

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Микро- и наноэлектроника»

## **ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

по дисциплине

**Б1.О.25 \_«Физические основы микро- и наноэлектроники»**

Направление подготовки

11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Уровень подготовки

Академический бакалавриат

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2023 г

**Оценочные материалы** – это совокупность учебно-методических материалов (контрольных заданий, описаний форм и процедур), предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной профессиональной образовательной программы.

**Цель** – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций обучающихся целям и требованиям основной профессиональной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

**Основная задача** – обеспечить оценку уровня сформированности общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций, приобретаемых обучающимися в соответствии с этими требованиями.

ОПК-1.1 - демонстрирует знание фундаментальных законов природы и основных физических и математических законов;

ОПК-1.2 - применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.

**Контроль знаний** проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретенных обучающимися в ходе выполнения индивидуальных заданий на лабораторных работах. При оценивании результатов освоения лабораторных работ применяется шкала оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ и их тематика определена рабочей программой дисциплины, утвержденной заведующим кафедрой.

Результат выполнения каждого индивидуального задания должен соответствовать всем критериям оценки в соответствии с компетенциями, установленного для заданного раздела дисциплины.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением экзамена. Форма проведения экзамена – устный ответ по утвержденным экзаменационным билетам, сформулированным с учетом содержания учебной дисциплины. В экзаменационный билет включаются два теоретических вопроса. В процессе подготовки к устному ответу экзаменуемый может составить в письменном виде план ответа, включающий в себя определения, выводы формул, рисунки и т.п.

### ***Паспорт оценочных материалов по дисциплине***

| №<br>п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины         | Код<br>контролируемой<br>компетенции<br>(или её части) | Вид, метод,<br>форма<br>оценочного<br>мероприятия |
|----------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1        | Введение                                         | ОПК-1.1                                                | экзамен                                           |
| 2        | Основные приближения зонной теории твердого тела | ОПК-1.1, ОПК-1.2                                       | экзамен                                           |
| 3        | Собственные и примесные полупроводники           | ОПК-1.1, ОПК-1.2                                       | экзамен                                           |
| 4        | Кинетические явления в твердых телах             | ОПК-1.1, ОПК-1.2                                       | экзамен                                           |
| 5        | Процессы переноса в металлах                     | ОПК-1.1, ОПК-1.2                                       | экзамен                                           |
| 6        | Кинетические явления в полупроводниках           | ОПК-1.1, ОПК-                                          | экзамен                                           |

|    |                                                    |                  |         |
|----|----------------------------------------------------|------------------|---------|
|    |                                                    | 1.2              |         |
| 7  | Оптические явления в твердых телах                 | ОПК-1.1, ОПК-1.2 | экзамен |
| 8  | Явления в сильных электрических полях              | ОПК-1.1, ОПК-1.2 | экзамен |
| 9  | Контактные и поверхностные явления в твердых телах | ОПК-1.1, ОПК-1.2 | экзамен |
| 10 | Сверхпроводимость                                  | ОПК-1.1, ОПК-1.2 | экзамен |
| 11 | Неупорядоченные твердые тела                       | ОПК-1.1, ОПК-1.2 | экзамен |
| 12 | Особенности жидкого состояния вещества             | ОПК-1.1, ОПК-1.2 | экзамен |
| 13 | Вещества, сочетающие порядок и беспорядок          | ОПК-1.1, ОПК-1.2 | экзамен |
| 14 | Нanomатериалы и нанотехнологии                     | ОПК-1.1, ОПК-1.2 | экзамен |
| 15 | Заключение                                         | ОПК-1.1, ОПК-1.2 | экзамен |

### ***Шкала оценки сформированности компетенций***

В процессе оценки сформированности знаний, умений и навыков обучающегося по дисциплине, производимой на этапе промежуточной аттестации в форме экзамена, используется балльная оценочная шкала:

**«Отлично»** заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умения свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется обучающимся, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

**«Хорошо»** заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется обучающимся, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способный к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

**«Удовлетворительно»** заслуживает обучающийся, обнаруживший знание учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется обучающимся, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающих необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

**«Неудовлетворительно»** выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающимся, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### ***Типовые контрольные задания или иные материалы***

#### ***Примеры контрольных вопросов к лабораторным занятиям по дисциплине***

*Определение холловской подвижности и концентрации основных носителей заряда в полупроводниках:*

1. Объясните физическую природу эффекта Холла. Получите выражение для холловской разности потенциалов.
2. Покажите траектории движения электрона и дырки в кристалле при воздействии на него ортогонально направленных электрического и магнитных полей.
3. Расскажите о достоинствах и недостатках рассмотренного метода исследования эффекта Холла.
4. Как учитывается дрейфовая скорость при определении холловской ЭДС в вырожденных и невырожденных полупроводниках? При ответе используйте соответствующие функции распределения.
5. Как изменяется постоянная Холла в полупроводниках р–типа с ростом температуры?
6. Каковы основные области применения эффекта Холла?

