

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ

Методические указания
для студентов, выполняющих лабораторный практикум
по курсу физики

УДК 539.2(076.5)
Ф 503

Составители:

А.В. Баранов, В.В. Давыдов, В.В. Христофоров

Рецензент *Б.Б. Горлов*

Работа подготовлена на кафедре общей физики

Предисловие

Методические указания предназначены для студентов, выполняющих лабораторный практикум по курсу физики на кафедре общей физики НГТУ.

Указания содержат вопросы, которые могут быть заданы студентам во время защиты лабораторных работ по разделу «Физика твердого тела».

По уровню сложности вопросы разбиты на три группы.

Вопросы *первого уровня сложности* требуют от студента знания основных понятий, определений физических величин и формулировок физических законов. Для успешной защиты на первом уровне студент должен правильно ответить на три указанных преподавателем вопроса этого уровня. Максимальный балл, который преподаватель может начислить студенту за защиту на первом уровне, соответствует оценке «удовлетворительно».

Вопросы *второго уровня сложности* требуют от студента знания сути изучаемых физических явлений и процессов, особенностей проводимого физического эксперимента. Для успешной защиты на втором уровне студент должен правильно ответить на один вопрос второго уровня, прежде ответив на три вопроса первого уровня. Максимальный балл, который преподаватель может начислить студенту за защиту на втором уровне, соответствует оценке «хорошо».

Вопросы *третьего уровня сложности* требуют от студента знания теории и умения пользоваться этими знаниями для объяснения и математического описания изучаемых явлений и процессов. Для успешной защиты на третьем уровне студент должен правильно ответить на один вопрос третьего уровня, прежде ответив на один вопрос второго уровня и на три вопроса первого уровня. Максимальный балл, который преподаватель может начислить студенту за защиту на третьем уровне, соответствует оценке «отлично».

Уровень сложности и, соответственно, возможный максимальный балл выбирается студентом. Реальный балл, начисляемый студенту, определяется преподавателем по итогам защиты лабораторной работы.

Вопросы для защиты лабораторной работы № 40

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА

Первый уровень

1. Что такое энергетические уровни электронов в атоме?
2. Сформулируйте принцип Паули.
3. Сколько квантовых чисел характеризует состояние электрона в атоме?
4. Какие квантовые числа характеризуют состояние электрона в атоме?
5. Какие значения могут принимать квантовые числа, характеризующие состояние электрона в атоме?
6. Сколько электронов может разместиться на атомном уровне с главным квантовым числом n ?
7. Каков механизм образования энергетических зон в кристалле?
8. Как могут быть заполнены электронами энергетические зоны в кристалле?
9. Как заполнена зона, содержащая валентные электроны, в проводниках, полупроводниках и диэлектриках?
10. Что такое валентная зона в кристалле полупроводника? Почему она так называется?
11. Что такое зона проводимости в кристалле полупроводника? Почему она так называется?
12. Какие электроны в полупроводниках называют свободными?
13. Что такое дырка в кристалле полупроводника?
14. Как в собственных полупроводниках соотносятся концентрации свободных электронов и дырок?
15. Как меняется концентрация свободных носителей заряда в собственных полупроводниках с увеличением температуры?
16. Что такое нормальные колебания в кристалле? Почему спектр частот нормальных колебаний имеет ограничения снизу и сверху?

17. Как увеличение температуры влияет на нормальные колебания в кристалле?
18. Что такое фонон? Чему равна его энергия?
19. Какую энергию могут иметь фононы при температуре T ?
20. При какой температуре в кристалле возбуждается собственная проводимость?
21. Что такое примесные полупроводники?
22. Что такое электронные (донорные) полупроводники? За счет чего в них осуществляется проводимость?
23. Что такое дырочные (акцепторные) полупроводники? За счет чего в них осуществляется проводимость?
24. Как изменяется проводимость электронного полупроводника при увеличении температуры? За счет каких носителей заряда она осуществляется?
25. Как изменяется проводимость дырочного полупроводника при увеличении температуры? За счет каких носителей заряда она осуществляется?
26. Изобразите график зависимости натурального логарифма проводимости собственного полупроводника от обратной температуры. От чего зависит угол наклона этого графика?
27. Изобразите график зависимости натурального логарифма проводимости примесного полупроводника от обратной температуры. От чего зависит угол наклона этого графика на участках собственной и примесной проводимости?
28. Изобразите энергетическую диаграмму собственного полупроводника. Как заполнены электронами энергетические зоны при абсолютном нуле и при $T > 0 \text{ K}$?
29. Изобразите энергетическую диаграмму акцепторного полупроводника. Объясните, из каких элементов состоит энергетическая диаграмма.
30. Изобразите энергетическую диаграмму донорного полупроводника. Объясните, из каких элементов состоит энергетическая диаграмма.

