.С. Кузьминов, Е.Е.Ломонова, В.В.Осико. Тугоплавкие материалы из холодного тигля. М., Наука, 2004. 370с.

Дополнительная:

1. Ю.Д. Третьяков, Х. Лепис. Химия и технология твердофазных материалов. – М.: Изд-во МГУ, 1985.
2. Дудкин В.И., Пахомов Л.Н. Квантовая электроника. Приборы и их применение. Учебное пособие. М.: Техносфера, 2006.
3. П.В. Ковтуненко Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами. – М.: Высшая школа, 1993.
4. Кардона М. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2002.
5. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. М. Высш. шк., 2001.
6. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. М.; Высш.шк.,1990, 423 с.
7. А.Н. Игнатов, Н.Е. Фадеева, В.Л. Савиных, и др. Классическая электроника и наноэлектроника. – М., Флинта: Наука, 2009, 728 с.
8. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы. СПб. Лань, 2006. - 480 с.
9. В.В. Осико. Лазерные кристаллы. Наука,м,2002, 496с.
10. А.К. Пржеvusкий, Н.В. Никоноров. Конденсированные лазерные среды. Учебное пособие. Санкт-Петербург. 2009
11. Миронов В.Л.. Основы сканирующей зондовой микроскопии. 2004. Мир
12. Ю.Н.Пырков. Спектроскопия волоконных световодов. Учебное пособие / М: МФТИ 2010 г., 56 с.

10. Аттестация по дисциплине. Форма промежуточной аттестации по итогам обучения в 3, 4 и 5 семестрах – зачет, процедура аттестации в 3 и 4 семестрах включает решение контрольных задач и ответ на вопросы, в 5 семестре – ответ на вопросы.

Итоговая аттестация по дисциплине включает сдачу кандидатского экзамена экзаменационной комиссии, утвержденной локальным нормативным актом ИОФ РАН.

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

11.1 Оценочные средства текущего контроля успеваемости и сформированности компетенций

Для текущего контроля успеваемости применяется комплекс методик и диагностического инструментария: устный опрос, учет посещаемости занятий и активности аспирантов в ходе занятий.

11.2 Примерный перечень вопросов к зачету по дисциплине

1. Ниобат лития: Структура и фазовые превращения, физико-химические характеристики. Доменное строение, кристаллы с регулярной доменной структурой и их применение, монодоменизация кристаллов.
2. Фазовая диаграмма ниобата лития и особенности технологии выращивания кристаллов. Конгруэнтные и стехиометрические кристаллы LiNbO_3 . Технологические дефекты и возможности их устранения.
3. Монокристаллы калий-титанил-фосфата. Состав, структура и основные физико-химические свойства. Области применения и проблема «серых треков».
4. Фазовая диаграмма и выращивание кристаллов КТР из раствора в расплаве.
5. Кварц. Структура, полиморфные модификации, физико-химические свойства кварца. Области применения кристаллов.
6. Выращивание крупных монокристаллов кварца гидротермальным методом, работа в "перевернутом" и рабочем режимах. Технологические параметры, оказывающие наибольшее влияние на скорость роста и качество монокристаллов.
7. Лангасит: Структура, свойства и выращивание кристаллов, области применения.
8. Монокристаллы ниобата бария-натрия и ниобата бария-стронция как электрооптические и фоторефрактивные материалы: физико-химические свойства, структура полиморфных модификаций.
9. Диаграммы плавкости SBN, монокристаллы конгруэнтного и стехиометрического составов, их преимущества, недостатки и особенности выращивания, области применения.
10. Ферриты со структурой шпинели, граната, перовскита и гексаплумбита. Би- и полиферриты. Основные методы получения кристаллов ферритов. Основные области применения ферритов.
11. Физико- химические характеристики и методы получения монокристаллов железо-иттриевого граната. Дефекты в кристаллах. Получение монокристаллических эпитаксиальных пленок железо-иттриевого граната.
12. Магнитооптические изоляторы на фарадеевском эффекте. Монокристаллы ТГГ и ТСАГ, физико-химические свойства и особенности выращивания.
13. Корунд как важнейший функциональный и подложечный монокристалл. Основные физико-химические свойства, структура.
14. Выращивание кристаллов Al_2O_3 методами Чохральского и Багдасарова, их достоинства и недостатки применительно к технологии корунда. Проблема тигельного материала. Дефекты в кристаллах, методы их контроля и способы устранения.
15. Получение очень крупных кристаллов корунда методом ГОИ. Получение кристаллов различных форм методом Степанова. Дефекты в кристаллах, методы их контроля и способы устранения.
16. Фианит, его основные свойства и сферы применения. Структурные модификации и способы их стабилизации, ЧСЦ. Выращивание кристаллов методом холодного контейнера.
17. Кристаллическая структура алмаза, кремния и карбида кремния. Политипы SiC.