*Определение диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках:*

1. Поясните, какие носители заряда являются основными, неосновными, равновесными и неравновесными?
2. Напишите уравнение непрерывности. Объясните возможные механизмы изменения концентрации неравновесных носителей заряда.
3. Расскажите о существующих механизмах рекомбинации носителей заряда.
4. Сделайте вывод уравнения Эйнштейна.
5. Поясните физический принцип определения диффузионной длины и времени жизни неосновных, неравновесных носителей заряда.
6. Выведите выражение для диффузионной длины неравновесных носителей заряда. Поясните графиком, дайте определение диффузионной длины.

*Изучение германиевых и кремниевых плоскостных диодов:*

1. Какие процессы наблюдаются при контакте двух полупроводников с различным типом проводимости? Поясните ответ рисунками.
2. Расскажите о контакте металла с полупроводником.
3. Сделайте вывод выражения для толщины слоя ОПЗ.
4. Как влияет внешнее поле на состояние р–п–перехода? Поясните ответ с помощью зонных диаграмм контактов.
5. Что такое барьерная емкость р–п–перехода? Как она зависит от приложенного внешнего поля?
6. Расскажите о физической природе прямого и обратного токов.

7. Объясните экспериментально полученную зависимость прямого и обратного токов от температуры.

### **Примеры типовых тестовых заданий для самостоятельной работы**

Тема: Диодная и диффузионная теории выпрямления на контакте металл – полупроводник:

1. Физическим барьерным слоем (барьером Шоттки) называется запирающий слой, толщина которого:

- определяется только разностью работ выхода контактирующих материалов ( $eV_k = W_m - W_n$ );
- определяется только концентрацией свободных носителей зарядов в полупроводнике ( $n_0$ );
- определяется только электрофизическими параметрами контактирующих материалов ( $V_k, n_0, \epsilon$ ) и не зависит от величины внешнего приложенного напряжения ( $V_{внеш}$ );
- определяется электрофизическими параметрами контактирующих материалов ( $V_k, n_0, \epsilon$ ) и зависит от величины внешнего приложенного напряжения ( $V_{внеш}$ ).

2. Химическим барьерным слоем (барьером Мотта) называется запирающий слой, который представляет собой:

- слой иного состава, отличающийся высокой концентрацией свободных носителей заряда;
- слой иного состава, отличающийся низкой концентрацией свободных носителей заряда;
- поверхностный слой полупроводника, отличающийся более высокой концентрацией свободных носителей заряда по сравнению с объемом;
- поверхностный слой полупроводника, отличающийся более низкой концентрацией свободных носителей заряда по сравнению с объемом.

3. Тонким запирающим (барьерным) слоем называют слой, толщина которого:

- много больше длины свободного пробега носителей зарядов;
- не больше длины свободного пробега носителей зарядов;
- не меньше длины свободного пробега носителей зарядов;
- много меньше длины свободного пробега носителей зарядов.

4. Тонкий запирающий слой можно рассматривать подобно:

- слою твердого диэлектрика между токоведущими частями;
- слою жидкого диэлектрика в электролитическом конденсаторе;
- воздушному зазору между электродами плоского конденсатора;
- вакуумному зазору между электродами электронной лампы.

5. Плотность тока из полупроводника в металл  $j_{n-m}$  для тонкого запирающего слоя можно определять как:

- перенос носителей заряда за счет процессов генерации и рекомбинации в ОПЗ;
- пролет носителей заряда через ОПЗ под действием сил зеркального изображения;
- дрейф носителей заряда за счет контактной разности потенциалов;
- плотность тока термоэлектронной эмиссии.

6. ВАХ контакта металл – полупроводник по диодной теории описывается формулой:

- $j = j_s[\exp(eV/kT)-1]$ ;
- $j = j_s[\exp(eV/2kT)-1]$ ;
- $j = j_s[\exp(-eV/kT)-1]$ ;
- $j = j_s[\exp(-eV/2kT)-1]$ .

