

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

_____ М.С. Тиванов

« ___ » _____ 20__ г.

Регистрационный № _____

Программа вступительных испытаний
для поступающих на I степень послевузовского образования
(аспирантура)

Специальность 01.04.10 Физика полупроводников

Минск, 2019г.

СОСТАВИТЕЛИ:

В.Б. Оджаев — зав. кафедрой физики полупроводников и нанoeлектроники, д-р. физ.-мат. наук, профессор;

Н.А. Поклонский — профессор кафедры физики полупроводников и нанoeлектроники БГУ, д-р. физ.-мат. наук, профессор;

Н.И. Горбачук — доцент кафедры физики полупроводников и нанoeлектроники БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

РАССМОТРЕНА И РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики полупроводников и нанoeлектроники

Протокол от 29 мая 2019 г. № 13

Советом факультета

Протокол от 27 июня 2019 № 12

Ответственный за редакцию

_____ (подпись)

Горбачук Н.И.

_____ (инициалы, фамилия)

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

РАЗДЕЛ 1

1. Типы химических связей атомов в кристаллах.
2. Точечная и пространственная симметрия кристаллических решеток. Решетки Браве. Индексы Миллера.
3. Решетка алмаза. Аллотропные формы углерода.
4. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближения.
5. Теория квазисвободного и квазисвязанного электрона в кристалле. Модель Кронига-Пенни.
6. Трансляционная симметрия поля решетки. Квазиимпульс электрона проводимости; приближение эффективной массы. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.
7. Электронные вакансии (дырки) в кристаллах. Движение электронов и дырок под действием внешних силовых полей.
8. Зонная теория кристаллических твердых тел: металлы, полуметаллы, бесщелевые полупроводники, диэлектрики.
9. Плотность состояний делокализованных электронов и электронных вакансий (дырок) в кристаллическом полупроводнике. Эффективная масса плотности состояний. Легкие и тяжелые дырки.
10. Уровень Ферми электронов. Концентрация делокализованных электронов и дырок в легированном металле, полуметалле, бесщелевом и собственном полупроводниках.
11. Колебания кристаллической решетки. Акустические и оптические фононы. Статистика фононов. Теплоемкость решетки.
12. Точечные дефекты решетки. Концентрация атомных вакансий и собственных междоузельных атомов в кристалле.
13. Водородоподобные атомы примеси в кристалле. Фактор вырождения энергетического уровня. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации делокализованных электронов (дырок) в слаболегированном кристаллическом полупроводнике.
14. Уравнения электронейтральности для полупроводника с многозарядными дефектами (примесными атомами). Сильнолегированные полупроводники. Переход диэлектрик-металл.
15. Механическая прочность и пластическая деформация твердых тел. Дислокации и дисклинации в кристаллах.
16. Диффузия и «растворимость» примесных атомов в полупроводниках.
17. Кинетическое уравнение Больцмана для электронов и фононов. Приближение времени релаксации квазиимпульса электронов проводимости.
18. Рассеяние носителей заряда на акустических фононах; приближение потенциала деформации.

19. Подвижность электронов и дырок, ограниченная рассеянием на ионах примеси.
20. Зонная электропроводность кристаллических полупроводников на постоянном токе. Эффективная масса электропроводности.
21. Классический эффект Холла. Магниторезистивный эффект.
22. Квантование энергии электрона проводимости в магнитном поле. Плотность одноэлектронных состояний.
23. Пьезоэффект в кристаллах без центра симметрии. Тензорезистивные эффекты в кристаллах Si и Ge.
24. Экранирование электростатического поля в полупроводниках. Приближения Дебая-Хюккеля и Шоттки. Электрическая емкость структуры металл-диэлектрик-полупроводник.
25. Механизмы электрической поляризации диэлектриков. Электреты и сегнетоэлектрики.
26. Электропроводность полупроводников на переменном токе. Плазменная частота. Скин-слой. Поглощение света свободными носителями заряда в кристаллах.
27. Циклотронный резонанс электронов (дырок). Циклотронная эффективная масса носителей заряда в многодолинных полупроводниках.
28. Неравновесные электроны и дырки в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Особенности рекомбинации на поверхности кристалла. Квазиуровень Ферми для электронов и дырок.
29. Фундаментальное (собственное) поглощение света в кристаллических полупроводниках. Прямые и не прямые межзонные переходы. Эффекты Бурштейна-Мосса и Франца-Келдыша.
30. Экситоны. Влияние закона дисперсии электронов и дырок на связывание их в экситоны.
31. Ударная рекомбинация (рекомбинация Оже). Влияние зонной структуры и экситонов. Особенности рекомбинация на поверхности.
32. Рекомбинация электронов и дырок через локальные центры (примесные атомы). Механизм выполнения законов сохранения энергии и квазиимпульса при рекомбинации через локальные центры. Статистика рекомбинации Шокли-Рида-Холла.
33. Излучательная рекомбинация в кристаллических полупроводниках. Соотношение Ван Русбрека-Шокли.
34. Спонтанное и вынужденное излучение в полупроводниках. Критерии возникновения лазерного излучения при излучательной рекомбинации электронов и дырок. Полупроводниковый лазер.
35. Решеточное поглощение. Локальный фонон; колебания примесных атомов. Примесное и межпримесное поглощение света.
36. Фотопроводимость. Фотомагнитоэлектрический эффект в полупроводниках.