18. Физическая классификация и свойства алмаза, важнейшие точечные дефекты.
19. Фазовая диаграмма алмаза и важнейшие способы получения поликристаллов, пленок и крупных кристаллов оптического качества.
20. Сравнительные характеристики физико-химических и электрофизических свойств, а также сфер применения кремния и важнейших политипов SiC.
21. Основные способы глубокой очистки шихты и способы выращивания крупных монокристаллов кремния. Способы борьбы с конвективными потоками в расплаве и дислокациями в кристалле.
22. Характерные дефекты в кристаллах кремния, их диагностика и влияние на свойства. Послеростовая обработка кристаллов кремния.
23. Поликристаллический кремний и солнечные батареи на его основе. Способы повышения эффективности солнечных батарей.
24. Фазовая диаграмма C-Si. Важнейшие методы получения объемных монокристаллов и эпитаксиальных пленок SiC различных политипов. Характерные дефекты кристаллов SiC.
25. Полупроводники типа $A^{III}B^V$, общая характеристика. Основные структурные модификации. Зависимость свойств, методов получения и сфер применения от состава.
26. Нитрид галлия и эпитаксиальные гетероструктуры на его основе, их получение и применение. Получение объемных монокристаллов GaN.
27. Антимонид индия, основные физико-химические и электрофизические характеристики, выращивание монокристаллов и важнейшие сферы применения.
28. Полупроводники типа $A^{II}B^{VI}$, общая характеристика и основные отличия от полупроводников типа $A^{III}B^V$. Сферы их применения в оптоэлектронике.
29. Важнейшие представители полупроводников класса $A^{II}B^{VI}$, их свойства, основные способы их получения в виде объемных монокристаллов, эпитаксиальных пленок, и прозрачной керамики.
30. Физико-химические свойства GaAs. Фазовая диаграмма арсенида галлия и основные проблемы при выращивании этих кристаллов из расплава.
31. Важнейшие способы выращивания объемных монокристаллов GaAs, их преимущества и недостатки. Характерные дефекты в кристаллах GaAs и способы борьбы с ними.
32. Зонная структура и основные электрофизические характеристики GaAs. Полупроводящий и полуизолирующий GaAs.
33. Твердые растворы $Al_xGa_{1-x}As$ и $In_xGa_{1-x}As$, а также гетероструктуры на их основе. Способы получения и сферы применения.
34. Иттрий-алюминиевый гранат: структура, важнейшие физические свойства. Диаграмма плавкости, методы выращивания, характерные ростовые дефекты и методы борьбы с ними.
35. Термодиффузионное получение композитных активных элементов на основе иттрий-алюминиевого граната. Лазерная керамика на основе иттрий-алюминиевого граната.
36. Лазерные кристаллы ванадатов: структура, важнейшие свойства в сравнении со свойствами ИАГ. Методы выращивания, характерные ростовые дефекты и методы борьбы с ними.
37. Лазерные кристаллы сесквиоксидов: структура, важнейшие свойства в сравнении со свойствами ИАГ. Методы выращивания, характерные ростовые дефекты и методы борьбы с ними.
38. Разупорядоченные кристаллические матрицы для редкоземельных ионов. Важнейшие классы, их сравнительные характеристики. Методы выращивания, характерные ростовые дефекты и методы борьбы с ними.
39. Важнейшие лазерные стекла и волокна. Сравнительные характеристики, методы получения, сферы применения.

