

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кемеровский государственный университет»



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по
научно-инновационной работе


Е.А. Жидкова

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Группа научных специальностей
1.3 - Физические науки

Научная специальность
1.3.8 - Физика конденсированного состояния

Кемерово, 2025

Программа составлена на основании паспорта научной специальности
1.3.8. - Физика конденсированного состояния

Разработчики: Гордиенко А. Б.

1. Общие положения

Программа кандидатского экзамена по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния предназначена для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук в качестве руководящего учебно-методического документа для целенаправленной подготовки к сдаче кандидатского экзамена.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация. Сдача кандидатского экзамена по специальности обязательна для присуждения ученой степени кандидата наук.

Кандидатский экзамен сдаётся в соответствии с научной специальностью и отраслью науки, предусмотренными номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утверждаемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (далее соответственно - научная специальность, номенклатура), по которым осуществляется подготовка (подготовлена) диссертации.

Для проведения экзамена приказом ректора (курирующего проректора) создается экзаменационная комиссия, которая формируется из высококвалифицированных научно-педагогических и научных кадров, осуществляющих научную деятельность в соответствии с паспортом научной специальности. Комиссия правомочна принимать кандидатский экзамен, если в её заседании участвуют не менее 3 специалистов, имеющих ученую степень кандидата или доктора наук по научной специальности, соответствующей специальной дисциплине, в том числе 1 доктор наук.

Кандидатский экзамен проводится по билетам. Решение экзаменационных комиссий оформляется протоколом, в котором указываются шифр и наименование научной специальности и отрасли науки, по которым сдан кандидатский экзамен; оценка уровня знаний; фамилия, имя, отчество (последнее - при наличии), ученая степень каждого члена экзаменационной комиссии. Уровень знаний соискателя ученой степени оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Протоколы заседаний экзаменационных комиссий после утверждения ректором (курирующим проректором) хранятся по месту сдачи кандидатского экзамена. Сдача кандидатского экзамена подтверждается выдаваемой на основании решения экзаменационной комиссией справки установленной КемГУ формы.

2. Содержание программы

2.1. Дефекты кристаллической структуры и методы их исследования.

1. Классификация дефектов кристаллической структуры. Дефекты кристаллов полупроводников и диэлектриков. Упругие поля дефектов кристаллической структуры. Закономерности генерации и распространения дислокаций. Закономерности взаимодействия точечных и протяженных дефектов. Влияние дефектов на параметры полупроводниковых приборов. Методы выявления дефектов кристаллической структуры: оптические, рентгеновские, электронно-микроскопические.

2. Двухволновая динамическая теория. Закономерности электронных микрофотографий: дислокаций, дефектов упаковки, преципитатов. Генерация дефектов в результате технологических воздействий микроэлектронного производства.

3. Методы исследования состава, структуры и свойств полупроводниковых материалов. Световая, электронная и рентгеновская микроскопия для исследования макро, микро - и субструктуры материалов.

3. Методы рентгенографии и электрографии для исследования атомно-кристаллической структуры моно- и поликристаллов, приповерхностных слоев, пленок, текстурированных образцов, строения аморфных пленок, фазового состава.

4. Спектральные методы исследования элементарного состава и электронной структуры атомов с использованием различных электромагнитных излучений. Рентгеновский флуоресцентный анализ, рентгеноспектральный микроанализ, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (ЭСХА), электронная Оже-спектроскопия. Вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС). Резонансные методы анализа: ядерный магнитный резонанс, электронный парамагнитный резонанс, раман-спектроскопия. Методы активационного анализа.

5. Методы исследования электрофизических и других свойств полупроводниковых материалов - ширины запрещенной зоны, подвижности и времени жизни носителей заряда, показателя преломления, механических свойств. Методы исследования наноструктурированных материалов. Зондовая микроскопия, атомно-силовая микроскопия, оптическая микроскопия ближнего поля.

2.2. Физические основы квантовой и оптической электроники.

1. Генерация света в конденсированных веществах. Лазеры. Ширина спектральной линии; когерентность излучения; усиление и эффекты насыщения в лазерах, оптические резонаторы. Типы лазеров: жидкостные, твердотельные, полупроводниковые. Лазерные материалы.

Квантоворазмерные лазеры. Лазеры на наноразмерных гетероструктурах и квантовых точках.

2. Волоконные световоды. Распространение энергии по волоконным оптическим волноводам, принципы работы оптических волноводов, оптические волокна и их характеристики, волновое уравнение и передаточные параметры, затухание.

