

Методические материалы для проведения аттестаций
по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника» для подготовки студентов
210601.65_Нанотехнология в электронике

I. Материалы для аттестации по первому циклу изучения дисциплины (1-8 недели семестра)

№1. Запишите выражение для энергии электрона в атоме водорода.

Ответы:

1. $N_2 / N_1 = (g_2 / g_1) \exp(-(E_2 - E_1)/kT)$,

где g_2 и g_1 - кратности вырождения энергетических уровней E_2 и E_1 ; k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура.

+2. $E_n = -me^4/(h^2n^2/2\pi^2)$,

где m и e - масса и заряд электрона; h - постоянная Планка; $n = 1, 2, 3, \dots$

3. $S = \sigma T^4$,

где σ - постоянная Стефана-Больцмана; T - абсолютная температура.

4. $\lambda_{\max} = b/T$,

где b - постоянная Вина; T - абсолютная температура.

№2. Запишите выражение для правила частот Бора.

Ответы:

1. $S = \sigma T^4$,

где σ - постоянная Стефана-Больцмана; T - абсолютная температура.

2. $\lambda_{\max} = b/T$,

где b - постоянная Вина; T - абсолютная температура.

+3. $\nu_{mn} = |E_m - E_n|/h$,

где E_m и E_n - энергии начального и конечного состояний электрона; h - постоянная Планка.

4. $N_2 / N_1 = (g_2 / g_1) \exp(-(E_2 - E_1)/kT)$,

где g_2 и g_1 - кратности вырождения энергетических уровней E_2 и E_1 ; k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура.

№3. В чем заключаются процессы вынужденного излучения?

Ответы:

1. Процессы вынужденного излучения заключаются в самопроизвольном переходе возбужденного атома на нижерасположенный энергетический уровень с испусканием фотона.

2. Процессы вынужденного излучения заключаются в переходе атома в возбужденное состояние под действием фотона.

3. Процессы вынужденного излучения заключаются в испускании возбужденным атомом электрона.

+4. Процессы вынужденного излучения происходят при воздействии фотона, имеющего энергию $E_m - E_n$ на атом, находящийся в возбужденном состоянии E_m . При этом фотон не исчезает, а атом переходит в состояние с энергией E_n , испуская новый фотон, свойства которого совпадают со свойствами исходного фотона.

№4. Что является причиной уширения энергетических уровней атомов?

Ответы:

+1. Причиной уширения энергетических уровней атомов является конечность времени жизни возбужденных состояний атомов.

2. Причиной уширения энергетических уровней атомов являются процессы поглощения фотонов атомами.

3. Причиной уширения энергетических уровней атомов являются процессы вынужденного излучения.

4. Причиной уширения энергетических уровней атомов является дискретность энергетических уровней атомов.

№5. Запишите выражение для распределения атомов по энергетическим уровням в состоянии термодинамического равновесия.

Ответы:

1. $E_n = -me^4/(h^2n^2/2\pi^2)$,

где m и e - масса и заряд электрона; h - постоянная Планка; $n = 1, 2, 3, \dots$

+2. $N_2 / N_1 = (g_2 / g_1) \exp(-(E_2 - E_1)/kT)$,

где N_2 и N_1 - плотности населенности энергетических уровней E_2 и E_1 ; g_2 и g_1 - кратности вырождения энергетических уровней E_2 и E_1 ; k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура.

3. $\lambda_{\max} = b/T$,

где b - постоянная Вина; T - абсолютная температура.

4. $S = \sigma T^4$,

где σ - постоянная Стефана-Больцмана; T - абсолютная температура.

№6. Запишите выражение для плотности инверсной населенности.

Ответы:

1. $\nu_{mn} = |E_m - E_n|/h$,

где E_m и E_n - энергии начального и конечного состояний электрона; h - постоянная Планка.

2. $\lambda_{\max} = b/T$,

где b - постоянная Вина; T - абсолютная температура.

+3. $\Delta = N_2 - (g_2 / g_1)N_1 > 0$,

где N_1 - плотность населенности нижерасположенного энергетического уровня; N_2 - плотность населенности вышерасположенного энергетического уровня; g_2 и g_1 - кратности вырождения этих уровней.

4. $S = \sigma T^4$,

где σ - постоянная Стефана-Больцмана; T - абсолютная температура.

№7. Опишите схему оптического квантового генератора (ОКГ).

Ответы:

1. ОКГ состоит из источника накачки, помещенного между двумя линзами, образующими оптический резонатор, и активной среды, необходимой для подведения энергии к источнику накачки.

2. ОКГ состоит из двух зеркал, к которым подводится энергия от источника накачки, и поглощающей ячейки, расположенной между зеркалами.

3. ОКГ состоит из оптического модулятора, помещенного между двумя линзами, и источника накачки, питающего модулятор.