40. Кристаллы $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$: структура, физико-химические и спектрально-генерационные характеристики, особенности выращивания монокристаллов. Проблемы управления зарядовым состоянием ионов титана.
41. Кристаллы $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$, $\text{Cr}^{4+}:\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ и $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$: структура, физико-химические и спектрально-генерационные характеристики, особенности выращивания монокристаллов. Проблемы управления зарядовым состоянием ионов хрома и кобальта.
42. Кристаллы $\text{Cr}^{4+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ и $\text{V}^{3+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$: структура, физико-химические и спектрально-генерационные характеристики, особенности выращивания монокристаллов. Проблемы управления зарядовым состоянием ионов хрома и ванадия.
43. Лазерные кристаллы фторидов: общие отличительные особенности физико-химических и спектрально-люминесцентных свойств, преимущества и недостатки по сравнению с оксидными кристаллами.
44. Проблемы технологии получения высокопрозрачных монокристаллов и методы глубокой очистки ростовой зоны от воды и кислорода.
45. Фторидные оптические кристаллы со структурами поваренной соли, флюорита, шеелита и кордиерита.
46. Фторидная лазерная керамика и нано-стеклокерамика: преимущества и недостатки по сравнению с монокристаллами, важнейшие методы получения.
47. Самоактивированные и примесно-активированные люминофоры. Активаторные примеси для люминофоров и сцинтилляторов, требования, предъявляемые к ним. Требования, предъявляемые к люминофорным и сцинтилляторным матрицам.
48. Монокристаллы вольфрамата свинца. Физико- химические и эксплуатационные свойства. Получение монокристаллов. Типичные дефекты. Техника безопасности.
49. Щелочно-галогенидные сцинтилляторные кристаллы, структура и свойства, выращивание крупных кристаллов, области применения.
50. Монокристаллы фторида церия. Физико-химические и эксплуатационные свойства. Методы получения кристаллов. Влияние атмосферы на качество кристаллов. Тигельные материалы. Типичные дефекты. Техника безопасности. Области применения.
51. Современные порошкообразные люминофоры. Основные классы, их преимущества и недостатки, области применения. Основные методы их синтеза и влияние гранулометрических характеристик на эксплуатационные свойства.
52. Основные методы измерения показателя преломления материала, его дисперсии и температурной зависимости. Особенности измерений данных параметров в двулучепреломляющих кристаллах.
53. Ориентация монокристаллов средней и низшей сингоний относительно оптических осей методами оптической коноскопии в скрещенных николях.
54. Особенности измерений основных оптических характеристик волоконных световодов.
55. Основные методы измерения нелинейно-оптических, электро- и магнитооптических, а также фоторефрактивных свойств кристаллов.
56. Измерение и математическая обработка спектров оптического поглощения и люминесценции. Особенности измерения спектров поглощения из возбужденного состояния и стимулированной люминесценции.
57. Люминесцентно-кинетический анализ: методы проведения, математическая обработка и интерпретация результатов.
58. ЭПР-спектроскопия кристаллов и стекол. Физические принципы, сферы применения. Расшифровка ЭПР-спектров.
59. ИК- и рамановская спектроскопия: Физические принципы, сферы применения. Интерпретация результатов. Особенности измерения спектров вынужденного комбинационного рассеяния света.
60. Измерение электрической проводимости и диэлектрической проницаемости образцов в зависимости от температуры. Расчет подвижности и концентраций основных

и неосновных носителей заряда, ширины запрещенной зоны, глубины электронных и дырочных ловушек по результатам этих измерений. Особенности измерений ионной проводимости.

61. Методы исследований пьезо-, пиро- и сегнетоэлектрических, а также магнитных характеристик.

62. Дифференциально-термический и дифференциальная сканирующая калориметрия, термогравиметрический анализ, методы определения коэффициента термического расширения кристаллов.

63. Основные методы измерений плотности, теплопроводности, теплоемкости и вязкости материалов оптоэлектроники.

64. Методы измерения твердости, трещиностойкости, предела прочности, модуля Юнга, соотношения Пуассона, трибологических и других механических характеристик. Особенности измерений этих характеристик в монокристаллах средней и низшей сингоний.

65. Сканирующая (растровая) электронная микроскопия и рентгеноспектральный (энергодисперсионный) микроанализ, особенности исследований диэлектрических материалов этими методами.

66. Атомно-силовая и туннельная микроскопия. Физические принципы и сферы применения.

67. Просвечивающая электронная микроскопия и особенности подготовки образцов для нее.

68. Рентгенофлуоресцентный и нейтронно-активационный анализ. Атомно-эмиссионная- и масс-спектрометрия в индукционно-связанной плазме, искровая масс-спектрометрия. Преимущества и недостатки этих методов, сферы применимости, погрешности измерений, пороги чувствительности.

69. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ как методы исследований структурных особенностей и дефектообразования в кристаллах. Обсчет результатов съемки методом Ритвельда и полноматричным методом.