3. Планарный волновод. Уравнения Максвелла для планарного диэлектрического волновода. Граничные условия. Моды планарного волновода. Ортогональность мод. Модификации дисперсионного уравнения для различных типов волноводов. Метод Венцеля-Крамерса-Бриллюэна. Оптические волноводы в изотропных и одноосных кристаллах. Тензоры диэлектрической проницаемости и непроницаемости анизотропных волноводов. Дисперсионные уравнения трехслойных анизотропных волноводов. Канальные волноводы.

4. Пассивные интегрально-оптические элементы. Волноводные линзы. Типы линз. Методы расчета и изготовления. Волноводные поляризаторы. Типы поляризаторов. Материалы и методы изготовления. Направленные ответвители и разветвители каналов. Принципы. Методы изготовления.

5. Электрооптический эффект. Эффекты Керра и Поккельса. Связь электрооптического тензора с симметрией кристаллов. Электрооптические модуляторы.

6. Акустооптический эффект. Фотоупругость. Дифракция Брэгга и Рамана-Натта. Акустооптическое взаимодействие в волноводах. Волноводный акустооптический дефлектор, интегрально-оптический анализатор спектра радиосигналов. Технология изготовления.

7. Фотонные кристаллы. Описание физики поведения световых волн в наноструктурированных оптических материалах. Физические явления, лежащие в основе оптоэлектронных свойств низкоразмерных гетероструктур в видимом и ближнем ИК диапазонах.

8. Нелинейная оптика. Микроскопическая природа нелинейности. Нелинейности второго и третьего порядка. Тензор нелинейности второго порядка. Фазовый синхронизм. Квазифазовый синхронизм. Эффективность нелинейно-оптического преобразования. Генерация второй гармоники. Сложение и вычитание частот, самомодуляция, самосжатие и самофокусировка. Нелинейно-оптические материалы.

8. Фоторефрактивный эффект. Взаимодействие волн в фоторефрактивных волноводах. Стимулированное фоторефрактивное рассеяние света в волноводах. Интегрально-оптические элементы на основе фоторефрактивных волноводов. Двухлучевое взаимодействие. Оптическая память. Запись волноводных голограмм. Фоторефрактивные материалы.

9. Усиление света в волоконных, планарных и канальных волноводах. Волноводные лазеры. Объемное и локальное легирование диэлектриков и полупроводников редкоземельными и переходными элементами.

10. Методы и устройства модуляции оптического излучения, фотоприемники и фотоприемные модули, принципы действия и основные

характеристики; коммутационные оптроны, оптоэлектронные реле, разъемы, переключатели; оптические устройства информатики, оптические запоминающие устройства и процессоры. Материалы и методы изготовления.

11. Фотонные кристаллы. Формирование фотонной запрещенной зоны. Распространение света в фотонных кристаллах. Лазеры на основе квантоворазмерных структур. Волоконные и планарные световоды на основе фотонных кристаллов.

2.3. Физические процессы в структурах на основе диэлектриков и полупроводников.

1. Энергетические диаграммы контактов металл-полупроводник n- и p-типа. Барьер Шоттки. Понижение высоты потенциального барьера под действием электрического поля и сил изображения. Надбарьерные механизмы токопрохождения, диодная теория, диффузионная теория и объединенная диодно-диффузионная теория. Полевая и термополевая эмиссии. Емкость барьера Шоттки. Физические основы работы и характеристики полевого транзистора с барьером Шоттки.

2. Энергетические диаграммы структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Электрофизические процессы в идеальной МДП-структуре. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры. Квантование энергетического спектра носителей заряда в приповерхностных слоях полупроводников. Неидеальные МДП-структуры. Поверхностные электронные состояния на границе раздела диэлектрик-полупроводник. Фиксированный заряд в диэлектрике. Ионные дрейфово-диффузионные процессы в диэлектрических слоях МДП-структур. Методы исследования свойств МДП-структур методы квазиравновесных высокочастотных и низкочастотных вольт-фарадных характеристик, неравновесных высокочастотных вольт-фарадных характеристик, динамических вольт-амперных характеристик и термостимулированных токов деполяризации. Физические основы работы МДП-транзисторов. Выходная вольт-амперная характеристика МДП-транзистора. Короткоканальные эффекты.