7. Плотность тока насыщения  $j_s$  в тонком запирающем слое можно определить:

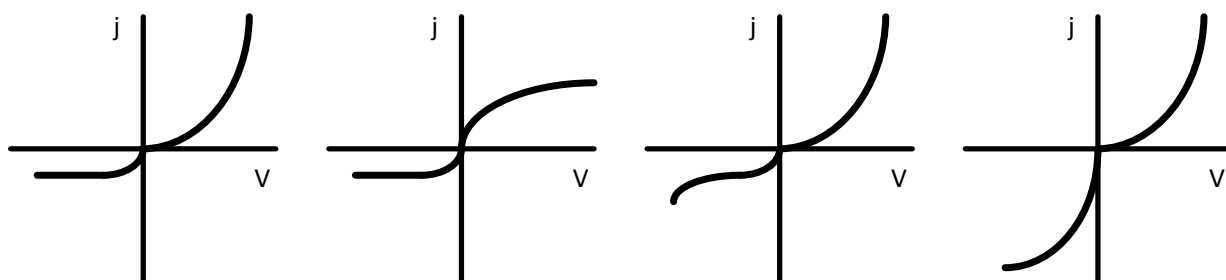
- как разность тока из металла в полупроводник  $j_m$  и из полупроводника в металл  $j_n$  при  $V > 0$ ;
- как разность тока из металла в полупроводник  $j_m$  и из полупроводника в металл  $j_n$  при  $V < 0$ ;
- как сумму токов из металла в полупроводник  $j_m$  и из полупроводника в металл  $j_n$  при  $V = 0$ ;

- из условия равенства токов из металла в полупроводник  $j_m$  и из полупроводника в металл  $j_n$  при  $V = 0$ .

8. На выпрямляющие свойства тонкого запирающего слоя не влияют:

- состояние поверхности полупроводника;
- силы зеркального изображения;
- время максвелловской релаксации заряда;
- концентрация глубоких уровней в запрещенной зоне (дефектов кристаллической решетки).

9. Выберите ВАХ, соответствующую тонкому запирающему слою (диодной теории выпрямления):



10. Толстым запирающим (барьерным) слоем называют слой, толщина которого:

- значительно больше длины свободного пробега носителей зарядов;
- соизмерима с длиной свободного пробега носителей зарядов;
- значительно меньше длины свободного пробега носителей зарядов;
- никак не связана с длиной свободного пробега носителей зарядов.

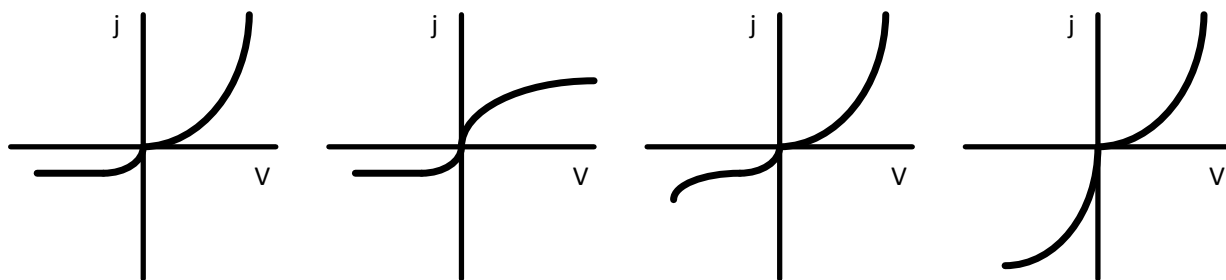
11. При расчете плотности тока через толстый запирающий слой необходимо учитывать:

- только дрейфовую составляющую тока;
- только диффузионную составляющую тока;
- как дрейфовую, так и диффузионную составляющие тока;
- ток термоэлектронной эмиссии.

12. Плотность тока насыщения  $j_s$  в толстом запирающем слое:

- никак не зависит от величины внешнего напряжения;
- зависит от величины внешнего напряжения только при прямом включении ( $V > 0$ );
- зависит от величины внешнего напряжения только при обратном включении ( $V < 0$ );
- зависит от величины внешнего напряжения при любом включении.

13. Выберите ВАХ, соответствующую толстому запирающему слою (диффузионной теории выпрямления):



14. Реальным физическим процессам, протекающим на контакте металл – полупроводник, больше соответствует:

- диодная теория выпрямления;
- диффузионная теория выпрямления;
- диодная или диффузионная теория выпрямления в зависимости от характеристик контакта;
- ни одна из теорий не соответствует в полной мере.

*Тема: Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках:*

1. Собственное (фундаментальное) поглощение света в полупроводнике соответствует:

- переходу электрона с примесного уровня в запрещенной зоне в зону проводимости;
- переходу электрона из валентной зоны в зону проводимости;
- переходу электрона из валентной зоны с образованием связанной с ним дырки без перехода в зону проводимости;
- переходу электрона внутри зоны проводимости на более высокий энергетический уровень.