70. Ориентация монокристаллов относительно основных кристаллографических осей рентгенодифракционными методами. Кривые качания.

71. Оценка гранулометрических характеристик наноструктурированных материалов рентгенодифракционными методами. Уравнение Шерера и границы его применимости.

72. Определение пористости дисперсных материалов методом измерения адсорбционных свойств образца. Построение и анализ изотерм адсорбции.

73. Общая классификация материалов оптоэлектроники по химическому составу, консистенции и свойствам.

74. Основные характеристики сырья для получения материалов оптоэлектроники

75. Вспомогательные реагенты для синтеза материалов оптоэлектроники, их роль.

76. Виды нагрева и способы измерения температуры. Преимущества, недостатки, сферы применения.

77. Основные материалы реакционных камер, тиглей, контейнеров, ампул, нагревателей, футеровки, тепловых экранов, смотровых окон, их Преимущества, недостатки, сферы применения.

78. Типы защитных атмосфер, методы их создания и контроля.

79. Метод Чохральского, преимущества, недостатки, характерные дефекты в кристаллах, выращенных этим методом

80. Модификации метода Чохральского (TSSG-метод, методы Степанова, Киропулоса), специфики этих методов преимущества, недостатки, сферы применения

81. Методы группы Бриджмена преимущества, недостатки, характерные дефекты в кристаллах, выращенных этим методом.

82. Модификации метода Бриджмена (метод градиентного охлаждения, теплообменника, холодного тигля) специфики этих методов преимущества, недостатки, сферы применения.
83. Методы группы зонной плавки преимущества, недостатки, характерные дефекты в кристаллах, выращенных этим методом. Уравнение Пфанна.
84. Тепло- и массоперенос при выращивании кристаллов различными методами из расплава и раствор-расплава.
85. Распределение примесей в кристалле, равновесный и наблюдаемый коэффициенты распределения.
86. Виды конвекции в расплаве и способы управления ими. Проблемы устойчивости фронта кристаллизации.
87. Концентрационное переохлаждение и ячеистый рост. Способы борьбы с этими явлениями.
88. Гидро- и аммонотермальный методы. Преимущества и недостатки, а также основные сферы применения этих методов.
89. Важнейшие способы выращивания кристаллов из растворов.
90. Жидкофазная эпитаксия как способ получения тонких монокристаллических пленок, Преимущества и недостатки, основные сферы применения
91. Молекулярно-лучевая эпитаксия, как способ получения тонких монокристаллических пленок, Преимущества и недостатки, основные сферы применения
92. Физическое и химическое осаждение из паровой фазы. Преимущества и недостатки, основные сферы применения.
93. Применение металлоорганических соединений как источников компонентов полупроводниковых пленок и техника безопасности при работе с металлоорганическими соединениями.
94. Требования к подложкам и подготовка поверхностей.
95. Особенности получения многослойных полупроводниковых гетероструктур. Фотолиитография.
96. Стекло как особое агрегатное состояние вещества. Почему оно всегда энергетически метастабильно? Характеристические температуры стекол и «опасный» диапазон температур.
97. Особенности электрофизических, спектрально-люминесцентных, механических и тепловых свойств стекловидных материалов по сравнению с кристаллическими.
98. Методы получения оптических стекол. Основные виды объемных дефектов в оптических стеклах и методы борьбы с ними.
99. Особенности кристаллизации стекла. Поверхностная и объемная кристаллизация стекла. Кинетика кристаллизации, теория КЈМА. Диффузионный барьер.
100. Нуклеация стекла, ее виды и способы управления этим процессом. Энергия активации нуклеации и критический размер зародыша. Добавки-нуклеаторы и их роль.
101. Факторы, влияющие на величину рэлеевского рассеяния света в стеклокристаллических материалах.
102. Методы получения активных и пассивных оптических волокон, сравнительные характеристики, преимущества и недостатки этих методов.
103. Чем опасны гидроксил-ионы в оптоволоках. Способы уменьшения концентрации ОН-ионов в оптоволоках при различных методах получения преформ.
104. Способы введения примесей в волокна при различных методах получения преформ и пути предотвращения их кластеризации.
105. Особенности получения многосердцевидных и фотонных оптоволокон. Способы создания брэгговских решеток в оптоволоках.
106. Основные методы получения монокристаллических волокон, их преимущества, недостатки и области применения. Способы придания монокристаллическим волокнам волноводных свойств.