Второй уровень

1. Опишите механизм образования энергетических зон в кристалле. Как заполнены энергетические зоны электронами в проводниках, диэлектриках и полупроводниках?
2. Механизм собственной проводимости полупроводников.
3. Механизм донорной проводимости полупроводников.

4. Механизм акцепторной проводимости полупроводников.
5. Зависимость проводимости полупроводников от температуры.
6. Определение ширины запретной зоны и энергии активации примеси по графику зависимости $\ln(\sigma)$ от $1/T$.

Третий уровень

1. Понятие о нормальных колебаниях в кристалле. Дисперсионные кривые для акустических и оптических колебаний.
2. Спектр нормальных колебаний в кристалле. Понятие о температуре Дебая.
3. Фононы. Функция распределения фононов по энергиям (функция Бозе–Эйнштейна). Зависимость частоты и количества фононов от температуры.
4. Зависимость теплоемкости твердого тела от температуры в области низких частот.
5. Зависимость теплоемкости твердого тела от температуры в области высоких частот.
6. Теплоемкость электронного газа и ее зависимость от температуры в металлах и полупроводниках.

Вопросы для защиты лабораторной работы № 41

ЭФФЕКТ ХОЛЛА В ПРИМЕСНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Первый уровень

1. В чем заключается эффект Холла?
2. Как можно определить знак основных носителей тока в примесном полупроводнике, используя эффект Холла?
3. Как можно определить концентрацию основных носителей тока в примесном полупроводнике, используя эффект Холла?
4. Что такое холловская разность потенциалов? От чего она зависит?
5. Чем определяется знак холловской разности потенциалов для примесного проводника?
6. Что такое постоянная Холла? От чего она зависит?
7. Чему равна и куда направлена сила Лоренца, действующая на электроны в полупроводниковом образце при возникновении эффекта Холла?

8. Чему равна и куда направлена сила Лоренца, действующая на дырки в полупроводниковом образце при возникновении эффекта Холла?

9. Куда направлен вектор напряженности холловского поля в образце?

10. Когда прекращается накопление избыточных зарядов на гранях образца при возникновении эффекта Холла?

11. Как можно измерить величину напряженности холловского поля в образце?

12. Что такое датчик Холла? Для чего он используется?

13. Как можно измерить индукцию магнитного поля с помощью датчика Холла?

14. Как определяется чувствительность датчика Холла?

15. Почему при измерении индукции магнитного поля с помощью датчика Холла важно, чтобы постоянная Холла не зависела от температуры?

Второй уровень

1. Получите и проанализируйте выражение для холловской разности потенциалов, возникающей в образце, изготовленном из примесного полупроводника.

2. Получите и проанализируйте выражение для постоянной Холла в случае примесного полупроводника.

3. Как изменяется постоянная Холла при изменении температуры примесного полупроводника?

4. Что такое подвижность носителей тока? Как она изменяется при изменении температуры полупроводника?

5. Что такое удельная электропроводность? Как она изменяется при изменении температуры полупроводника?

6. Чему равна постоянная Холла для собственного полупроводника?

Третий уровень

1. Получите зависимость $\ln(\sigma)$ от $1/T$ для собственного полупроводника.

2. Получите и проанализируйте выражение для холловской разности потенциалов, возникающей в образце, изготовленном из собственного полупроводника.

3. Получите и проанализируйте выражение для постоянной Холла в случае примесного полупроводника.

4. Какова природа возможной систематической погрешности при измерении холловской разности потенциалов? Как она учитывается?
5. Как можно увеличить холловскую разность потенциалов, не меняя силы тока, индукции магнитного поля и постоянной Холла?
6. С какой целью в лабораторной работе снимается зависимость электропроводимости полупроводника от температуры? Дайте подробные пояснения.