3. Неупорядоченные полупроводники (a -Si и a -Si:H), полупроводниковые стекла, жидкие полупроводники. Основные классы неупорядоченных полупроводниковых материалов; аморфное, стеклообразное и жидкое состояние. Структурные особенности и термическая стабильность. Типы плавления полупроводников по характеру изменений межатомного взаимодействия. Получение п/п материалов при высоких скоростях охлаждения. Эффекты, наблюдаемые при глубоких переохлаждениях:

4. Структурные особенности и дефектные состояния в a -Si:H и сплавах на его основе. Роль водорода. Энергетический спектр носителей заряда в аморфных полупроводниках. Плотность электронных состояний, хвосты зон, уровни дефектов. Оптические и электрофизические свойства a -Si:H, эффект и сплавов на его основе. Метастабильность электрофизических свойств a -Si:H,

эффект Стэблера-Вронского. Тонкопленочные полевые транзисторы на основе a-Si:H и области их применения. Сенсоры на основе a-Si:H и области их применения. Основные характеристики солнечных батарей на основе a-Si:H. Основные свойства, особенности строения стеклообразных и жидких полупроводников. Области применения. Основные типы приборов переключатели и элементы памяти. Оптические системы отображения информации на основе стеклообразных полупроводников. Полупроводниковые стекла: оксидные и халькогенидные. Технология получения полупроводниковых стекол и пленок на их основе. Электрофизические и оптические свойства.

2.4. Физика низкоразмерных структур.

1. Квантовые ямы, проволоки и точки. Физические эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанообъектов. Ферми-газ и плотность состояний. Потенциальные ямы. Свойства, зависящие от плотности состояний. Одноэлектронное туннелирование.

2. Электрофизические размерные эффекты. Классический размерный эффект по дебаевской длине. Квантовые размерные эффекты в тонких пленках. Размерное квантование в области пространственного заряда.

3. Металлические нанокластеры. Теоретическое моделирование наночастиц. Электронная структура. Полупроводниковые наночастицы. Оптические свойства. Экситоны. Фотофрагментация.

4. Углеродные наноматериалы. Фуллерены и углеродные нанотрубки. Методы получения. Физические и химические свойства. Области применения.

5. Особенности адсорбционных процессов в микро - и наноструктурах. Размерные эффекты и фазовые переходы.

6. Нанопористые материалы, получение свойства, применение. Пористые полупроводники и диэлектрики. Оптические свойства периодических пористых наноструктур. Фотонные кристаллы.

7. Методы молекулярного наслаивания в современной микро - и нанотехнологии. Физические и химические основы методов. Свойства многослойных наноструктур.

8. Зондовые методы получения и диагностики наноматериалов. Сканирующая зондовая микроскопия. Принципы действия. Особенности сканирующей туннельной, атомно-силовой, магнитно-силовой зондовой микроскопии.

3. Рекомендуемая литература

3.1. Основная литература

1. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов, методы исследования и контроля. - М.: Техносфера, 2004.

2. Основы аналитической электронной микроскопии. Под ред. Грена Д.Х. - М.: Металлургия, 1990.
3. Боуэн Д.К., Тоннер Б.К. Высокора разрешающая рентгеновская дифрактометрия и топография. - С.-Петербург: Наука, 2002.
4. Коркишко Ю.Н., Борисов А.Г., Никитина Н.Г., Суханова Л.С., Петрова В.З. Методы исследования состава и структуры материалов электронной техники. Учебное пособие. Часть 1: Методы исследования состава материалов электронной техники /Под ред. Коркишко Ю.Н. – М.:МИЭТ (ТУ), 1997.
5. Матына Л.И., Федоров В.А., Коркишко Ю.Н. Методы исследования состава и структуры материалов электронной техники. Учебное пособие. Часть 2: Методы исследования структуры материалов электронной техники /Под ред. Коркишко Ю.Н. – М.:МИЭТ (ТУ), 1997.
6. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. - М.: Техносфера, 2004.
7. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. - М.: Техносфера, 2004.
8. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов. - М.: Мир, 1984.
9. Содха М.С., Гхатак А.К. Неоднородные оптические волноводы. - М.: Связь, 1980.
10. Чео П.К. Волоконная оптика. Приборы и системы. - М.: Энергоатомиздат, 1988,
11. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. № 1.- М.: Мир, 1984.
12. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. №2 - М.: Мир, 1984.
13. Новоселова А.В., Глазов В.М., Смирнова Н.А., и др., Термодинамика и материаловедение полупроводников. - М.: Металлургия, 1992.
14. Будагян Б.Г., Штерн Ю.И., Шерченков А.А.. Материалы электронной техники. Учебное пособие. - М.:МИЭТ (ТУ). 1997.
15. Будагян Б.Г. Шерченков А.А., Мейтин М.Н. Полупроводниковые преобразователи энергии. Учебное пособие. - М.: МИЭТ (ТУ). 2000.
16. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. - М.: Техносфера, 2004.
17. Асеев А.Л. (отв. ред.) Нанотехнологии в полупроводниковой электронике. – М.: Издательство: СО РАН, 2004 .
18. Киселев В.Ф., Козлов С.Н., Зотеев А.В. Основы физики поверхности твердого тела. – М.: Изд-во МГУ, 1999.
19. Неволин В.К. Основы туннельно-зондовой нанотехнологии.- М.: 1996.
20. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века/ Харрис П.; Пер.с англ. под ред. и с доп. Чернозатонского Л.А..- М.: Техносфера, 2003.