107. . Основные требования к нанодисперсным порошкам для получения оптической керамики. Чем они обусловлены?
108. Важнейшие способы получения нанодисперсных порошков их преимущества, недостатки и области применения.
109. Характерные гранулометрические характеристики нанопорошков, получаемых различными способами. Мягкие и жесткие агломераты, борьба с ними.
110. Виды и технологические режимы компактирования порошков. Используемые при этом добавки и их роль.
111. Горячее формование как способ получения оптической керамики из монокристаллов.
112. Факторы, влияющие на величину рэлеевского рассеяния света в оптической керамике.

12. Методические рекомендации аспирантам по освоению дисциплины

Аспиранты должны быть заранее ознакомлены с графиком учебного процесса, содержанием дисциплины и методикой проведения занятий. Посещаемость учебных занятий является обязательной для обучающихся, как и ведение конспектов, записей. Отработка пропущенных занятий предполагает самостоятельную работу аспиранта с учебной литературой и осуществляется в форме собеседования по теме пропущенного занятия.

13. Методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине

13.1 Порядок проведения лекции

Вводная часть включает формулировку темы лекции с краткой аннотацией предлагаемых для изучения вопросов, характеристику места и значения данной темы в курсе.

Основная часть лекции имеет своей целью раскрытие содержания основных вопросов и определяется логической структурой плана лекции.

В *заключительной части* лектор проводит обобщение наиболее важных и существенных вопросов, делает выводы, отвечает на вопросы слушателей, формулирует задачи для самостоятельной работы аспирантов и рекомендует соответствующую литературу.

13.2 Порядок проведения семинара

Во вводной части решаются организационные задачи семинарского занятия: проверка готовности аудитории и подготовленности аспирантов к занятию, формулировка темы, цели и задач занятия.

Основная часть занятия предполагает организацию дискуссии: постановку проблемы, выделение основных направлений. Выступление докладчиков, раскрывающих основные положения по вопросу. Выступления оппонентов, раскрывающих свое видение проблемы, дискуссия по докладу.

В заключительной части подводятся итоги занятия, дается оценка результатов работы аспирантов.

13.3 Организация самостоятельной работы аспирантов

Основными формами самостоятельной работы и контроля аспирантов являются:

Выполнение индивидуальных заданий (как репродуктивного, так и творческого характера), позволяющих диагностировать уровень сформированности у аспирантов знаний, умений и навыков по дисциплине.

Собеседование – форма учебной деятельности, специальная беседа преподавателя с аспирантом, рассчитанная на выяснение объема знаний аспиранта по определенному

разделу, теме, проблеме и т.п., позволяющая оценить их умение аргументировать собственную точку зрения, предполагающее всестороннее обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставлении информации, идей, мнений, предложений.

14. Описание критериев оценивания знаний обучаемых, шкал их оценивания

14.1. Критерии оценивания знаний обучаемых на зачете по дисциплине:

Оценка «Зачтено»: Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий и контрольных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Оценка «Не зачтено»: Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании аспирантуры к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

14.2. Критерии оценивания знаний обучаемых на кандидатском экзамене по специальности:

Оценка ставится по каждому из вопросов кандидатского экзамена по специальности, оценка за экзамен определяется как среднее арифметическое из оценок по трем вопросам экзамена с соответствующим округлением до целочисленной по правилам арифметических операций. При наличии оценки «неудовлетворительно» по одному из вопросов ставится общая оценка «неудовлетворительно».

Оценка «Отлично»: В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Продемонстрировано превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Представлены полные ответы на дополнительные вопросы по теме.

Оценка «Хорошо»: Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Продемонстрировано хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Представлены частичные ответы на дополнительные вопросы по теме.

Оценка «Удовлетворительно»: Тема раскрыта частично. Ответ структурирован недостаточно. Понятийный аппарат освоен частично. Продемонстрировано понимание отдельных положений из материала по теме. Продемонстрированы удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Представлены фрагментарные ответы на дополнительные вопросы по теме.

Оценка «Неудовлетворительно»: Тема не раскрыта. Ответ не структурирован. Понятийный аппарат освоен в недостаточном объеме. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Продемонстрировано неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Не представлены ответы на дополнительные вопросы по теме.

Программу разработали:

Жариков Е.В., д.т.н., профессор

(подпись)

Ивлева Л.И., д.т.н., профессор

(подпись)