+4. ОКГ состоит из двух зеркал, образующих оптический резонатор, причем между зеркалами расположена активная среда, в которой создается инверсная населенность под действием энергии источника накачки.

№8. Запишите выражение для собственных частот открытого резонатора.

Ответы.

+1. $\nu_q = (c/2L)q$,

где c - скорость света; L - длина резонатора; $q = 1, 2, 3, \dots$

2. $\nu_n = -me^4/(h^2 n^2 / 2\pi^2)$,

где m и e - масса и заряд электрона; h - постоянная Планка; $n = 1, 2, 3, \dots$

3. $\nu = N_2 - (g_2 / g_1)N_1 > 0$,

где N_1 - плотность населенности нижерасположенного энергетического уровня; N_2 - плотность населенности вышерасположенного энергетического уровня; g_2 и g_1 - кратности вырождения этих уровней.

4. $\nu_{\max} = b/T$,

где b - постоянная Вина; T - абсолютная температура.

№9. Опишите спектр генерации лазера.

Ответы:

1. Спектр генерации лазера описывается резонансной кривой колебательного контура.

+2. Лазерная генерация осуществляется на собственных частотах оптического резонатора, расположенных внутри контура усиления активной среды, для которых усиление превышает потери.

3. Спектр генерации лазера описывается спектром излучения абсолютно черного тела.

4. Спектр генерации лазера включает в себя собственные частоты оптического резонатора, расположенные вне контура усиления активной среды.

№10. На чем основан принцип действия твердотельных лазеров?

Ответы:

1. Активной средой твердотельных лазеров являются диэлектрические кристаллы или стекла, содержащие примеси ионов определенных химических элементов, играющих роль активных центров. Для создания инверсной населенности применяется накачка электрическим током.

2. Принцип действия твердотельных лазеров основан на создании инверсной населенности в кристалле полупроводника в условиях оптической накачки.

+3. Активной средой твердотельных лазеров являются диэлектрические кристаллы или стекла, содержащие примеси ионов определенных химических элементов, играющих роль активных центров. Для создания инверсной населенности применяется оптическая накачка.

4. Принцип действия твердотельных лазеров основан на эффекте испускания электронов диэлектрическими кристаллами или стеклами в условиях оптической накачки.

№11. Какая схема активной обеспечивает меньшую пороговую мощность накачки твердотельного лазера?

Ответы:

1. Двухуровневая схема активной среды.

2. Трехуровневая схема активной среды.
3. Пятиуровневая схема активной среды.
- +4. Четырехуровневая схема активной среды.

№12. Опишите процессы в четырехуровневой схеме активной среды.

Ответы:

- +1. Под действием излучения накачки атомы из основного состояния переводятся на самый верхний - четвертый энергетический уровень, затем следует безызлучательный релаксационный переход на нижерасположенный метастабильный третий уровень. Инверсия создается между третьим и вторым уровнями. Лазерная генерация осуществляется при переходе атомов с третьего на второй уровень, после чего следует релаксационный безызлучательный переход в основное состояние.
2. Под действием излучения накачки атомы из основного состояния последовательно переходят на вышерасположенные второй, третий и четвертый уровни. Лазерная генерация осуществляется при переходе с четвертого уровня в основное состояние.
3. Под действием излучения накачки атомы из основного состояния переходят на третий уровень, после чего следует релаксационный безызлучательный переход на нижерасположенный второй уровень, на котором создается инверсная населенность относительно самого верхнего - четвертого уровня. Генерация происходит при переходе со второго на четвертый уровень.
4. Под действием излучения накачки атомы из основного состояния переходят на самый верхний - четвертый уровень, после чего следует переход на нижерасположенный метастабильный третий уровень. При этом осуществляется лазерная генерация. Затем следует переход на второй энергетический уровень.

№13. К каким схемам относятся активные среды рубинового лазера и лазера на алюмо-иттриевом гранате?

Ответы

1. Лазер на рубине имеет четырехуровневую схему активной среды, лазер на алюмоиттриевом гранате имеет трехуровневую схему активной среды.
- +2. Лазер на рубине имеет трехуровневую схему активной среды, лазер на алюмоиттриевом гранате имеет четырехуровневую схему активной среды.
3. Лазеры на рубине и алюмоиттриевом гранате имеют трехуровневую схему активной среды.
4. Лазеры на рубине и алюмоиттриевом гранате имеют четырехуровневую схему активной среды.

№14. Запишите условие генерации лазера.

