

Вступительные испытания для поступающих в аспирантуру по образовательной программе 1.3 Физические науки научная специальность 1.3.11 Физика полупроводников

1. Химическая связь и атомная структура полупроводников

Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-ваальсова, ионная и ковалентная связь.

Структуры важнейших полупроводников – элементов A^{IV} , A^{VI} и соединений типов $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$, $A^{IV}B^{VI}$.

Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.

2. Основы технологии полупроводников и методы определений параметров

Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз.

Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы).

Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлорганическая эпитаксия.

Методы легирования полупроводников.

3. Основы зонной теории полупроводников

Основные приближения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны.

Законы дисперсии для важнейших полупроводников. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова.

Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

4. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках

Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний.

Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок в собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках. Многозарядные примесные центры.

5. Кинетические явления в полупроводниках

Кинетические коэффициенты – проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна.

6. Контактные явления в полупроводниках

Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки.

Энергетическая диаграмма p - n перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в p - n переходе.

Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов.
Варизонные полупроводники.

7. Свойства поверхности полупроводников

Эффект поля.

Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.

8. Оптические явления в полупроводниках

Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса—Кронига.

Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение.

Поглощение света на свободных носителях заряда.

Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана – Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна – Мандельштама).

9. Фотоэлектрические явления

Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость.

Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость.

Фоторазогрев носителей заряда.

Фотоэлектромагнитный эффект.

10. Некристаллические полупроводники

Аморфные и стеклообразные полупроводники. Структура атомной матрицы некристаллических полупроводников. Идеальное стекло. Гидрированные аморфные полупроводники.

Особенности электронного энергетического спектра неупорядоченных полупроводников. Плотность состояний. Локализация электронных состояний. Щель подвижности.

Легирование некристаллических полупроводников.

11. Принципы действия полупроводниковых приборов

Вольтамперная характеристика p - n перехода. Приборы с использованием p - n переходов.

Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор. Энергетическая диаграмма структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевые транзисторы на МДП-структурах. Приборы с зарядовой связью.

Шумы в полупроводниковых приборах.

Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования.

Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры.

Использование наноструктур в полупроводниковых приборах. Гетеротранзистор с двумерным электронным газом (НЕМТ). Гетеролазеры на основе структур с квантовыми ямами и квантовыми точками. Резонансное туннелирование в двух барьерной гетероструктуре и резонансно-туннельный диод. Оптический модулятор на основе квантово-размерного эффекта Штарка.

2. Перечень экзаменационных вопросов.

1. Уравнение Шредингера для электрона в кристалле. Адиабатическое, валентное и одноэлектронное приближение.
2. Свойства волновой функции электрона в кристалле. Теорема Блоха.
3. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна.
4. Энергетический спектр электрона в кристалле и основные методы его расчета.
5. Эффективная масса электрона в кристалле. Электроны и дырки как квазичастицы в кристаллах.
6. Стандартные и нестандартные структуры энергетических зон в полупроводниках. Эффективная масса плотности состояний.
7. Примесные состояния электронов в кристалле. Водородоподобная модель. Простые и сложные (многовалентные) доноры и акцепторы.
8. Экситоны в кристалле.
9. Функция распределения и функция плотности состояний для электрона в кристалле. Собственный полупроводник.
10. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике.
11. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации носителей в некомпенсированном полупроводнике.
12. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации носителей заряда в компенсированном полупроводнике.
13. Вырождение электронного газа в полупроводниках.
14. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках.
15. Эффект Холла. Температурная зависимость постоянной Холла.

16. Холловская и дрейфовая подвижность носителей в полупроводниках. Температурная зависимость подвижности при рассеянии на акустических колебаниях решетки и ионах примеси.

17. Зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках от напряженности электрического поля в сильных электрических полях.

18. Изменение концентрации носителей заряда в полупроводниках в сильных электрических полях (эффект Пула-Френкеля).

19. Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. Время релаксации.

20. Энергетическая диаграмма поверхности полупроводника. Работа выхода. Влияние поверхностных состояний на свойства при поверхностной области.

21. Поверхностная проводимость и эффект поля.

22. Перенос неравновесных носителей заряда в полупроводнике.

23. Диффузионные и дрейфовые токи. Соотношение Эйнштейна.

