ПРИЛОЖЕНИЕ

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, 2026 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 - использует положения, законы и методы естественных наук для решения задач инженерной деятельности;

ОПК-1.2 - использует положения, законы математики для решения задач инженерной деятельности;

ОПК-2.1 - проводит самостоятельно экспериментальные исследования;

ОПК-2.2 - использует основные приемы обработки и представления полученных данных

**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***

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции (или её части) | Вид, метод, форма оценочного мероприятия |
|---|---|---|---|
| 1 | Введение | ОПК-1.1 | экзамен |
| 2 | Основные приближения зонной теории твердого тела | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 3 | Собственные и примесные полупроводники | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 4 | Кинетические явления в твердых телах | ОПК-1.1, ОПК- | экзамен |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | |
| 5 | Процессы переноса в металлах | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 6 | Кинетические явления в полупроводниках | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 7 | Оптические явления в твердых телах | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 8 | Явления в сильных электрических полях | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 9 | Контактные и поверхностные явления в твердых телах | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 10 | Сверхпроводимость | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 11 | Неупорядоченные твердые тела | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 12 | Особенности жидкого состояния вещества | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 13 | Вещества, сочетающие порядок и беспорядок | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 14 | Наноматериалы и нанотехнологии | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | экзамен |
| 15 | Заключение | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2 | 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 p–n–перехода? Поясните ответ с помощью зонных диаграмм контактов.

5.Что такое барьерная емкость p–n–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 ($eV_к = W_м - W_п$);
- определяется только концентрацией свободных носителей зарядов в полупроводнике ($n_0$);
- определяется только электрофизическими параметрами контактирующих материалов ($V_к$, $n_0$, $\varepsilon$) и не зависит от величины внешнего приложенного напряжения ($V_{внеш}$);
- определяется электрофизическими параметрами контактирующих материалов ($V_к$, $n_0$, $\varepsilon$) 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.

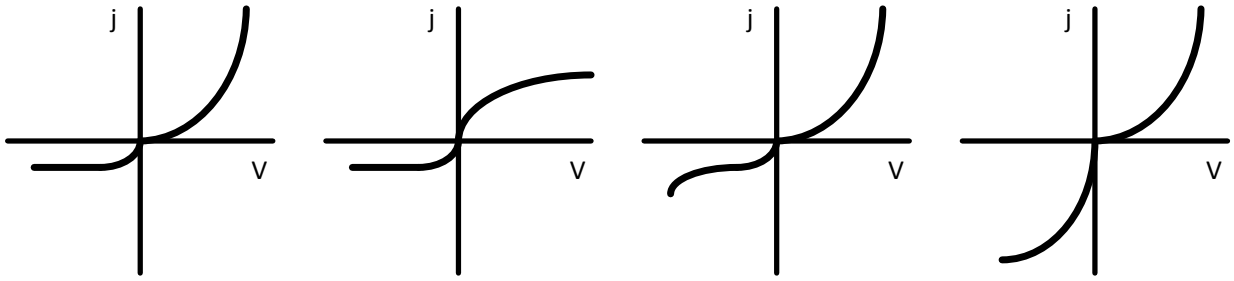
5. Плотность тока из полупроводника в металл $j_{n\text{-}м}$ для тонкого запирающего слоя можно определять как:
- перенос носителей заряда за счет процессов генерации и рекомбинации в ОПЗ;
- пролет носителей заряда через ОПЗ под действием сил зеркального изображения;
- дрейф носителей заряда за счет 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 $j_м$ и из полупроводника в металл $j_n$ при $V > 0$;
- как разность тока из металла в полупроводник $j_м$ и из полупроводника в металл $j_n$ при $V < 0$;
- как сумму токов из металла в полупроводник $j_м$ и из полупроводника в металл $j_n$ при $V = 0$;
- из условия равенства токов из металла в полупроводник $j_м$ 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):



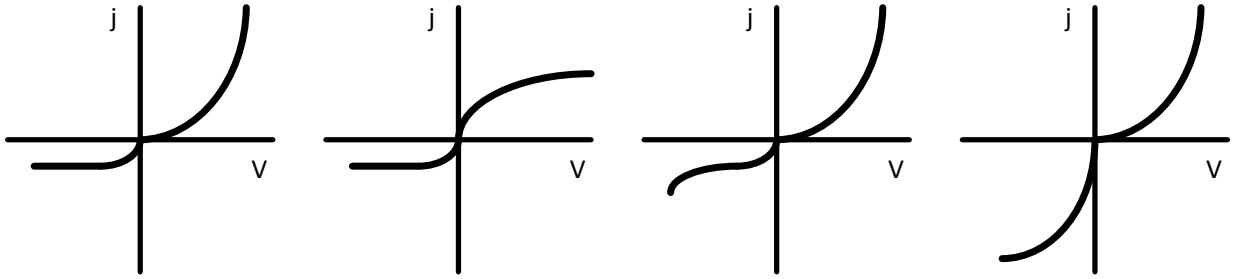

10. Толстым запирающим (барьерным) слоем называют слой, толщина которого:
- значительно больше длины свободного пробега носителей зарядов;
- соизмерима с длиной свободного пробега носителей зарядов;
- значительно меньше длины свободного пробега носителей зарядов;
- никак не связана с длиной свободного 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 ***α***, записывается следующим образом:
- ***dI = ln(αIdx)***;
- ***dI = exp(-αIdx)***;
- ***dI = αIdx***;
- ***dI = -αIdx***.