37. Решеточная и электронная теплопроводности полупроводниковых кристаллов.
38. Термоэлектрические и термомагнитные явления в полупроводниках.
39. Увлечение электронов (дырок) фононами и фотонами в кристаллах.
40. Физика и химия поверхности полупроводников. Электронное сродство и термоэлектронная эмиссия из кристалла.
41. Типы магнитного упорядочения в твердых телах. Намагничивание материалов. Измерение индукции магнитного поля.
42. Классические и квантовые размерные эффекты в полупроводниках.
43. Квантование энергии и плотность состояний делокализованных носителей заряда в кристаллических пленках.
44. Контакт металл-полупроводник. Pn -переход в равновесии и при электрическом смещении. Туннельный диод.
45. Междолинные переходы электронов проводимости. Диод Ганна.
46. Биполярные транзисторы: принцип действия и схемы включения.
47. Полевые транзисторы: технология изготовления и применение.
48. Солнечный элемент: физика, технология и электроника.
49. Физические основы опто- и акустоэлектроники.

РАЗДЕЛ 2

1. Концентрация акустических и оптических фононов в кристалле. Уравнение состояния кристаллического диэлектрика.
2. Квантование энергии и плотность состояний делокализованных электронов в кристаллических нитях (вискерах).
3. Энергетическая зонная структура кристаллов алмаза, Si, Ge и GaAs.
4. Пороговая энергия образования атомных дефектов решетки. Радиационные дефекты. Аморфизация кристаллов пучками частиц.
5. Легирование полупроводников ионным внедрением. Каналирование атомных частиц в кристалле.
6. Трансмутационное легирование полупроводников.
7. Дефекты и примеси в кристаллическом кремнии.
8. Локальные центры с отрицательной энергией корреляции в полупроводниках.
9. Времена релаксации квазиимпульса и энергии электронов в сильных электрических полях. Баллистический транспорт электронов.
10. Токи монополярной и двойной инжекции в диэлектриках и полупроводниках.
11. Механизмы отрицательной дифференциальной электропроводности. Электрический шум в полупроводниках.
12. Рекомбинация и генерация носителей заряда в сильных электрических полях. Механизмы электрического пробоя pn -перехода.
13. Диффузия и дрейф носителей заряда при биполярной электропроводности. Рекомбинационные модели гашения и