Вопросы для защиты лабораторной работы № 42

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФОТОРЕЗИСТОРА

Первый уровень

1. Что такое внутренний фотоэффект? Сравните с внешним фотоэффектом.
2. Объясните механизм возникновения фотопроводимости в собственном полупроводнике.
3. Объясните механизм возникновения фотопроводимости в примесном полупроводнике.
4. При каких частотах свет, падающий на собственный полупроводник, возбуждает внутренний фотоэффект?
5. При каких частотах свет, падающий на примесный полупроводник, возбуждает внутренний фотоэффект?
6. Что такое край собственного поглощения?
7. Что такое край примесного поглощения?
8. Что представляет собой фоторезистор?
9. Как изменяется проводимость фоторезистора при увеличении его освещенности?
10. Что такое темновой ток фоторезистора? За счет чего он возникает?

Второй уровень

1. Какой вид вольт-амперной характеристики ожидается для фоторезистора? При каких условиях следует снимать эту зависимость?
2. Что такое световая характеристика фоторезистора? Какой вид этой зависимости ожидается и какой получен? Объясните различия, если они есть.

3. Что такое спектральная характеристика фоторезистора? Какой вид она имеет при температуре $T = 0\text{К}$ и при $T > 0\text{К}$? Как объяснить указанные различия?

4. Объясните понятие «край собственного поглощения», используя зонную теорию твердого тела.

5. Объясните понятие «край примесного поглощения», используя зонную теорию твердого тела.

6. Как, используя внутренний фотоэффект, определить ширину запрещенной зоны полупроводника?

7. Как, используя внутренний фотоэффект, определить энергию активации примеси полупроводника?

8. Что такое темновой ток фоторезистора? Какими способами его можно уменьшить?

Третий уровень

1. Какие частицы взаимодействуют при внутреннем фотоэффекте?

2. Какие законы сохранения выполняются при внутреннем фотоэффекте?

3. Что такое прямые и не прямые оптические переходы электрона?

4. Почему вероятность не прямых оптических переходов меньше, чем прямых?

5. Что такое экситон? Возникает ли фотопроводимость при перемещении экситона?

Вопросы для защиты лабораторной работы № 43

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОРЕЗИСТОРА

Первый уровень

1. Кратко опишите природу ковалентной связи.

2. Кратко опишите природу металлической связи.

3. Изобразите энергетическую диаграмму полупроводника.

4. Изобразите энергетическую диаграмму металла.

5. Где расположен уровень Ферми в полупроводниках (при абсолютном нуле)?

6. Где расположен уровень Ферми в металлах (при абсолютном нуле)?

7. Назовите свободные носители заряда, за счет которых осуществляется собственная проводимость в полупроводниках. Что требуется для того, чтобы они возникли?

8. Назовите свободные носители заряда, за счет которых осуществляется проводимость в металлах. Что требуется для того, чтобы они возникли?

9. В каких веществах газ свободных носителей заряда вырожден, а в каких – нет?

10. Какие электроны в металлах способны двигаться упорядоченно?

11. Что такое удельная электропроводность? Напишите формулу для ее расчета. Назовите характеристики, входящие в эту формулу.

12. От чего и как зависит концентрация свободных носителей заряда в полупроводниках?

13. От чего и как зависит концентрация свободных носителей заряда в металлах?

14. Что такое дрейфовая скорость свободных носителей заряда? Чему она равна (напишите формулу для ее расчета)?

15. Что такое подвижность свободных носителей заряда? Чему она равна (напишите формулу для ее расчета)?

16. Что такое рассеяние свободных носителей заряда? На чем оно сказывается?

17. На чем рассеиваются свободные носители заряда в области низких температур?

18. На чем рассеиваются свободные носители заряда в области высоких температур?

19. Как изменяется подвижность свободных носителей заряда в полупроводниках в области низких температур?

20. Как изменяется подвижность свободных носителей заряда в полупроводниках в области высоких температур?

21. Как изменяется подвижность свободных носителей заряда в металлах в области низких температур?

22. Как изменяется подвижность свободных носителей заряда в металлах в области высоких температур?

23. Как изменяется проводимость собственных полупроводников с ростом температуры? Постройте график этой зависимости.

24. Как изменяется проводимость металлов с ростом температуры? Постройте график этой зависимости.