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.

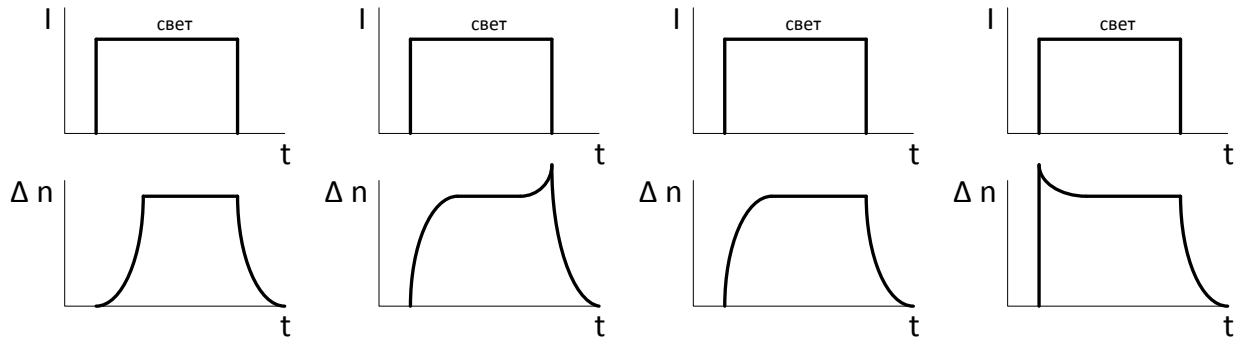
8. При поглощении света свободными носителями заряда:
- только электроны могут переходить на более высокие уровни в зоне проводимости;
- только дырки могут переходить на более высокие энергетические уровни в валентной зоне;
- оба типа носителей могут переходить на более высокие энергетические уровни 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 эмиссий 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 p-n перехода при освещении;
- понижении контактной разности p-n перехода при освещении;
- уменьшении плотности тока основных носителей заряда через p-n перехода при освещении;
- уменьшении плотности тока неосновных носителей заряда через p-n 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, γ-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:
- $E_n = (n/2)\hbar\omega,\ n = 0, 1, 2, \ldots$ ;
- $E_n = (n-1/2)\hbar\omega,\ n = 0, 1, 2, \ldots$ ;
- $E_n = (n+1/2)\hbar\omega,\ n = 0, 1, 2, \ldots$ ;
- $E_n = (2n-1)\hbar\omega,\ n = 0, 1, 2, \ldots$ .

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.

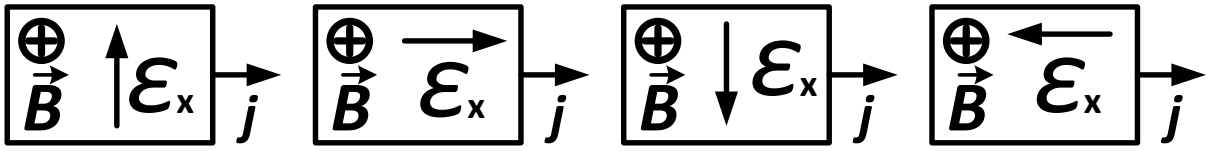
15. Распределение фононов по энергиям описывается функцией:
- Максвелла-Больцмана;
- Ферми-Дирака;
- Бозе-Эйнштейна;
- Шредингера.

*Тема: Эффект Холла:*

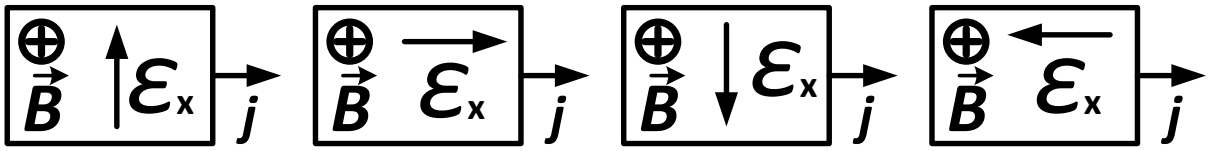
1. Эффект Холла относится:
- к контактным явлениям;
- к гальваномагнитным явлениям;
- к термоэлектрическим явлениям;
- к фотоэлектрическим явлениям.

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.

