

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.22 _«Физические основы микро- и наноэлектроники»

Направление подготовки

03.03.01 «Прикладные математика и физика»

Уровень подготовки

Академический бакалавриат

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2025 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 - применяет фундаментальные знания, полученные в области физико-математических наук и использует их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;

ОПК-1.2 - применяет фундаментальные знания, полученные в области естественных наук, и использует их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.

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	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-	экзамен

		1.2	
6	Кинетические явления в полупроводниках	ОПК-1.1, ОПК-1.2	экзамен
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 , ϵ) и не зависит от величины внешнего приложенного напряжения ($V_{внеш}$);
- определяется электрофизическими параметрами контактирующих материалов (V_K , n_0 , ϵ) 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 $j_{п-м}$ 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:

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

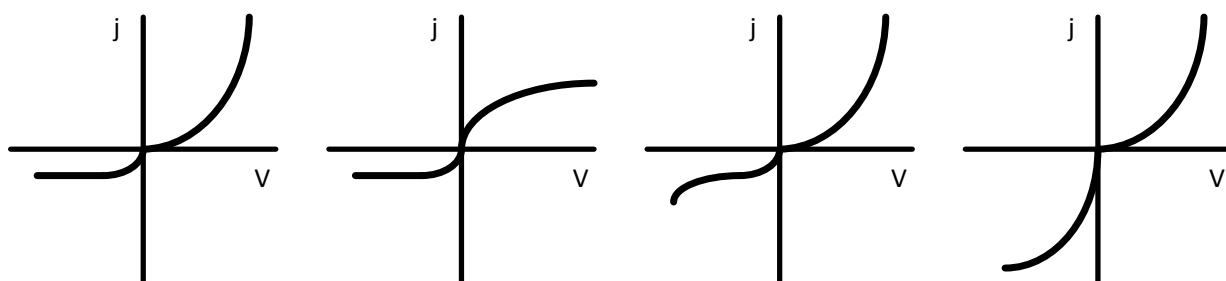
7. Плотность тока насыщения j_s в тонком запирающем слое можно определить:

- как разность тока из металла в полупроводник j_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.

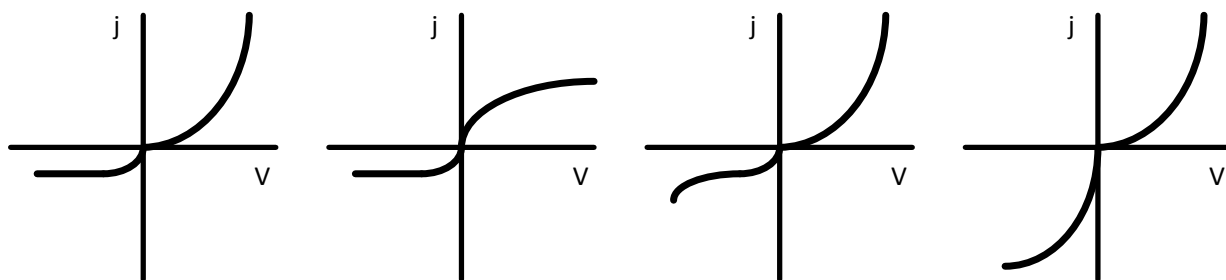
11. При расчете плотности тока через толстый запирающий слой необходимо учитывать:

- 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 α , 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.

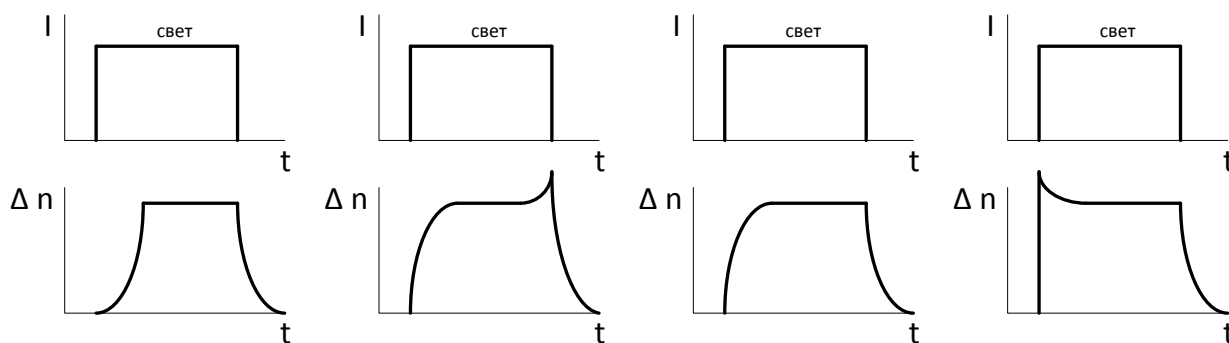
10. Укажите неверное утверждение:

- 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 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 λ_{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 λ_{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 ω от межатомного расстояния a ;
- зависимость частоты колебания ω от волнового вектора q (длины волны λ);
- зависимость длины волны λ от фазовой скорости v распространения колебаний;
- зависимость длины волны λ 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 ω равно:

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

13. Минимальная порция энергии, которую может поглотить или испустить решетка при тепловых колебаниях с частотой ω , 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:

