Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра общей физики

Паспорт зачета

по дисциплине «Физические основы электроники», 4 семестр

1. **Структура зачета**
   Проводится в форме письменного тестирования с использованием электронной информационно-образовательной среда НГТУ (http:// www.nstu.ru/sveden/eos)
2. **Методика оценки**

Зачет проводится в письменной форме:

- выполнение тестовых заданий с использованием электронной информационно-образовательной среды НГТУ (http:// www.nstu.ru/sveden/eos). Тест состоит из 30 вопросов различного вида, варианты теста составляются из вопросов общего перечня (п. 5).

В ходе зачета преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 5).

Таким образом, проверяются результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций

3. **Уровни освоения компетенций и критерии оценки**

1. Зачет считается сданным на **продвинутом** уровне, если студент правильно выполнил от 27 до 30 заданий теста, а также, знает определения всех понятий, продемонстрировал способность безошибочно устанавливать последовательность и соответствие между процессами и явлениями, выявлять проблемы, предлагать механизмы их решения, представляет количественные и качественные характеристики определенных процессов и не допускает ошибок при решении задач. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Установленные в программе компетенции сформированы в полном объеме. Оценка составляет *от 18 до 20 баллов.*

2. Зачет считается сданным на **базовом** уровне, если студент правильно выполнил от 21 до 26 заданий теста, а также знает определения основных понятий, продемонстрировал способность устанавливать последовательность и соответствие между процессами и явлениями, правильно характеризует процессы, явления, не допускает существенных ошибок при решении задач. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от 15 до 17 баллов.*

3. Зачет считается сданным на **пороговом** уровне, если студент правильно ответил от 15 до 20 вопросов теста, знает определения основных понятий, продемонстрировал способность устанавливать последовательность и соответствие между процессами и явлениями, при решении задач допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от 10 до 14 баллов.*

4. Зачет считается не сданным и результат промежуточной аттестации признается

неудовлетворительным, если студент правильно ответил менее чем на половину вопросов теста, не знает определений понятий, не продемонстрировал способность устанавливать последовательность и соответствие между процессами и явлениями, при решении задач допускает принципиальные ошибки. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит существенные пробелы. Установленные в программе компетенции не сформированы. Оценка составляет *менее 10 баллов.*

4. Шкала оценки

Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета составляет от 10 до 20 баллов включительно. Сумма менее 10 баллов признается неудовлетворительным результатом промежуточной аттестации по дисциплине.

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, установленными в НГТУ.

5. Примерный тест для экзамена по дисциплине «Физические основы электроники»

Утверждаю:
Зав. кафедрой ____ _____ ФИО
«____» _____ 20_ г.

Тест

по дисциплине «Физические основы электроники»[1]
Время выполнения – 90 минут

Вопрос 1. В кристалле InSb (n-типа) концентрация электронов $N = 10^{18}$ см$^{-3}$. Предположим, что эффективная масса электрона равна $0.015m$ (здесь m – масса покоя электрона) и не зависит от величины энергии (т. е. зона проводимости имеет идеальную параболическую форму). Определить плазменную частоту. Концентрацию электронов можно считать постоянной. Диэлектрическая проницаемость решетки ε_L =16.

- ○ $1.15 \cdot 10^{14}$ с$^{-1}$ ✔
- ○ $3.30 \cdot 10^{14}$ с$^{-1}$
- ○ $1.15 \cdot 10^{11}$ с$^{-1}$
- ○ $2.15 \cdot 10^{14}$ с$^{-1}$

(один вариант)

Вопрос 2. В кристалле InSb (n-типа) концентрация электронов $N = 10^{18}$ см$^{-3}$. Предположим, что эффективная масса электрона равна $0.015m$ (здесь m – масса покоя электрона) и не зависит от величины энергии (т. е. зона проводимости имеет идеальную параболическую форму). Определить длину волны, при которой наблюдается минимум отражательной способности. Концентрацию электронов можно считать постоянной. Диэлектрическая проницаемость решетки ε_L =16.