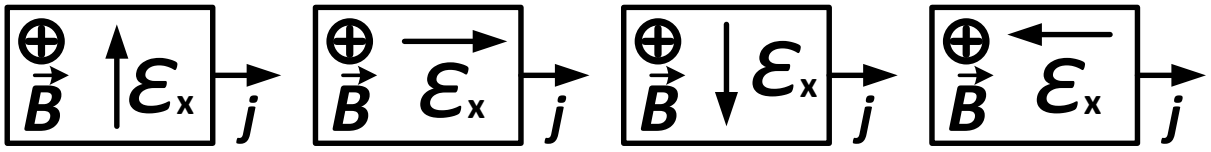
3. Укажите направление ЭДС Холла в полупроводнике n-типа:



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



5. Укажите направление ЭДС Холла в собственном полупроводнике:

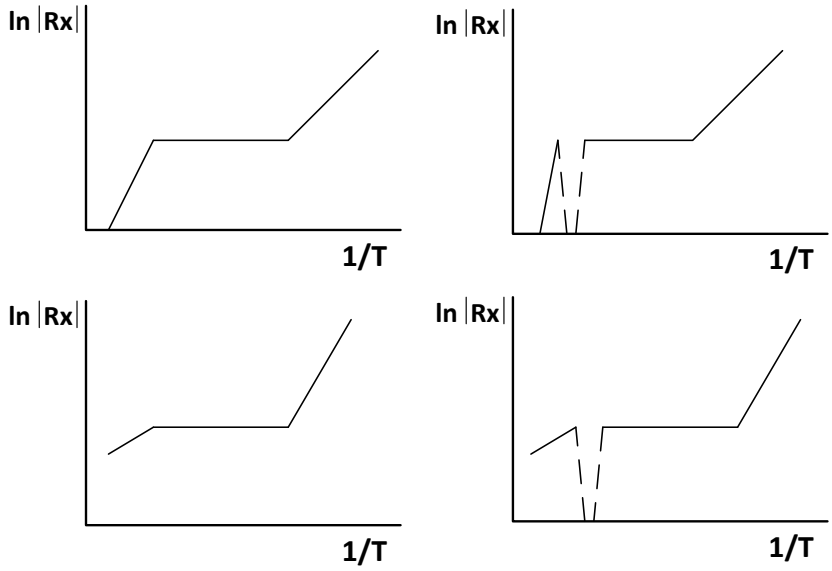


6. Величина ЭДС Холла в конкретном образце полупроводника определяется:
- динамическим равновесием силы Лоренца и силы Ампера;
- динамическим равновесием силы Лоренца и силы Кулона;
- динамическим равновесием силы Лоренца и силы зеркального изображения;
- динамическим равновесием силы Лоренца и силы внешнего магнитного поля.

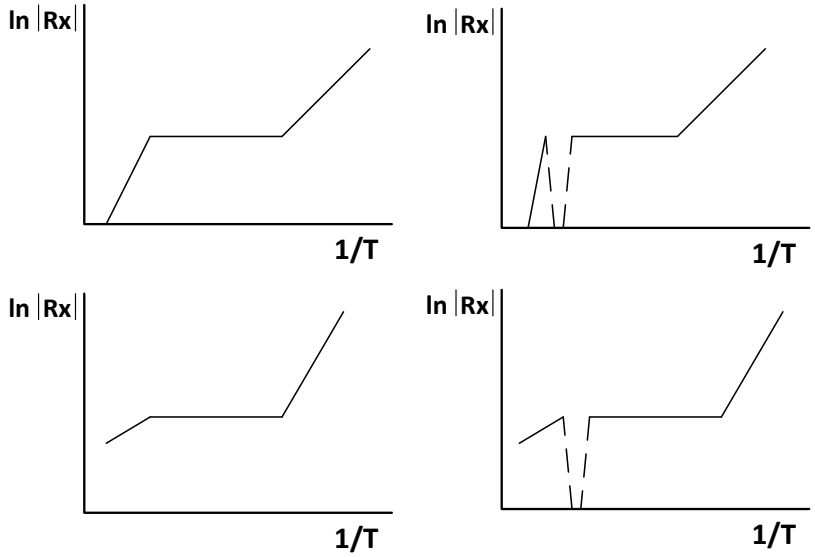
7. Укажите формулу для коэффициента Холла в собственном полупроводнике:
- $R_X = -A/en$;
- $R_X = A/ep$;
- $R_X = \frac{A}{en_i} \cdot \frac{\mu_p - \mu_n}{\mu_p + \mu_n}$;
- $R_X = \frac{A}{e} \cdot \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{(p\mu_p + n\mu_n)^2}$.

8. Коэффициент «A» 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 р-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 индицирования. 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 p-n переходов в кристаллических полупроводниках.
50. Барьерная емкость p-n переходов.
51. ВАХ тонкого p-n перехода.

52. Зонные диаграммы p+-p, n+-n, p-i-n 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 p-n 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 **03.11.26** 18:24 (MSK) Простая подпись