2. Красная граница фотоэффекта - это:

- минимальная частота  $\nu_{\min}$  фотона света, необходимая для возникновения фотоэффекта;
- максимальная частота  $\nu_{\max}$  фотона света, необходимая для возникновения фотоэффекта;
- минимальная длина волны  $\lambda_{\min}$  фотона света, необходимая для возникновения фотоэффекта;
- максимальная энергия  $h\nu_{\max}$  фотона света, необходимая для возникновения фотоэффекта.

3. В процессе поглощения света в твердом теле выполняются:

- только закон сохранения энергии;
- только закон сохранения импульса;
- одновременно и закон сохранения энергии и закон сохранения импульса;
- ни закон сохранения энергии, ни закон сохранения импульса.

4. Выражение, связывающее между собой интенсивность падающего света  $I$ , интенсивность поглощенного света  $dI$  при прохождении лучом пути  $dx$  и коэффициент поглощения  $\alpha$ , записывается следующим образом:

- $dI = \ln(\alpha I dx)$ ;
- $dI = \exp(-\alpha I dx)$ ;
- $dI = \alpha I dx$ ;
- $dI = -\alpha I dx$ .

5. Оптическая ширина запрещенной зоны полупроводника не зависит от:

- температуры;
- давления;
- длины волны падающего света;
- концентрации носителей заряда.

6. Полоса поглощения, связанная с ионизацией примесных центров в полупроводнике, относительно полосы собственного поглощения:

- сдвинута в сторону длинных волн;
- сдвинута в сторону коротких волн;
- совпадает с полосой собственного поглощения;
- соответствует фотонам с более высокой энергией.

7. При экситонном поглощении в твердом теле возникает система из:

- свободного электрона и неподвижной дырки;
- свободной дырки и неподвижного электрона;
- связанных между собой электрона и дырки, способной перемещаться по кристаллу;

- связанных между собой электрона и дырки, участвующих в электропроводности.

8. При поглощении света свободными носителями заряда:

- только электроны могут переходить на более высокие уровни в зоне проводимости;
- только дырки могут переходить на более высокие энергетические уровни в валентной зоне;
- оба типа носителей могут переходить на более высокие энергетические уровни за пределы своих зон;
- оба типа носителей могут переходить на более высокие энергетические уровни в пределах своих зон.

9. Поглощение света кристаллической решеткой связано с:

- с изменением энергии колебаний атомов кристаллической решетки;
- с разрывом ковалентных связей между атомами кристаллической решетки;
- с ионизацией примесных атомов в кристаллической решетке;
- с "разогревом" электронно-дырочного газа в кристаллической решетке.

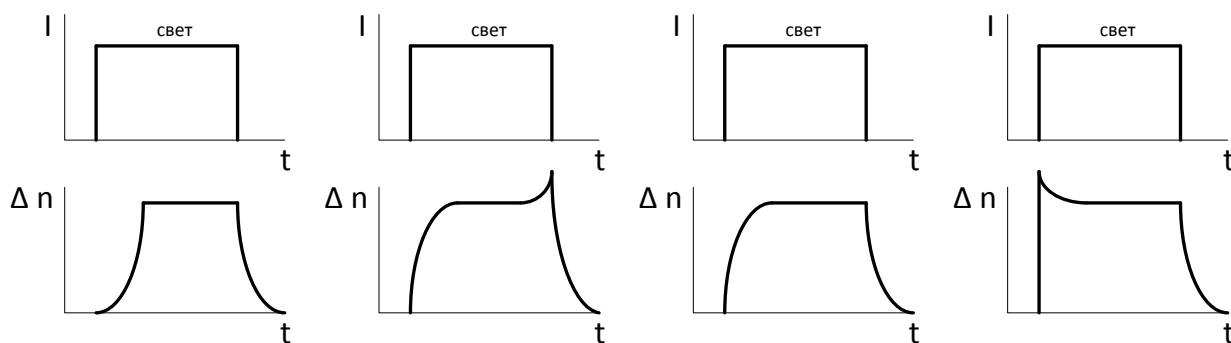
10. Укажите неверное утверждение:

- внутренний фотоэффект в полупроводниках связан с генерацией свободных носителей заряда;
- внутренний фотоэффект в полупроводниках связан с эмиссией электронов за пределы кристалла;
- внутренний фотоэффект в полупроводниках связан с возникновением фотопроводимости;
- внутренний фотоэффект в полупроводниках связан с уменьшением удельного сопротивления.

11. Квантовый выход фотоэффекта в случае собственного поглощения при монохроматическом освещении - это:

- отношение числа сгенерированных электрон-дырочных пар к энергии падающих фотонов;
- отношение числа сгенерированных электрон-дырочных пар к длине волны падающих фотонов;
- отношение числа сгенерированных электрон-дырочных пар к частоте падающих фотонов;
- отношение числа сгенерированных электрон-дырочных пар к числу падающих фотонов.