25. Как зависит от температуры проводимость сплавов (по сравнению с металлами)? Почему?

Второй уровень

1. Дрейф свободных носителей заряда под действием внешнего электрического поля. Время релаксации и длина свободного пробега.
2. Удельная электропроводность. Электропроводность невырожденного газа свободных носителей заряда.
3. Удельная электропроводность. Электропроводность вырожденного газа свободных носителей заряда.
4. Зависимость проводимости металлов от температуры в области низких температур.
5. Зависимость проводимости металлов от температуры в области высоких температур.

Вопросы для защиты лабораторной работы № 44

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Первый уровень

1. Что представляют собой полупроводники p -типа и n -типа?
2. Какие свободные носители заряда в полупроводниках p -типа и n -типа являются основными, а какие неосновными? Откуда они берутся?
3. Почему нельзя изготовить диод, просто механически прижав p -полупроводник к n -полупроводнику?
4. Устройство полупроводникового диода. Какие технологические приемы используют для изготовления полупроводниковых диодов?
5. Что именно выравнивается, когда p – n -переход достигает равновесного состояния?
6. Объясните, почему на границе p - и n -полупроводников возникает электрическое поле?
7. Объясните, почему при соединении p - и n -полупроводников между ними возникает контактная разность потенциалов?
8. Что такое ширина p – n -перехода, от чего она зависит?
9. Для каких носителей заряда на границе p - и n -полупроводников возникает потенциальный барьер, а для каких – не возникает?

10. Какие носители заряда образуют диффузионный, а какие – дрейфовый поток частиц через p – n -переход? Почему эти потоки так называются?

11. Какие токи и в каких направлениях текут через p – n -переход, находящийся в равновесном состоянии? Чему при этом равна результирующая сила тока?

12. Как подключить (сместить) p – n -переход в прямом направлении? Поток каких носителей заряда при этом существенно увеличится, а каких – не изменится?

13. Что такое инжекция неосновных носителей заряда через p – n -переход?

14. Что такое диффузионная длина неосновных носителей заряда?

15. Как подключить p – n -переход в обратном направлении? Поток каких носителей заряда при этом существенно уменьшится, а каких – не изменится?

16. Электрический ток каких носителей заряда течет при прямом, а каких при обратном смещении p – n -перехода?

17. Как изменяется сила тока через p – n -переход при увеличении прямого напряжения?

18. Как изменяется сила тока через p – n -переход при увеличении обратного напряжения?

19. Как влияет температура кристалла на прямой и обратный ток через p – n -переход?

20. Что такое пробой p – n -перехода?

21. В каких устройствах используется явление пробоя p – n -перехода?

Второй уровень

1. Каким образом на границе p - и n -полупроводника возникает двойной электрический слой? С какой стороны его заряд положительный, с какой – отрицательный? Как создать несимметричный p – n -переход?

2. Изобразите энергетическую зонную диаграмму для равновесного состояния p – n -перехода. Покажите на ней потенциальные барьеры для основных носителей заряда p - и n -полупроводника. Как высота потенциального барьера связана с контактной разностью потенциалов?

3. Изобразите энергетическую зонную диаграмму для прямо смещенного p – n -перехода. Покажите на ней потенциальные барьеры для

основных носителей заряда p - и n -полупроводника. Как высота потенциального барьера связана с разностью потенциалов на его границах?

4. Изобразите энергетическую зонную диаграмму для обратно смещенного p - n -перехода. Покажите на ней потенциальные барьеры для основных носителей заряда p - и n -полупроводника. Как высота потенциального барьера связана с разностью потенциалов на его границах?

5. Запишите выражение, связывающее силу тока, текущего через p - n -переход, с приложенным к переходу напряжением. Изобразите график этой вольт-амперной характеристики (ВАХ) перехода.

6. Как меняется ВАХ p - n -перехода при изменении температуры полупроводника? Почему происходят указанные изменения?

7. Объясните, почему обратная ветвь ВАХ p - n -переходов, изготовленных на основе кремния и арсенид-галлия, в отличие от германиевых, не имеет тенденции к насыщению.

8. Используя ВАХ p - n -перехода, объясните его выпрямляющее действие. Изобразите схему выпрямителя.