- ○ 15.8 мкм ✔
- ○ 21.0 мкм
- ○ 7.4 мкм
- ○ 31.6 мкм

(один вариант)

Вопрос 3. Пусть свободные электроны под действием электромагнитной волны сместились на расстояние x перпендикулярно поверхности металлической пластины. В результате возникнут поверхностные заряды и соответствующая возвращающая сила, что приведет к возбуждению плазменных колебаний. Определить частоту ω_0 этих колебаний в меди, концентрация свободных

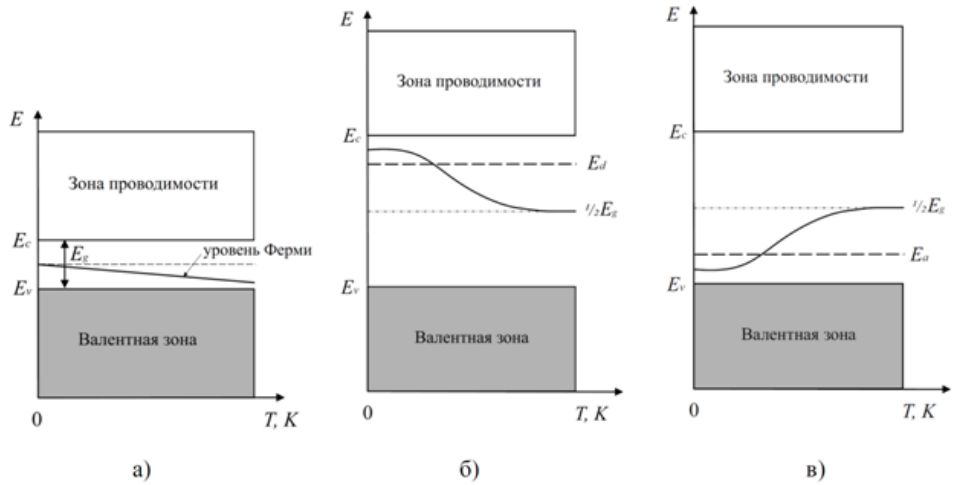
[1] Правильные ответы выделены символом ✔

электронов у которой $n = 8.5 \cdot 10^{22}$ см$^{-3}$.

- $\omega_0 = 1.6 \cdot 10^{16}$ с$^{-1}$ ✔
- $\omega_0 = 1.6 \cdot 10^{15}$ с$^{-1}$
- $\omega_0 = 3.2 \cdot 10^{16}$ с$^{-1}$
- $\omega_0 = 2.6 \cdot 10^{16}$ с$^{-1}$

(один вариант)

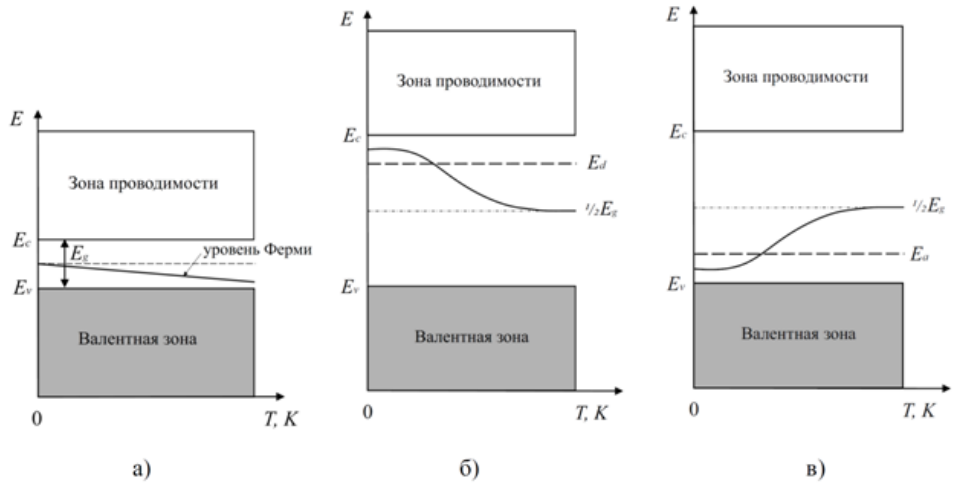
Вопрос 4. Выберите правильную зависимость от температуры расположения уровня Ферми в собственных полупроводниках.