12. Релаксация фотопроводимости характеризует переходные процессы после включения и выключения освещения. Укажите правильный вариант зависимости избыточной концентрации от времени после включения и выключения света:



13. Влияние поверхностной рекомбинации на фотопроводимость больше:

- в инфракрасной области спектра;
- в видимой области спектра;
- в ультрафиолетовой области спектра;
- не зависит от длины волны падающего излучения.

14. Вентильная фото-ЭДС заключается в:

- увеличении контактной разности р-п перехода при освещении;
- понижении контактной разности р-п перехода при освещении;
- уменьшении плотности тока основных носителей заряда через р-п перехода при освещении;
- уменьшении плотности тока неосновных носителей заряда через р-п перехода при освещении.

15. Фото-ЭДС в полупроводниках не может быть использована:

- в качестве источника энергии в фотоэлектрических преобразователях;
- в детекторах ИК, видимого и УФ излучения;
- в детекторах высокоэнергетического электромагнитного излучения (рентгеновское,  $\gamma$ -излучение);
- в детекторах низкоэнергетического электромагнитного излучения (радиодиапазон).

*Тема: Тепловые свойства твердых тел:*

1. Атомы (молекулы, ионы) в твердом теле:

- находятся в узлах кристаллической решетки и неподвижны;
- находятся в узлах кристаллической решетки и совершают колебания около положения своего равновесия;
- непрерывно перемешаются (перескакивают) из одного положения равновесия в другое;
- находятся в состоянии хаотического теплового движения.

2. Колебание, возникшее у одной частицы, немедленно передается соседним частицам, и в кристалле возбуждается коллективное движение из-за:

- сил электростатического взаимодействия;
- сил межатомного взаимодействия;
- сил электромагнитного взаимодействия;
- сил гравитационного взаимодействия.

3. Нормальные колебания кристаллической решетки – это:

- вибрация твердого тела с определенной частотой;
- движение отдельных групп частиц в виде упругой волны;
- движение отдельных частиц в виде совокупности синусоидальных волн;
- коллективное движение частиц в виде совокупности синусоидальных волн.

4. В колебательной системе, состоящей из  $N$  атомов, обладающих тремя степенями свободы каждый, можно возбудить:

- $3N$  нормальных колебаний;
- $3^N$  нормальных колебаний;
- $N^3$  нормальных колебаний;
- $3^{3N-1}$  нормальных колебаний.

5. Одномерная модель твердого тела – это:

- линейная цепочка атомов, находящихся на расстоянии  $a$  друг от друга;
- моноатомная плоскость, состоящая из элементарных ячеек площадью  $a^2$ ;
- идеальная пространственная кристаллическая решетка;
- реальная пространственная кристаллическая решетка с дефектами.

6. Линейная цепочка состоит из  $N$  атомов, находящихся на расстоянии  $a$  друг от друга. При этом максимальная длина волны  $\lambda_{max}$  равна:

- $\lambda_{max} = (N+1) \cdot a$ ;
- $\lambda_{max} = N \cdot a$ ;
- $\lambda_{max} = 2N \cdot a$ ;
- $\lambda_{max} = 2(N-1) \cdot a$ .

7. Линейная цепочка состоит из  $N$  атомов, находящихся на расстоянии  $a$  друг от друга. При этом минимальная длина волны  $\lambda_{min}$  равна:

- $\lambda_{min} = Na/2$ ;
- $\lambda_{min} = 2a$ ;
- $\lambda_{min} = a/2$ ;
- $\lambda_{min} = a^2/N$ .

8. Для твердых тел с дискретной структурой имеет место явление *дисперсии*, которое представляет собой:

- независимость скорости распространения колебаний от длины волны;
- зависимость скорости распространения колебаний от длины волны;
- независимость частоты колебаний от длины волны;
- зависимость частоты колебаний от длины волны.

9. Дисперсионная кривая - это:

- зависимость частоты колебания  $\omega$  от межатомного расстояния  $a$ ;
- зависимость частоты колебания  $\omega$  от волнового вектора  $q$  (длины волны  $\lambda$ );
- зависимость длины волны  $\lambda$  от фазовой скорости  $v$  распространения колебаний;
- зависимость длины волны  $\lambda$  от волнового вектора  $q$ .

10. Акустические колебания можно представить как:

- нормальные колебания одномерной цепочки, состоящих из атомов двух разных типов, которые совершают колебания в противоположной фазе;
- нормальные колебания одномерной цепочки из одинаковых атомов, которые совершают колебания в противоположной фазе;
- нормальные колебания одномерной цепочки, состоящих из атомов двух разных типов, которые совершают колебания в одной фазе;
- нормальные колебания одномерной цепочки из одинаковых атомов, которые совершают колебания в одной фазе.