Ответы:

1. Условие генерации лазера (без учета дифракционных потерь и отражения от торцов активного элемента) записывается выражением

$$\nu_q = (c/2L)q,$$
 где c - скорость света; L - длина резонатора; $q = 1, 2, 3, \dots$
2. Условие генерации лазера (без учета дифракционных потерь и отражения от торцов активного элемента) записывается выражением

$$\nu_{mn} = |E_m - E_n|/h,$$
 где E_m и E_n - энергии начального и конечного состояний электрона; h - постоянная Планка.
- +3. Условие генерации лазера (без учета дифракционных потерь и отражения от торцов активного элемента) записывается выражением

$$\exp(2(\alpha - \beta)l) r_1 r_2 \geq 1,$$
 где l - длина активного элемента; α - показатель усиления активной среды; β - показатель потерь; r_1 и r_2 - коэффициенты отражения зеркал резонатора.
4. Условие генерации лазера (без учета дифракционных потерь и отражения от торцов активного элемента) записывается выражением

$$N_2 / N_1 = (g_2 / g_1) \exp(-(E_2 - E_1)/kT),$$
 где g_2 и g_1 - кратности вырождения энергетических уровней E_2 и E_1 ; k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура.

II. Материалы для аттестации по второму циклу изучения дисциплины (9-16 недели семестра)

№15. Запишите выражение для закона Стефана-Больцмана.

Ответы:

1. $E_n = -me^4/(h^2 n^2 / 2\pi^2)$,

где m и e - масса и заряд электрона; h - постоянная Планка; $n = 1, 2, 3, \dots$

2. $\Delta = N_2 - (g_2 / g_1) N_1 > 0$,

где N_1 - плотность населенности нижерасположенного энергетического уровня; N_2 - плотность населенности вышерасположенного энергетического уровня; g_2 и g_1 - кратности вырождения этих уровней.

3. $v_{mn} = |E_m - E_n|/h$,

где E_m и E_n - энергии начального и конечного состояний электрона; h - постоянная Планка.

+4. $S = \sigma T^4$,

где S - полная мощность излучения с единицы поверхности абсолютно черного тела; σ - постоянная Стефана-Больцмана; T - абсолютная температура абсолютно черного тела.

№16. Запишите выражение для закона Вина.

Ответы:

+1. $\lambda_{\max} = b/T$,

где $\lambda_{\max}$ - длина волны, на которую приходится максимум излучения абсолютно черного тела; b - постоянная Вина; T - абсолютная температура.

2. $\lambda_{\max} = bT$,

где $\lambda_{\max}$ - длина волны, на которую приходится максимум излучения абсолютно черного тела; b - постоянная Вина; T - абсолютная температура.

3. $v_{mn} = |E_m - E_n|/h$,

где E_m и E_n - энергии начального и конечного состояний электрона; h - постоянная Планка.

4. $v_q = (c/2Lq)$,

где c - скорость света; L - длина резонатора; $q = 1, 2, 3, \dots$

№17. На чем основан принцип действия гелий-неонового лазера?

Ответы:

1. Для накачки гелий-неонового лазера используется газовый разряд в смеси гелия и неона. Ускоренные в электрическом поле электроны возбуждают атомы неона в результате столкновений. Лазерная генерация возникает при переходах между уровнями атомов гелия.

+2. Для накачки гелий-неонового лазера используется газовый разряд в смеси гелия и неона. Ускоренные в электрическом поле электроны возбуждают атомы гелия в результате столкновений. Атомы гелия передают свою энергию атомам неона. Лазерная генерация возникает при переходах между уровнями атомов неона.

3. Для накачки гелий-неонового лазера используется газовый разряд в смеси гелия и неона. Ускоренные в электрическом поле электроны возбуждают атомы гелия в результате столкновений. Лазерная генерация возникает при переходах между уровнями атомов гелия. Неон служит для охлаждения газовой смеси.

4. Для накачки гелий-неонового лазера используется газовый разряд в смеси гелия и неона. Ускоренные в электрическом поле электроны возбуждают атомы гелия в результате столкновений. Атомы гелия передают свою энергию атомам неона, при этом возникает лазерная генерация

№18. Запишите условие инверсной населенности для полупроводникового лазера.

Ответы:

1. $\exp(2(\alpha - \beta)l) r_1 r_2 \geq 1$,

где l - длина активного элемента; α - показатель усиления активной среды; β - показатель потерь; r_1 и r_2 - коэффициенты отражения зеркал резонатора.

2. $\mu_n - \mu_p < \Delta E$,

где μ_n и μ_p - квазиуровни Ферми для электронов и дырок; ΔE - ширина запрещенной зоны.

+3. $\mu_n - \mu_p > \Delta E$,

где μ_n и μ_p - квазиуровни Ферми для электронов и дырок; ΔE - ширина запрещенной зоны.

4. $N_2 / N_1 = (g_2 / g_1) \exp(-(E_2 - E_1)/kT)$,

где g_2 и g_1 - кратности вырождения энергетических уровней E_2 и E_1 ; k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура.

№19. Какой способ накачки находит практическое применение в полупроводниковых лазерах?