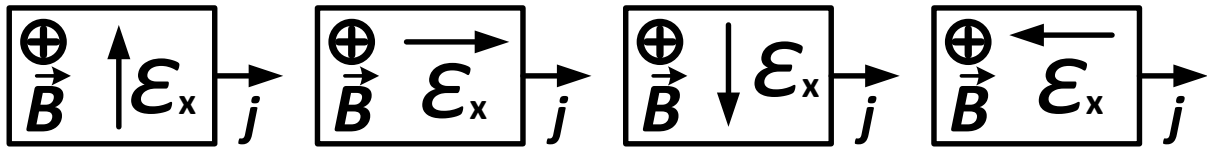
1. Эффект Холла относится:

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

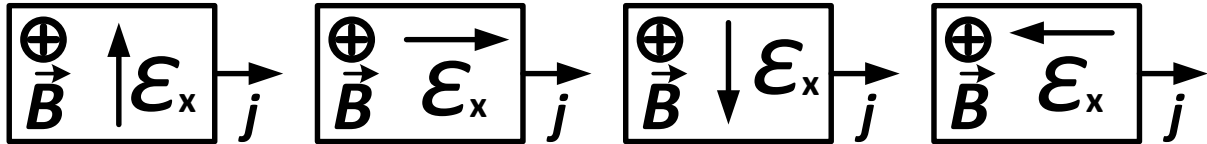
2. Эффект Холла заключается:

- 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.

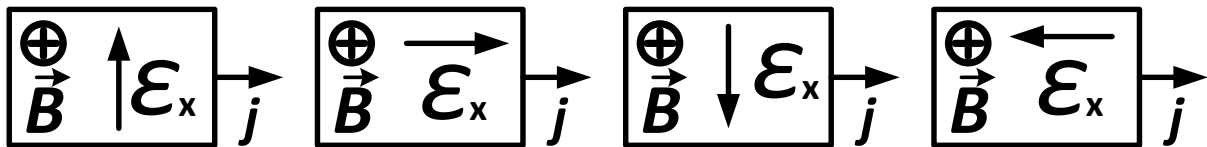
3. Укажите направление ЭДС Холла в полупроводнике n-типа:



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.

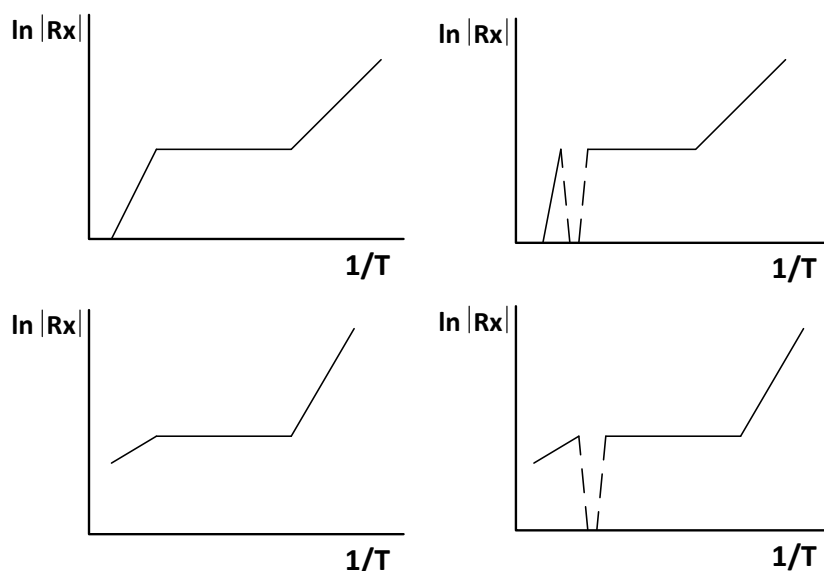
7. Укажите формулу для коэффициента Холла в собственном полупроводнике:

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

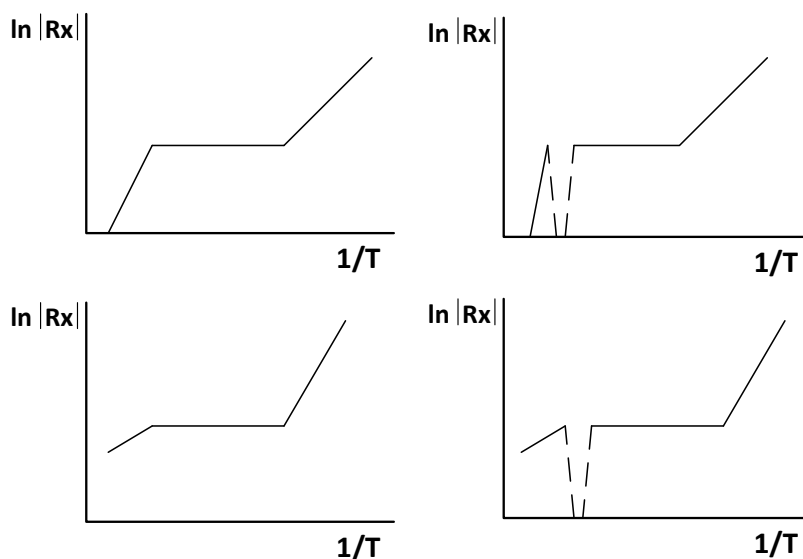
8. Коэффициент «А» в формуле для коэффициента Холла (смотри вопрос 7) учитывает:

- 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 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 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 p^+-p , p^+-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 нанoeлектроники

Мишустин В.Г.

Зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники
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

08.07.26 13:00
(MSK)

Простая подпись