11. Оптические колебания можно представить как:

- нормальные колебания одномерной цепочки, состоящих из атомов двух разных типов, которые совершают колебания в противоположной фазе;
- нормальные колебания одномерной цепочки из одинаковых атомов, которые совершают синхронные колебания;
- нормальные колебания одномерной цепочки, состоящих из атомов двух разных типов, которые совершают колебания в одной фазе;
- нормальные колебания одномерной цепочки из одинаковых атомов, которые совершают колебания в одной фазе.

12. Каждое из нормальных колебаний решетки может иметь только дискретное значение энергии, которое на частоте  $\omega$  равна:

- $E_n = (n/2)\hbar\omega, n = 0, 1, 2, \dots$ ;
- $E_n = (n-1/2)\hbar\omega, n = 0, 1, 2, \dots$ ;
- $E_n = (n+1/2)\hbar\omega, n = 0, 1, 2, \dots$ ;
- $E_n = (2n-1)\hbar\omega, n = 0, 1, 2, \dots$ .

13. Минимальная порция энергии, которую может поглотить или испустить решетка при тепловых колебаниях с частотой  $\omega$ , равна:

- $E = \hbar\omega/kT$ ;
- $E = \hbar\omega/2kT$ ;

- $E = \hbar\omega$ ;
- $E = \hbar\omega/2$ .

14. Фонон – это:

- порция потенциальной энергии взаимодействия частиц в кристаллической решетке;
- порция кинетической энергии частицы в узле кристаллической решетки;
- квант энергии электромагнитных колебаний кристаллической решетки;
- квант энергии тепловых колебаний кристаллической решетки.

15. Распределение фононов по энергиям описывается функцией:

- Максвелла-Больцмана;
- Ферми-Дирака;
- Бозе-Эйнштейна;
- Шредингера.

Тема: Эффект Холла:

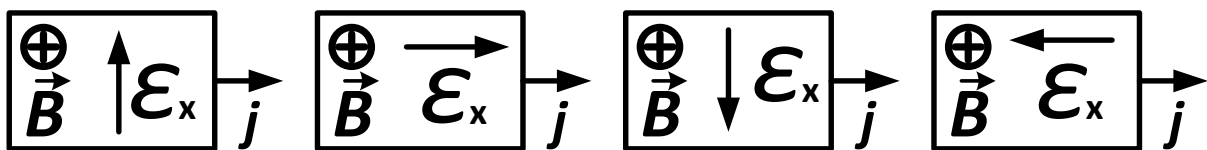
1. Эффект Холла относится:

- к контактным явлениям;
- к гальваномагнитным явлениям;
- к термоэлектрическим явлениям;
- к фотоэлектрическим явлениям.

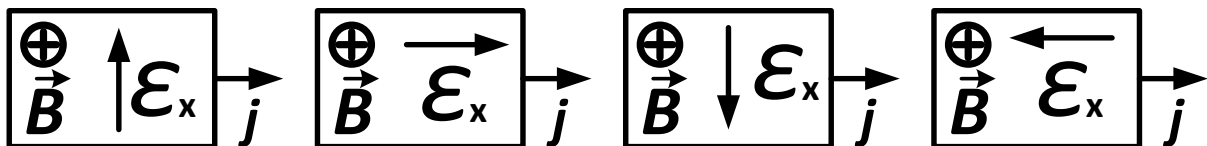
2. Эффект Холла заключается:

- в возникновении ЭДС при пропускании через образец переменного электрического тока в отсутствие внешнего магнитного поля;
- в возникновении дополнительной ЭДС в направлении внешнего электрического поля при воздействии на образец переменного магнитного поля;
- в возникновении ЭДС в направлении, перпендикулярном току, при помещении образца в поперечное магнитное поле;
- в возникновении ЭДС в цепи, состоящей из двух различных твердых тел, при наличии разности температур спаев.

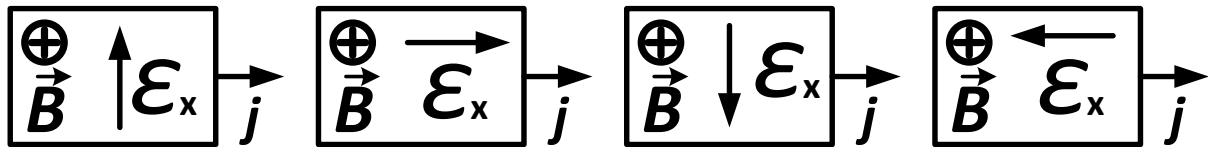
3. Укажите направление ЭДС Холла в полупроводнике n-типа:



4. Укажите направление ЭДС Холла в полупроводнике p-типа:



5. Укажите направление ЭДС Холла в собственном полупроводнике:



6. Величина ЭДС Холла в конкретном образце полупроводника определяется:

- динамическим равновесием силы Лоренца и силы Ампера;
- динамическим равновесием силы Лоренца и силы Кулона;
- динамическим равновесием силы Лоренца и силы зеркального изображения;
- динамическим равновесием силы Лоренца и силы внешнего магнитного поля.