- **а** ✔
- **б**
- **в**
- **Все ответы верные**

(один вариант)

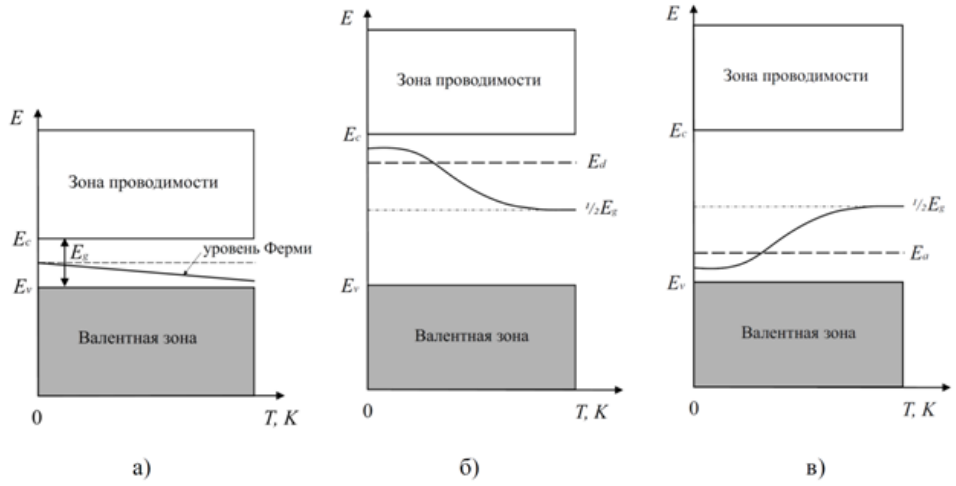
Вопрос 5. Выберите правильную зависимость от температуры расположения уровня Ферми в невырожденных примесных полупроводниках *p*-типа.



- **а**
- **б**
- **в** ✔
- **Все ответы верные**

(один вариант)

Вопрос 6. Выберите правильную зависимость от температуры расположения уровня Ферми в невырожденных примесных полупроводниках *n*-типа.



- **а**
- **б** ✔
- **в**
- **Все ответы верные**

(один вариант)

Вопрос 7. Определить отношение периодов идентичности вдоль направлений [100], [110] и [111] объемно-центрированной кубической решетки.
Ответ: Учитывая связь между индексами семейства параллельных плоскостей, его межплоскостным расстоянием и периодами объемно-центрированной кубической решетки получим: $1: 2^{0.5}:0.5\cdot3^{0.5}$

Вопрос 8. При каких условиях распределение Максвелла-Больцмана можно применять для описания распределения носителей заряда (электронов и дырок) по уровням энергии в полупроводниках?
Ответ: Если количество доступных состояний много больше количества электронов (дырок), то можно использовать распределение Максвелла-Больцмана.

Вопрос 9. Какие значения может принимать эффективная масса электрона в кристалле (электрон проводимости)?

Ответ: Эффективная масса электрона в кристалле может принимать любые значения.

Вопрос10. На дебаеграмме некоторого кубического кристалла, снятой на излучении меди K_α (λ= 0.1542 нм), видны линии под углами Брэгга θ: 12.3; 14.1; 20.2; 24.0; 25.1; 29.3; 32.2 и 33.1°. Каким индексам Миллера соответствуют эти углы?
Ответ: Из определения индексов Миллера найдем, что искомые индексы имеют вид 111, 200, 220, 311, 222, 400, 331, 420.

Вопрос 11. Что такое циклотронный резонанс?

Ответ: Циклотронный резонанс – это резонансное поглощение электромагнитной энергии полупроводниками и металлами, помещёнными в постоянное магнитное поле, на частотах, равных или кратных циклотронной частоте носителей заряда (электронов и дырок).

Вопрос 12. Что такое продольный магнитооптический эффект Фарадея?

Ответ: Это магнитооптический эффект, который заключается в том, что при распространении линейно-поляризованного света через оптически неактивное вещество, находящееся в магнитном поле, наблюдается вращение плоскости поляризации.

Вопрос 13. При каких условиях распределение Ферми-Дирака можно применять для описания распределения носителей заряда (электронов и дырок) по уровням энергии в металлах и полупроводниках?

Ответ: Если количество доступных состояний одного порядка с количеством электронов (дырок), то можно использовать распределение Ферми-Дирака.

Вопрос 14. Какова средняя заселенность электронами уровня Ферми в металлах и полупроводниках?

Ответ: Средняя заселенность электронами уровня Ферми в металлах и полупроводниках равна 1.

Вопрос 15. Какие частицы называются фермионами? Приведите пример.

Ответ: Фермионами называются частицы с полуцелым спином. Например, электроны, протоны, нейтроны, мюоны, кварки, нейтрино (*можно привести любой пример фермионов*).

Вопрос 16. Что такое непрямозонные полупроводники?

Ответ: В непрямозонных полупроводниках электрон, находящийся вблизи дна зоны проводимости, имеет квазиимпульс отличный от квазиимпульса электрона, находящегося вблизи потолка валентной зоны. Поэтому межзонный переход возможен только при условии компенсации различия квазиимпульсов.