Третий уровень

1. Получите дифференциальное уравнение для напряженности электрического поля E в области объемного заряда p - n -перехода (заряд считайте равномерно распределенным с заданной плотностью ρ). Найдите с помощью этого уравнения зависимость напряженности поля p - n -перехода от координаты, изменяющейся поперек перехода.

2. Докажите, что p - n -переход смещен в область с меньшей концентрацией примеси.

3. Получите дифференциальное уравнение для потенциальной энергии электрона U в области объемного заряда p - n -перехода (уравнение Пуассона). Найдите с помощью этого уравнения зависимость потенциальной энергии электрона от координаты, изменяющейся поперек перехода.

4. Получите выражение для ширины p - n -перехода в равновесном состоянии (для упрощения вывода считайте p - n -переход сильно несимметричным).

5. Докажите, что при прямом смещении уменьшаются как высота потенциального барьера, так и ширина p - n -перехода по сравнению с равновесными значениями.

6. Докажите, что на расстоянии, равном диффузионной длине, избыточная концентрация инжектированных неосновных носителей уменьшается за счет рекомбинации в e раз.

7. Докажите, что при обратном смещении увеличиваются как высота потенциального барьера, так и ширина p - n -перехода по сравнению с равновесными значениями.

8. Получите аналитическое выражение для вольт-амперной характеристики p - n -перехода. Изобразите график этой зависимости.

Вопросы для защиты лабораторной работы № 48

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБОЯ p - n -ПЕРЕХОДА

Первый уровень

1. Что такое p - n -переход? Как он образуется?
2. Какими свойствами обладает p - n -переход?
3. В чем заключается пробой p - n -перехода?
4. Что такое туннельный пробой p - n -перехода? Каков механизм его возникновения?
5. Что такое лавинный пробой p - n -перехода? Каков механизм его возникновения?
6. Что такое тепловой пробой p - n -перехода? Каков механизм его возникновения?
7. Что такое поверхностный пробой p - n -перехода? Каков механизм его возникновения?
8. В чем заключается явление ударной ионизации в p - n -переходе?
9. В чем заключается явление туннелирования в p - n -переходе?

Второй уровень

1. Почему туннельный пробой преимущественно наблюдается в узких p - n -переходах?
2. Почему лавинный пробой преимущественно наблюдается в широких p - n -переходах?
3. Как выглядит вольт-амперная характеристика p - n -перехода в случае его пробоя? Чем это объясняется?
4. Как изменяется сопротивление p - n -перехода при его пробое? Чем это объясняется?
5. Как с ростом температуры изменяется напряжение туннельного пробоя p - n -перехода? Чем это объясняется?
6. Как с ростом температуры изменяется напряжение лавинного пробоя p - n -перехода? Чем это объясняется?

Третий уровень

1. Как устроен полупроводниковый стабилитрон? Для чего он используется?
2. Как экспериментально определяется температурный коэффициент напряжения стабилитрона? Каков физический смысл этой характеристики?
3. Изобразите энергетическую диаграмму p – n -перехода и объясните механизм и особенности туннельного пробоя.
4. Изобразите энергетическую диаграмму p – n -перехода и объясните механизм и особенности лавинного пробоя.
5. Как определить вид пробоя в исследуемом стабилитроне? Можно ли всегда дать однозначный ответ?

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Вопросы для защиты лабораторной работы № 40 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА.....	4
Вопросы для защиты лабораторной работы № 41 ЭФФЕКТ ХОЛЛА В ПРИМЕСНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ	6
Вопросы для защиты лабораторной работы № 42 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФОТОРЕЗИСТОРА	8
Вопросы для защиты лабораторной работы № 43 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОРЕЗИСТОРА	9
Вопросы для защиты лабораторной работы № 44 ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА	11
Вопросы для защиты лабораторной работы № 48 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБОЯ p - n -ПЕРЕХОДА	14

ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ

Методические указания

Редактор *Н.А. Лукашова*
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Корректор *Л.Н. Кинит*
Компьютерная верстка *Н.М. Шуваева*

Подписано в печать 30.12.2010. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная
Тираж 200 экз. Уч.-изд. л. 0,93. Печ. л. 1,0. Изд. № 338. Заказ №
Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

№ 3943

53

Ф 503

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ

Методические указания

**НОВОСИБИРСК
2010**