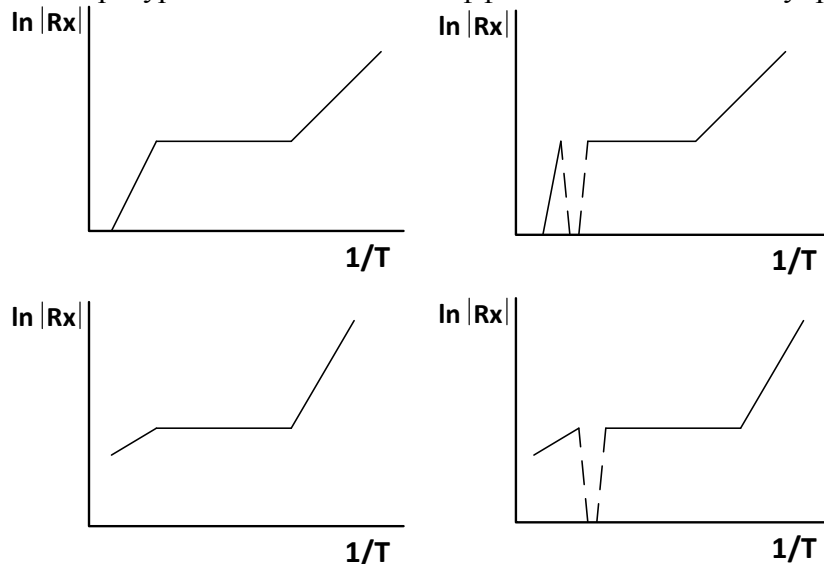
7. Укажите формулу для коэффициента Холла в собственном полупроводнике:

- $R_x = -A/en$ ;
- $R_x = A/ep$ ;
- $R_x = \frac{A}{en_i} \cdot \frac{\mu_p - \mu_n}{\mu_p + \mu_n}$ ;
- $R_x = \frac{A}{e} \cdot \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{(p\mu_p + n\mu_n)^2}$ .

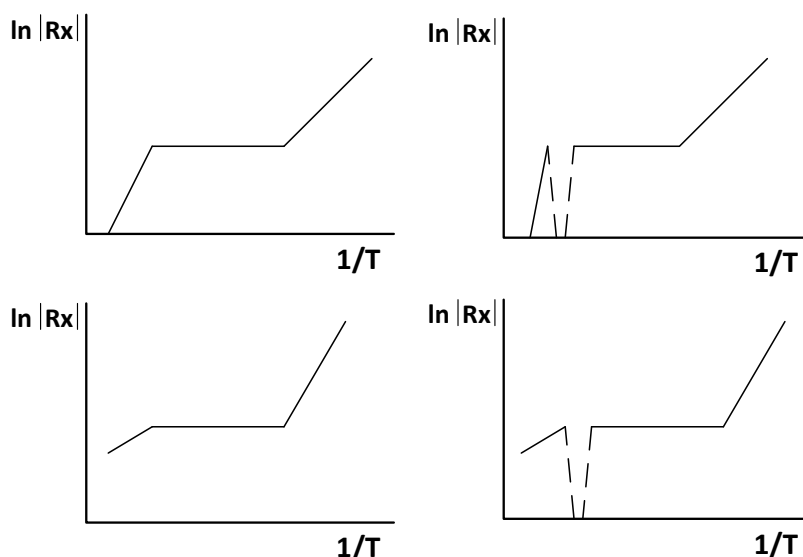
8. Коэффициент «А» в формуле для коэффициента Холла (смотри вопрос 7) учитывает:

- дрейфовую подвижность носителей во внешнем электрическом поле;
- различие в подвижности электронов и дырок;
- рассеяние носителей заряда на тепловых колебаниях решетки (ионизированных примесях);
- температурную зависимость коэффициента Холла.

9. Укажите график температурной зависимости коэффициента Холла в полупроводнике n-типа:



10. Укажите график температурной зависимости коэффициента Холла в полупроводнике p-типа:



11. Что нельзя определить с помощью эффекта Холла:

- концентрацию носителей заряда в полупроводнике;
- индукцию магнитного поля;
- ширину запрещенной зоны полупроводника;
- энергию активации глубоких уровней в полупроводнике.