Вопрос 17. Почему непрямозонные полупроводники имеют низкую внутреннюю квантовую эффективность?

Ответ: В непрямозонных полупроводниках зонный переход возможен только при условии компенсации различия квазиимпульсов. Это может происходить, если при рекомбинации испускается фонон высокой энергии. В таком процессе удается устранить избыточный квазиимпульс, однако при этом поглощается и энергия рекомбинации до 0.5 эВ. Еще более серьезной оказывается необходимость одновременности этих двух событий (рождение фотона и фонона), что приводит к снижению вероятности такого рекомбинационного перехода. В результате безызлучательные процессы, в частности с участием уровней ловушек вблизи центра запрещенной зоны, преобладают в непрямозонных полупроводниках, а внутренняя квантовая эффективность оказывается низкой.

Вопрос 18. Приведите пример непрямозонных полупроводников.
Ответ: Например, кремний, германий и фосфид галлия.

Вопрос 19. Что такое «идеальное ковалентное стекло»?

Ответ: «Идеальное ковалентное стекло» определено как хаотическая сетка, не имеющая дальнего порядка, но с идеальным ближним порядком. Такое стекло не должно иметь структурных дефектов (типа пустот), и в нем должны удовлетворяться требования валентности для каждого атома, т. е. не должно быть оборванных связей. Вероятно, наилучшим приближением к такому идеалу служат аморфные пленки кремния или германия, приготовленные напылением в вакууме на холодную подложку.

Вопрос 20. Сохраняет ли какой-то смысл понятие «запрещенной зоны», особенно если разупорядочение настолько велико, что конечная величина плотности состояний $g(\varepsilon)$ имеется для всех энергий?
Ответ: Да, сохраняет. Все еще существует очень сильное возрастание оптического коэффициента поглощения, когда энергия падающих фотонов превосходит разность энергий соответствующих краям зон в кристаллическом материале (Ec - Ev) и допускает образование электронно-дырочных пар. Фотоны с меньшей энергией не создают подвижных пар

Вопрос 21. Что называют краями щели подвижности для аморфного полупроводника?
Ответ: Потолок валентной зоны и дно зоны проводимости.

Вопрос 22. Удельное сопротивление чистого беспримесного германия при комнатной температуре $\rho_0 = 50$ Ом·см. После включения источника света оно стало $\rho_1 = 40$ Ом·см, а через $t = 8.0$ мс, после выключения источника, $\rho_2 = 45$ Ом·см. Найти среднее время жизни электронов и дырок.

Ответ: Запишем проводимость образца как сумму собственной проводимости и фотопроводимости. Учитывая зависимость фотопроводимости от среднего временижизни электронов и дырок получим, что среднее время жизни равно 10 мс.

Вопрос 23. Определить отношение периодов идентичности вдоль направлений [100], [110] и [111] для простой кубической решетки.
Ответ: Учитывая связь между индексами семейства параллельных плоскостей, его межплоскостным расстоянием и периодами простой кубической решетки получим: $1:2^{0.5}:3^{0.5}$

Вопрос 24. Найти минимальную энергию, необходимую для образования пары электрон - дырка в чистом теллуре при температуре 0 К, если известно, что его электропроводимость возрастает в 5.2 раза при увеличении температуры от $T_1 = 300$ К до $T_2 = 400$ К. Ответ дать в эВ.
Ответ: Учитывая, связь проводимости с температурой в чистом полупроводнике получим, что минимальная энергия, необходимая для образования пары электрон-дырка 0.34 эВ.

Вопрос 25. Какой физический смысл имеет квадрат модуля волновой функции?
Ответ: Квадрат модуля волновой функции равен плотности вероятности обнаружить частицу в данной точке пространства в данный момент времени.

Вопрос 26. Что позволяет получить стационарное уравнение Шредингера?

Ответ: Решением стационарного уравнения Шрёдингера является та часть волновой функции, которая зависит от координат.

Вопрос 27. Когда можно использовать для расчетов стационарное уравнение Шредингера?

Ответ: Можно использовать, если потенциальная энергия не зависит от времени.

Вопрос 28. Что такое «стандартные условия» для волновой функции?
Ответ: В соответствии с физическим смыслом волновой функции она должна быть однозначной, непрерывной и конечной (за исключением, может быть, особых точек). Кроме того, она должна иметь непрерывную и конечную производную.