3.2. Дополнительная литература

1. Журавлев Ю.Н. Химическая связь в полупроводниковых и диэлектрических кристаллах. Кемерово. 2009. – 208 с.
2. Теория физических и физико-химических свойств сложных кристаллических соединений с различным типом химической связи" под общ. ред. Поплавного А.С. // Кемерово. - 2012. – 368

3. Басалаев, Ю. М., Кособуцкий, А. В. и др. Практическое руководство по применению пакетов Quantum ESPRESSO и XCrySDen к расчету электронного строения кристаллов: эл. учеб-метод. пособие / Ю. М. Басалаев, А. В. Кособуцкий, И. А. Федоров.- Кемерово : Изд-во КемГУ , 2011 .- 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
4. Быстропротекающие процессы в энергетических материалах. / Э.Д. Алукер, Б.П. Адуев, Г.М. Белокуров, А.Г. Кречетов, В.Н. Швайко / [Электронный ресурс]: электрон. учебное пособие для студентов физ. и хим. специальностей вузов. / Э.Д. Алукер, Б.П. Адуев, Г.М. Белокуров и др., – Электрон. издан. и прогр. – Кемерово, Изд-во КемГУ, 2008. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). Зарегистрирован в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 18.02.2009 г., № гос. регистрации 0320802219.
5. Гуревич А.Г. Физика твердого тела.- СПб. : Невский Диалект : БХВ-Петербург, 2004 .- 318 с.
6. Павлов П.В. Физика твердого тела.- М. : Высшая школа , 2000 .- 494 с.
7. Журавлев Ю.Н. Химическая связь в полупроводниковых и диэлектрических кристаллах. Изд. КемГУ, 2009 – 208 с.
8. Журавлев Ю.Н., Поплавной А.С. Электронное строение оксианионных кристаллов. Изд. Томского государственного педагогического университета. Томск, 2008, 11.4. п.л.
9. Басалаев Ю.М., Поплавной А.С. Электронное строение тройных алмазоподобных соединений со структурой халькопирита. ООО «ИНТ», Кемерово, 2009 —225 с.
10. Поплавной А.С. Многомерная кристаллография и ее применение в физике кристаллах. Изд. КемГУ. 2010, – 244 с.
11. Гордиенко А.Б., Поплавной А.С. Электронная структура кристаллов с учетом спиновой поляризации. Изд. КемГУ, 2010 – 78 с.
12. Басалаев Ю.М., Додонов В.Г., Поплавной А.С. Методы исследования структуры твердых тел. // Изд. Томского государственного педагогического университета. – 2008. – 136с.
13. Давыдов А.С. Квантовая механика. // 3-е изд., стереотипное. – СПб: БХВ – Петербург. – 2011. – 704с.
14. Рит М. Наноструктурирование в науке и технике. Введение в мир нанорасчета. // М.: Ижевск: НИУ Регулярная и хаотическая динамика. – 2005. – 160с.
15. Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. // М.: КомКнига. – 2006. – 592с.
16. Гордиенко А.Б., Поплавной А.С. Электронная структура кристаллов с учетом спиновой поляризации. // Кемерово. ООО ИНТ. – 2010. – 76с.
17. Басалаев Ю.М., Поплавной А.С. Факторы Дебая-Уоллера в кристаллах. // Кемерово. «Кузбассвуиздат». – 2008. – 127с.
18. Поплавной А.С. Механизмы суперионного переноса в кристаллах. // Кемерово. ООО ИНТ. – 2009. – 181с.