**Список типовых контрольных вопросов экзамену по дисциплине:**

1. Классификация конденсированных сред (материалов) по агрегатному состоянию.
2. Классификация конденсированных сред (материалов) по структуре.
3. Основные типы химических связей в конденсированных средах (материалах).
4. Классификация конденсированных сред (материалов) по электрическим свойствам.
5. Диэлектрики. Электропроводность диэлектриков.
6. Полупроводники. Электропроводность полупроводников.
7. Связь электрических свойств с типом структуры и видом химической связи в конденсированных средах (материалах).
8. Основные свойства и параметры монокристаллов. Простые решетки.
9. Основные свойства и параметры монокристаллов. Решетки с базисом.
10. Метод кристаллографического индирования. Индексы узлов, направлений и плоскостей.
11. Дефекты монокристаллов. Дефекты по Френкелю и по Шоттки.
12. Дефекты монокристаллов. Линейные дефекты.
13. Дефекты монокристаллов. Поверхностные дефекты.
14. Основные особенности и принципы квантовой механики. Волны де Бройля. Формула для энергии и длины волны.
15. Основные особенности и принципы квантовой механики. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
16. Свойства волновой функции микрочастицы. Применение уравнения Шредингера к описанию движения свободной микрочастицы. Закон дисперсии.
17. Свойства волновой функции микрочастицы. Квантовые числа электрона.
18. Элементы зонной теории твердого тела. Образование разрешенных и запрещенных энергетических зон твердого тела.
19. Эффективная масса микрочастицы.
20. Вырожденные и невырожденные коллективы микрочастиц. Функции распределения.
21. Вырожденные и невырожденные коллективы микрочастиц. Обобщенная функция распределения.
22. Невырожденные полупроводники. Расчет равновесной концентрации носителей заряда в собственных полупроводниках.

23. Невырожденные полупроводники. Расчет равновесной концентрации носителей заряда в донорных полупроводниках.
24. Невырожденные полупроводники. Расчет равновесной концентрации носителей заряда в акцепторных полупроводниках.
25. Собственные полупроводники. Электронейтральность в полупроводниках.
26. Донорные полупроводники. Электронейтральность в полупроводниках.
27. Акцепторные полупроводники. Электронейтральность в полупроводниках.
28. Компенсированные полупроводники. Электронейтральность в полупроводниках.
29. Основные и неосновные носители заряда. Закон действующих масс.
30. Равновесные и неравновесные носители заряда в полупроводниках. Квазиуровни Ферми.
31. Равновесные и неравновесные носители заряда в полупроводниках. Время жизни неравновесных носителей.
32. Виды рекомбинации носителей заряда в полупроводниках. Время жизни носителей заряда.
33. Диффузионное уравнение.
34. Уравнение Эйнштейна.
35. Тепловые свойства твердых тел. Понятие о нормальных колебаниях кристаллической решетки. Понятие о фононах.
36. Термоэлектрические явления (Зеебека, Пельтье, Томсона).
37. Эффект Холла.
38. Максвелловская релаксация в полупроводниках и диэлектриках.
39. Дебаевская длина экранирования.
40. Контактные явления. Термодинамическая работа выхода.
41. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов.
42. Контакт металл – полупроводник.
43. Эффект Шоттки.
44. Механизмы переноса заряда через барьер.
45. Диодная теория выпрямления на контакте металл – полупроводник.
46. Диффузионная теория выпрямления на контакте металл – полупроводник.
47. Барьер Мотта.
48. Влияние глубоких центров на параметры ОПЗ.
49. Классическая модель формирования р-п переходов в кристаллических полупроводниках.
50. Барьерная емкость р-п переходов.
51. ВАХ тонкого р-п перехода.
52. Зонные диаграммы р<sup>+</sup>-р, п<sup>+</sup>-п, р-і-п переходов. Гетеропереходы.
53. Свойства реальной поверхности. Поверхностный заряд и его влияние на свойства полупроводника. Быстрые и медленные состояния.
54. Поверхностная проводимость. Эффект поля.
55. Полевые транзисторы с р-п переходом и изолированным затвором.
56. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур.
57. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Фотопроводимость и поглощение света в полупроводниках. Спектральная кривая поглощения.

Составил  
доцент кафедры  
микро- и наноэлектроники

Мишустин В.Г.

Зав. кафедрой микро- и наноэлектроники  
д.ф.-м.н., доцент

Литвинов В.Г.

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО

**ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ**, Литвинов Владимир Георгиевич,  
Заведующий кафедрой МНЭЛ

**25.06.26** 14:52  
(MSK)

Простая подпись