Вопрос 29. Какие переходы между энергетическими уровнями являются запрещенными?
Ответ: Переходы между уровнями называются запрещенными переходами, если матричный элемент дипольного перехода равен нулю. Поэтому в некоторых веществах прямые переходы при k = 0 запрещены согласно квантовым правилам отбора (матричный элемент равен нулю), а при k не равном 0 вероятность перехода увеличивается пропорционально квадрату k.

Вопрос 30. Какие переходы между энергетическими уровнями являются разрешенными?
Ответ: Переходы между уровнями называются разрешенными переходами, если матричный элемент дипольного перехода не равен нулю. В этом случае прямые переходы при k = 0 разрешены согласно квантовым правилам отбора (матричный элемент не равен нулю).

Вопросы к зачету по дисциплине «Физические основы электроники»

1. Кристаллическая решетка. Индексы Миллера.
2. Анизотропия. Моно- и поликристаллы. Полиморфизм. Дефекты в кристаллах, фононы.
3. Колебания линейной цепочки из одинаковых атомов, дисперсионные кривые.
4. Особенности колебаний атомов в линейной цепочке, состоящей из атомов двух сортов, и в трехмерной решетке.
5. Классическая теория теплоемкости Дюлонга-Пти.
6. Теория теплоемкости твердых тел Дебая. Температура Дебая.
7. Квантовая теория свободных электронов в металле. Теплоемкость электронного газа.
8. Зонная теория твердых тел. Приближение сильной связи.
9. Зонная теория твердых тел. Приближение слабой связи. Выводы по приближениям сильной и слабой связи.
10. Движение электрона в периодическом поле кристаллической решетки под действием внешней силы. Эффективная масса носителя заряда. Понятие о дырке, как носителе заряда.
11. Подвижность носителей заряда. Выражение удельной электропроводности через концентрацию и подвижность носителей. Зависимость подвижности от температуры. Электропроводность металлов.
12. Металлы, диэлектрики, собственные и примесные полупроводники с точки зрения зонной теории. Электрический ток с точки зрения зонной теории.

13. Собственные полупроводники. Механизм возникновения носителей заряда. Зависимость концентрации носителей заряда от температуры для невырожденных и вырожденных полупроводников.
14. Положение уровня энергии Ферми в собственных невырожденных полупроводниках.
15. Зависимость электропроводности собственных невырожденных полупроводников от ширины запрещенной зоны и температуры. Экспериментальное определение ширины запрещенной зоны.
16. Примесные полупроводники. Механизм возникновения основных и неосновных носителей заряда. Подвижность носителей заряда в примесных полупроводниках.
17. Положение уровня энергии Ферми в примесных полупроводниках. Зависимость концентрации основных носителей заряда в примесных полупроводниках от энергии активации примеси.
18. Электропроводность невырожденных примесных полупроводников.
19. Терморезисторы.
20. Контакты, их виды. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Омический контакт.
21. Получение p-n-перехода. Равновесное состояние. Зонная диаграмма. Высота потенциального барьера в равновесном состоянии.
22. Электрическое поле барьера при равновесном состоянии p-n-перехода.
23. Ширина барьера при равновесном состоянии p-n-перехода, ее связь с контактной разностью потенциалов.
24. Прямое подключение p-n-перехода. Инжекция носителей тока. Понятие диффузионной длины.
25. Обратное подключение p-n-перехода.
26. ВАХ p-n-перехода. Выпрямляющее действие p-n-перехода.
27. Особенности ВАХ кремниевых и арсенид-галлиевых p-n-переходов.
28. Электрическая емкость p-n-перехода. Варикапы.
29. Пробой p-n-перехода. Лавинные диоды, стабилитроны.
30. Эффект Холла.
31. Биполярный транзистор. Принцип работы. Рабочие токи транзистора. Сопротивление эмиттерного и коллекторного p-n-переходов.
32. Подключение биполярного транзистора по схеме усилителя с общей базой.
33. Подключение биполярного транзистора по схеме усилителя с общим эмиттером.
34. Полевые транзисторы.
35. Ключевые приборы.
36. Операционные усилители.
37. Применение транзисторов в линейных стабилизаторах напряжения.
38. Особенности применения транзисторов в импульсном режиме.
39. Импульсные диоды.
40. Светодиоды. Фотодиоды.
41. Контакт металл-полупроводник и его вольтамперная характеристика.
42. Фотопроводимость полупроводников. Фоторезистор.