24. Собственное, примесное поглощение и поглощение свободными носителями заряда электромагнитного излучения. Прямые и не прямые переходы в полупроводниках.

25. Явление фотопроводимости. Основные параметры. Спектральная зависимость и люкс-амперная характеристика.

26. Влияние уровней прилипания на кинетику фотопроводимости.

27. Излучательная межзонная рекомбинация в полупроводнике. Зависимость времени жизни носителей заряда от уровня легирования и температуры.

28. Рекомбинация носителей через ловушки. Зависимость времени жизни носителей от уровня Ферми и температуры.

29. Безызлучательная межзонная рекомбинация. Зависимость времени жизни носителей заряда от уровня Ферми, и температуры.

30. P-n-переход. Энергетическая диаграмма, вольтамперная характеристика.

31. Явление фото-эдс на p-n- переходе. Зависимость фототока и фото-эдс от интенсивности освещения.

32. Контакт металл-полупроводник. Диодная и диффузионная модели выпрямления. Распределение потенциала. Барьерная емкость контакта.

33. Термоэлектрические явления (общая характеристика). Связь явлений друг с другом. Температурная зависимость дифференциальной термо-эдс в полупроводнике.

34. Упругие и релаксационные (тепловые) механизмы поляризации диэлектриков. Частотная зависимость поляризации диэлектриков.

35. Диэлектрические потери. Тангенс угла диэлектрических потерь.

36. Нелинейные диэлектрики. Пьезо- и сегнетоэлектрики.

37. Ионная проводимость диэлектриков, ее основные особенности.

38. Основные виды электрического пробоя в диэлектриках, их характеристики.

39. Основные представления о кристаллических структурах с пониженной размерностью. Квантовые ямы, проволоки, точки и сверхрешетки.

40. Электронные и дырочные уровни в изолированной квантовой яме на примере структуры GaAs/AlGaAs. Оптические переходы и правила отбора. Двумерные энергетические зоны и плотность состояний.

41. Экситонные состояния в квантовых ямах. Тяжелые и легкие экситоны в структуре GaAs/AlGaAs.

42. Селективное легирование и двумерный электронный газ в полупроводниковых гетероструктурах.

43. Эффект Холла в полупроводниковых гетероструктурах с двумерным электронным газом.

44. Стимулированное излучение. Твердотельные лазеры. Полупроводниковые лазеры.

3. Список рекомендуемых источников

6.1. Основная литература

6.1.1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела: учебник. 4-е изд., стереотип. СПб: Ленанд, 2015. – 496с.

6.1.2. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Физика конденсированного состояния: учебное пособие для вузов. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 296с.

6.1.3. Стрекалов Ю.А., Тенякова Н.А. Физика твердого тела: учебное пособие. М.: Инфра-М, 2013. – 312с.

6.2. Дополнительная литература

6.2.1. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебник. - 4-е изд., стереотип. – СПб.: Лань, 2010. - 400 с. Имеется электронный образовательный ресурс издательства «Лань», режим доступа http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=648

6.2.2. Елифанов Г.И. Физика твердого тела: учебное пособие. - 4-е изд., стереотип. – СПб.: Лань, 2011. - 288 с. Имеется электронный образовательный ресурс издательства «Лань», режим доступа http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2023

6.2.3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.

6.2.4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.

6.2.5. Киреев П.С. Физика полупроводников. М.: Высш. шк., 1975.

6.2.6. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 1985.

6.2.7. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984.

6.2.8. Мотт Н., Мотт Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М.: Мир, 1974.

6.2.9. Мотт Ю.И. Оптические свойства полупроводников. М.: Наука, 1977.

4. Пример экзаменационного билета

Вопрос 1. Опишите функцию распределения и функцию плотности состояний для электрона в кристалле. Охарактеризуйте собственный полупроводник.

Вопрос 2. Опишите явление фотопроводимости в полупроводниках и приведите ее основные параметры, типичную спектральную зависимость и люкс-амперную характеристику на примере кремния.

Вопрос 3. Опишите процессы, происходящие в р-n-переходе в отсутствие и при подаче внешнего напряжения. Приведите энергетическую диаграмму и вольтамперную характеристику.