Ответы:

1. Оптическая накачка p - n -перехода.

2. Оптическая накачка кристалла полупроводника.

3. Облучение кристалла полупроводника пучком протонов.
 +4. Накачка электрическим током, протекающим через p - n -переход.

№20. Поясните принцип действия амплитудного модулятора света на основе электрооптического эффекта.

Ответы:

- +1. Сначала производится поляризационная модуляция света при прохождении его через электрооптический кристалл под действием приложенного к кристаллу управляющего напряжения. Затем свет подается на анализатор, преобразующий поляризационную модуляцию в амплитудную.
 2. Сначала производится поляризационная модуляция света при прохождении его через анализатор. Затем свет подается на электрооптический кристалл, преобразующий поляризационную модуляцию в амплитудную.
 3. Амплитудная модуляция света производится при его прохождении через электрооптический кристалл под действием приложенного к кристаллу управляющего напряжения.
 4. Амплитудная модуляция света производится при его прохождении через анализатор под действием приложенного к анализатору управляющего напряжения.

№21. Каким образом выполняется резонатор в полупроводниковом лазере?

Ответы:

1. Резонатор полупроводникового лазера образован противоположно расположенными вогнутыми зеркалами с диэлектрическим интерференционным покрытием.
 +2. Резонатор полупроводникового лазера образован противоположно расположенными плоскопараллельными полированными гранями кристалла полупроводника.
 3. Резонатор полупроводникового лазера образован противоположно расположенными выпуклыми зеркалами с диэлектрическим интерференционным покрытием.
 4. Резонатор полупроводникового лазера образован противоположно расположенными выпуклыми зеркалами с диэлектрическим просветляющим покрытием.

№22. Какая система оптической накачки твердотельных лазеров обладает большей эффективностью?

Ответы:

1. Цилиндр кругового сечения с отражающей внутренней поверхностью, внутри которого параллельно оси расположены активный элемент и лампа накачки.
 2. Цилиндр эллиптического сечения с отражающей внешней поверхностью, снаружи которого вдоль фокальных линий расположены активный элемент и лампа накачки.
 +3. Цилиндр эллиптического сечения с отражающей внутренней поверхностью, внутри которого вдоль фокальных линий расположены активный элемент и лампа накачки.
 4. Система накачки, состоящая из лампы накачки в форме цилиндрической спирали, по оси которой установлен активный элемент.

№23. Опишите зависимость мощности гелий-неонового лазера от диаметра газоразрядной трубки.

Ответы:

1. Сначала при повышении диаметра мощность возрастает за счет увеличения времени диффузии атомов неона, находящихся в метастабильном энергетическом состоянии, к стенкам газоразрядной трубки. При достижении оптимального значения диаметра мощность достигает максимума. При дальнейшем увеличении диаметра мощность уменьшается за счет увеличения объема активной среды.
 2. Сначала при повышении диаметра мощность возрастает за счет увеличения времени диффузии метастабильных атомов гелия к стенкам газоразрядной трубки. При достижении оптимального значения диаметра мощность достигает максимума. При дальнейшем увеличении диаметра мощность уменьшается за счет увеличения времени диффузии метастабильных атомов неона к стенкам газоразрядной трубки.
 3. Сначала при повышении диаметра мощность возрастает за счет увеличения объема активной среды. При достижении оптимального значения диаметра мощность достигает максимума. При дальнейшем увеличении диаметра мощность уменьшается за счет увеличения скорости заселения метастабильных уровней атомов неона электронным ударом.
 +4. Сначала при повышении диаметра мощность возрастает за счет увеличения объема активной среды. При достижении оптимального значения диаметра мощность достигает максимума. При дальнейшем увеличении диаметра мощность уменьшается за счет увеличения времени диффузии атомов неона, находящихся в метастабильном энергетическом состоянии, к стенкам газоразрядной трубки.

№24. Поясните назначение окон Брюстера газоразрядной трубки гелий-неонового лазера.

Ответы:

- +1. Уменьшение потерь света при прохождении сквозь окна.
 2. Создание положительной обратной связи в гелий-неоновом лазере.
 3. Образуют оптический резонатор гелий-неонового лазера.
 4. Применяются для подачи энергии в активную среду от источника накачки.

№25. Поясните особенности диаграммы направленности инжекционного полупроводникового лазера.

Ответы:

1. Диаграмма направленности более широкая в плоскости p - n -перехода и более узкая в плоскости, перпендикулярной p - n -переходу.
- +2. Диаграмма направленности более узкая в плоскости p - n -перехода и более широкая в плоскости, перпендикулярной p - n -переходу.
3. Диаграмма направленности имеет одинаковую ширину в плоскости p - n -перехода и в плоскости, перпендикулярной p - n -переходу.
4. Диаграмма направленности имеет круговую форму.