- отрицательной фотопроводимости в полупроводниках с многозарядными дефектами (примесными атомами).
14. Электронные состояния на поверхности кристалла. Эмиссия электронов из кристалла в вакуум.
 15. Многослойные интерференционные покрытия на основе широкозонных полупроводников. Тепловые зеркала.
 16. Механизмы излучательной и безызлучательной рекомбинации в кристаллических полупроводниках.
 17. Интенсивность и форма спектра межпримесной излучательной рекомбинации в кристаллах.
 18. Влияние деформации кристаллических полупроводников на их зонную структуру, оптические и электрические свойства.
 19. Вертикальные и неvertикальные переходы электронов в пространстве "энергия - квазиимпульс" и "энергия - координата" в многодолинных полупроводниках и в приборных структурах.
 20. Излучательная рекомбинация с участием экситонов. Свободные и связанные экситоны. Многоэкситонные комплексы. Электронно-дырочные капли.
 21. Рекомбинация электронов и дырок через многозарядные центры. Температурная зависимость времени жизни; прилипание электронов (дырок).
 22. Поляроны и поляритоны в кристаллах.
 23. Перенос электронов (дырок) по локализованным состояниям (прыжковая и поляронная электропроводность кристаллов).
 24. Электронный парамагнитный спиновый резонанс в полупроводниках с дефектами решетки.
 25. Основы метода туннельной спектроскопии в микроконтактах.
 26. Квантовый эффект Холла. Эталон электрического сопротивления.
 27. Механизмы миграции атомов (ионов) в кристаллах. Ассоциаты примесей и собственных дефектов решетки.
 28. Аморфные, стеклообразные и жидкие полупроводники (расплавы). Твердые электролиты.
 29. Электро- и катодолюминесценция полупроводников.
 30. Жидкие кристаллы: физика и применение в оптоэлектронике.
 31. Органические (молекулярные) полупроводники.
 32. Полупроводниковые сверхрешетки.
 33. Квазикристаллы: симметрия и свойства.
 34. Фуллерены из углерода: получение, свойства и применение.
 35. Низкоразмерные полупроводниковые системы. Квантовые точки, ямы и нанотрубки.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы.— М.: Академия, 2005.— 192 с.
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников.— М.: Наука, 1990.— 688 с.
3. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния.— М.: Физматлит, 2005.— 632 с.
4. Бургуэн Ж., Ланно М. Точечные дефекты в полупроводниках. Экспериментальные аспекты.— М.: Мир, 1985.— 304 с.
5. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах.— М.: Физматлит, 2005.— 232 с.
6. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур.— М.: Логос, 2000.— 248 с.
7. Зенгуил Э. Физика поверхности.— М.: Мир, 1990.— 536 с.
8. Имри Й. Введение в мезоскопическую физику.— М.: Физматлит, 2002.— 304 с.
9. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию.— М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005.— 134 с.
10. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А. Чаплыгина.— М.: Техносфера, 2005.— 448 с.
11. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов.— М.: Высш. шк., 1987.— 239 с.
12. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы.— М.: Лань, 2001.— 480 с.
13. Поклонский Н.А., Вырко С.А., Поденок С.Л. Статистическая физика полупроводников. Курс лекций.— М.: КомКнига, 2005.— 264 с.
14. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника.— М.: Техносфера, 2004.— 592 с.
15. Солимар Л., Уолш Д. Лекции по электрическим свойствам материалов.— М.: Мир, 1991.— 504 с.
16. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов.— М.: Высш. шк., 1990.— 423 с.
17. Технология СБИС. В 2-х книгах / Под ред. С. Зи.— М.: Мир, 1986.— 404 с. + 453 с.
18. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников.— М.: Физматлит, 2002.— 560 с.

Дополнительная литература

1. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел.— М.: Мир, 1981.— 574 с.

2. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии.— М.: Мир, 1985.— 496 с.
3. Грибковский В.П. Полупроводниковые лазеры.— Минск: Университетское, 1988.— 304 с.
4. Гроссе П. Свободные электроны в твердых телах.— М.: Мир, 1982.— 272 с.
5. Киреев П.С. Физика полупроводников.— М.: Высш. шк., 1975.— 584 с.
6. Ридли Б. Квантовые процессы в полупроводниках.— М.: Мир, 1986.— 304 с.
7. Шаскольская М.П. Кристаллография.— М.: Высш. шк., 1984.— 376 с.
8. Алферов Ж.И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии // Успехи физических наук.— 2002.— Т. 172, № 9.— С. 1068—1086.
9. Аморфные и поликристаллические полупроводники / Под ред. В. Хейванга.— М.: Мир, 1987.— 160 с.
10. Андрюшин Е.А., Силин А.П. Физические проблемы солнечной энергетики // Успехи физических наук.— 1991.— Т. 161, № 8.— С. 129—139.
11. Гонда С., Сэко Д. Оптоэлектроника в вопросах и ответах.— Л.: Энергоатомиздат, 1989.— 184 с.
12. Гуляев Ю.В. Акустоэлектроника (исторический обзор) // Успехи физических наук.— 2005.— Т. 175, № 8.— С. 887—895.
13. Захарченя Б.П., Коренев В.Л. Интегрируя магнетизм в полупроводниковую электронику // Успехи физических наук.— 2005.— Т. 175, № 6.— С. 629—635.
14. Килби Дж.С. Возможное становится реальным: изобретение интегральных схем // Успехи физических наук.— 2002.— Т. 172, № 9.— С. 1102—1109.
15. фон Клитцинг К. Квантованный эффект Холла // Успехи физических наук.— 1986.— Т. 150, № 1.— С. 107—126.
16. Лафлин Р.Б. Дробное квантование // Успехи физических наук.— 2000.— Т. 170, № 3.— С. 292—303.
17. Пономаренко В.П. Теллурид кадмия-ртути и новое поколение приборов инфракрасной фотоэлектроники // Успехи физических наук.— 2003.— Т. 173, № 6.— С. 649—665.
18. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник.— М.: Техносфера, 2005.— 592 с.
19. Цидильковский И.М. Электроны и дырки в поле сил инерции // Успехи физических наук.— 1975.— Т. 115, № 2.— С. 321—331.
20. Цуи Д. Соотношение беспорядка и взаимодействия в двумерном электронном газе, помещенном в сильное магнитное поле // Успехи физических наук.— 2000.— Т. 170, № 3.— С. 320—324.
21. Штёрмер Х. Дробный квантовый эффект Холла // Успехи физических наук.— 2000.— Т. 170, № 3.— С. 304—319.