Программа вступительного испытания по дисциплине Физика полупроводников для поступающих на программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре «Физика полупроводников» по направлению 03.06.01 Физика и астрономия обсуждена и одобрена на заседании НТС.

Руководитель
Образовательной программы

/Матухин В.Л./

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру по иностранному языку включает:

1. Чтение, письменный перевод со словарем на родной язык оригинального текста по специальности. Объем 1500 печатных знаков. Время на подготовку – 45 минут. Форма проверки – чтение части текста вслух, проверка всего подготовленного перевода и пересказ на родном языке. Пользование словарем строго регламентируется указанным временем. Если не выполнен минимум (1000 печатных знаков), экзамен продолжать не следует.
2. Чтение (просмотровое, без словаря) оригинального текста по специальности. Объем – 1500 печатных знаков. Время на подготовку – 2-3 минуты. Форма проверки – передача основной идеи текста на родном или иностранном языке.
3. Чтение научно-популярного или общественно-политического текста без словаря. Объем – 1000 печатных знаков. Время на подготовку – 15 минут. Форма проверки – передача содержания текста на родном (или иностранном) языке.
4. Беседа на иностранном языке по вопросам, связанным со специальностью аспиранта и социальной тематикой

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру по философии включает:

1. Предмет философии.
2. Миф, религия, философия как формы мировоззрения.
3. Основной вопрос философии.
4. Функции философии, ее назначение. Философия в системе культуры.
5. Взаимоотношение философии и науки.
6. Структура философии. Специфика философского знания
7. Круг проблем философии.
8. Философия Древней Индии (ведизм, буддизм, индуизм).
9. Философия Древнего Китая (конфуцианство, даосизм).
10. Милетская школа о первоначалах мира.
11. Элейская школа о проблемах бытия.
12. Научные школы и направления досократовской философии (пифагорейский союз; философия Гераклита; философия Демокрита).
13. Сократ и его учение.
14. Платон и его философское учение.
15. Философские взгляды Аристотеля.
16. Философия эллинизма: киники, неоплатонизм, стоики, эпикуреизм, скептицизм.
17. Средневековая философия (общая характеристика). Патристика и схоластика.
18. Философия эпохи Возрождения.
19. Научная революция и философия XVII-XVIII веков. Эмпиризм и рационализм.

20. Ф. Бэкон и его философское учение.
21. Философское учение Р. Декарта.
22. Философские взгляды Б. Спинозы.
23. Философские взгляды Д. Локка.
24. Философия Просвещения XVIII в.
25. Философия Канта, её характерные черты.
26. Философская система и диалектика Гегеля.
27. Антропологический материализм Л. Фейербаха.
28. Философия позитивизма и его исторические формы.
29. Основные направления зарубежной философии XX века.
30. Философия XIX века: основные школы и направления.
31. Русская религиозная философия.
32. Учение З. Фрейда.
33. Категория «бытие», её философский смысл.
34. Философское понимание материи. Структура материи.
35. Движение и развитие. Многообразие форм движения материи.
36. Пространство и время как всеобщие формы бытия.
37. Познание как предмет философского анализа. Субъект и объект познания.
38. Проблема истины в философии. Критерии истины.
39. Познание и практика.
40. Проблемы научного познания и его специфические признаки.
41. Рациональное познание и его формы.
42. Чувственное познание и его формы.
43. Развитие форм отражения в неживой и живой природе. Общественная сущность сознания. Сознание и мозг.

44. Формы и методы научного познания.
45. Общественное бытие и общественное сознание. Структура общественного сознания.
46. Философские подходы к сознанию.
47. Диалектика как учение о взаимосвязях и развитии
48. Законы диалектики
49. Категории диалектики
50. Проблема человека в философии.
51. Человек, личность, индивид, индивидуальность.
52. Проблема антропогенеза.
53. Проблема жизни и смерти человека. Представления о смысле жизни.
54. Биологическое и социальное в человеке.
55. Взаимосвязь природы и общества.
56. Культура как мир человека.
57. Технологические и социальные причины современного экологического кризиса и пути выхода из него. Проблема ноосферы.
58. Глобальные проблемы современности и основные пути их решения.
59. Формационная концепция общественного развития.
60. Цивилизационная концепция общественного развития.