19. Прудников В.В., Вавилов А.Н., Прудников П.В. Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования. // М: Физматлит. – 2009. – 223с.
20. Уваров Н.Ф. Композиционные твердые электроны. // Новосибирск. Изд. СОРАН. – 2008. – 257с.
21. Иванов-Шиц А.К., Мурин И.В. Ионика твердого тела. // СПб.: Изд-во СПб университета, 2000. - 616 с.
22. Нокс Р., Голд А. Симметрия в твердом теле. // Наука. – 1980г. – 396с.
23. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел. // М.: Мир. – 1986. – 575с.
24. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. // М.: Мир. – 1988. – 608с.
25. Вонсовский С.В., Каунельсон М.И. Квантовая физика твердого тела. // «Наука». ФМЛ. – 1983. – 336с.
26. Маделунг О. Физика твердого тела. // «Наука». ФМЛ. – 1985. – 412с.
27. Соболев В.В., Немошкаленко В.В. Методы вычислительной физики в теории твердого тела. // Киев. Наук. думка. – 1990. – 293с.
28. Польшгалов Ю.И., Поплавной А.С. Методы вычислений электронной структуры полупроводниковых низкоразмерных структур. // Кемерово. «Кузбассвуиздат». – 1995. – 188с.
29. Журавлев Ю.Н. Химическая связь в полупроводниковых и диэлектрических кристаллах. Кемерово. 2009. – 208 с.
30. Басалаев Ю.М., Гордиенко А.Б., Журавлев Ю.Н., Поплавной А.С. Моделирование электронных состояний в кристаллах. Кемерово: Кузбассвуиздат. 2001. – 164 с.
31. А.И.Ансельм Введение в теорию полупроводников. СП.: Лань, 2008. – 624 с..
32. Ю. П., Кардона М. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит. 2002. – 560 с.
33. Бассани Ф., Парравичини Дж. П. Электронные состояния и оптические переходы в твердых телах. – М.: Мир, 1982. –392 с.
34. Перлин Е.Ю., Вартанян Т.А., Федоров А.В. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов. – С-П.: РИО СПбГУ ИТМО, 2008. – 214 с
35. Орленко Л.П. Физика взрыва и удар. М.: Физматлит. 2006. 304 с.
36. Митрофанов В.В. Детонация гомогенных и гетерогенных систем. Новосибирск: Институт гидродинамики. 2003. 200 с.
37. Франк-Каменецкий Д.А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. Долгопрудный: Интеллект. 2008. 407 с.
38. Климов В.В. Наноплазмоника. Москва, физматлит, 2009.
39. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника.: мировые достижения за 2005 год;сборник / под. ред. П.П. Мальцева - М.: Техносфера, 2006. - 150 с.

40. Генералов, М.Б. Криохимическая нанотехнология: учеб. пособие для вузов по спец. "Машины и аппараты хим. пр-в" и "Автоматизир. пр-во хим. предприятий" - М.: Академкнига, 2006. - 325 с.
41. Шабанова, Н.А. Химия и технология нанодисперсных оксидов: учеб. пособие для вузов / Шабанова, Н.А., Попов, В.В., Саркисов, П.Д. - М.: Академкнига, 2006. - 309 с.
42. Андриевский, Р.А. Наноструктурные материалы: учеб. пособие для вузов по направлению подготовки дипломир. спец. 651800 "Физ. материаловедение" / Андриевский, Р.А., Рагуля, А.В. - М.: Академия, 2005. - 187 с.
43. Гусев А.И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. Изд-во НИСО УрО РАН, 1998, 199 с.
44. С. Моррисон. Химическая физика поверхности твердого тела. -М.: Мир, 1980.
45. Э. Зенгуил. Физика поверхности. -М.: Мир, 1990.
46. Ф. Бехштедт, Р. Эндерлайн. Поверхности и границы раздела полупроводников. -М.: Мир, 1990.
47. М. Джейкок, Дж. Прафит. Химия поверхностей раздела фаз. -М.: Мир, 1984
48. М. Грин. Поверхностные свойства твердых тел. -М.: Мир, 1996

3.3. Периодические издания

1. Физика Твердого Тела - <http://journals.ioffe.ru/journals/1>
2. Физика и техника полупроводников - <http://journals.ioffe.ru/journals/2>
3. Оптика и спектроскопия - <http://journals.ioffe.ru/journals/5>
4. Журнал технической физики - <http://journals.ioffe.ru/journals/3>
5. Журнал экспериментальной и теоретической физики - <http://jetp.ras.ru/>
6. Nature - <https://www.nature.com/>
7. Reviewes of Modern Physics - <https://journals.aps.org/rmp/>
8. Physical Review B - <https://journals.aps.org/prb/>
9. Physica Status Solidi (b) - <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15213951>
10. Journal of Physics: Condensed Matter - <https://iopscience.iop.org/journal/0953-8984>

3.4. Интернет-источники

№		
1.	http://www2.viniti.ru/	Реферативный журнал ВИНТИ РАН Физика
2.	http://www.diss.rsl.ru/	Электронная библиотека диссертаций РГБ
3.	http://edu.kemsu.ru/	Информационно-образовательный портал КемГУ
4.	http://elibrary.ru/	Научная электронная библиотека