

Твердотельные лазеры: сенсibilизация

Сенсibilизация – передача энергии возбуждения от одной частицы другой частице

Цель - увеличение эффективности накачки верхнего лазерного уровня

Используемые кристаллические матрицы

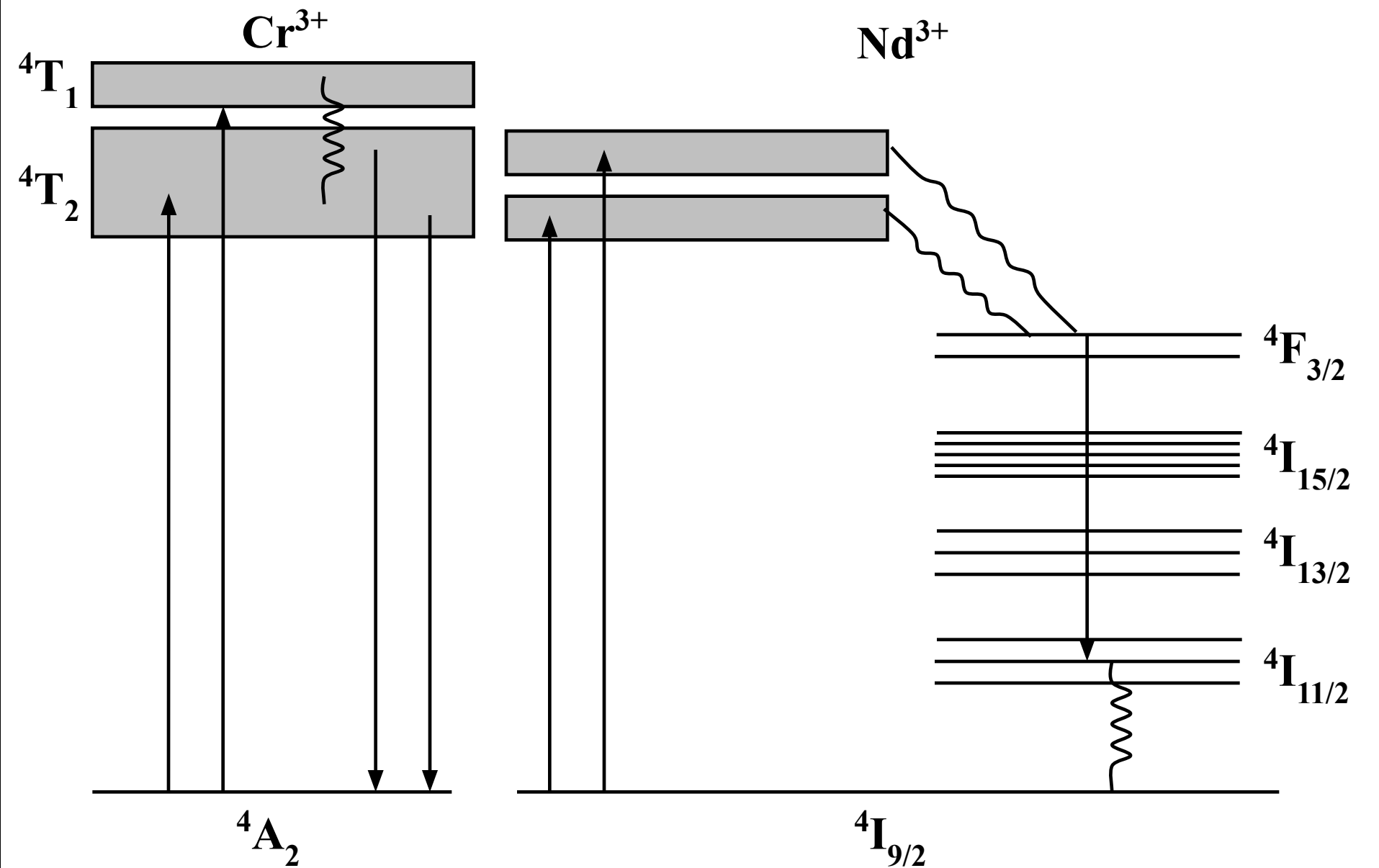
- иттрий-алюминиевый гранат**
- галлий-скандий-гадолиниевый гранат**
- гадолиний-скандий-алюминиевый гранат**

Галлий-скандий-гадолиниевый гранат ($\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$)



В матрицу активируются ионы трехвалентного неодима, которые замещают ионы гадолиния, и ионы трехвалентного хрома, которые замещают ионы скандия и галлия

Твердотельные лазеры: сенсбилизация



Твердотельные лазеры: сенсibilизация

Излучение сине-зеленой спектральной области поглощается ионами хрома за счет переходов из основного состояния в состояния 4T_1 и 4T_2

Далее электроны из состояния 4T_1 быстро релаксируют в состояние 4T_2

После этого происходит излучательная релаксация (люминесценция) в основное состояние иона хрома $4A_2$ в широком диапазоне длин волн, перекрывающих полосы поглощения неодима на переходах с центральными длинами волн 0.73 мкм и 0.8 мкм

Таким образом, в результате поглощения люминесцентного излучения ионов хрома (донор) ионами неодима (акцептор) происходит дополнительная накачка верхнего лазерного уровня неодимового лазера излучением не только красной области спектра, но и сине-зеленой.

Скорость передачи энергии от ионов донора к ионам акцептора определяется величиной перекрытия их спектров, а также величинами сечений индуцированных переходов

Твердотельные лазеры: лазер на alexandrite

При колебаниях ионов в узлах кристаллической решетки энергия состояния зависит от пространственного положения иона. Минимальное значение энергии соответствует равновесному (несмещенному) положению → появляется колебательная структура → переходы становятся электронно-колебательными

Лазер на alexandrite

Активная среда - диэлектрический кристалл BeAl_2O_4 , в котором часть ионов алюминия замещены ионами трехвалентного хрома (0.04-0.1 %)

Свойства alexandrite:

- 1. Высокая температура плавления**
- 2 Высокая плотность**
- 3. Высокая прочность**
- 4. Теплопроводность в 2 раза превышает теплопроводность граната**
- 5. Обладает высоким оптическим качеством вплоть до концентраций ионов хрома до 0.5 по от концентрации ионов алюминия**
- 6. Оптическая прочность alexandrite почти такая же, как и у рубина**

Твердотельные лазеры: лазер на александрите

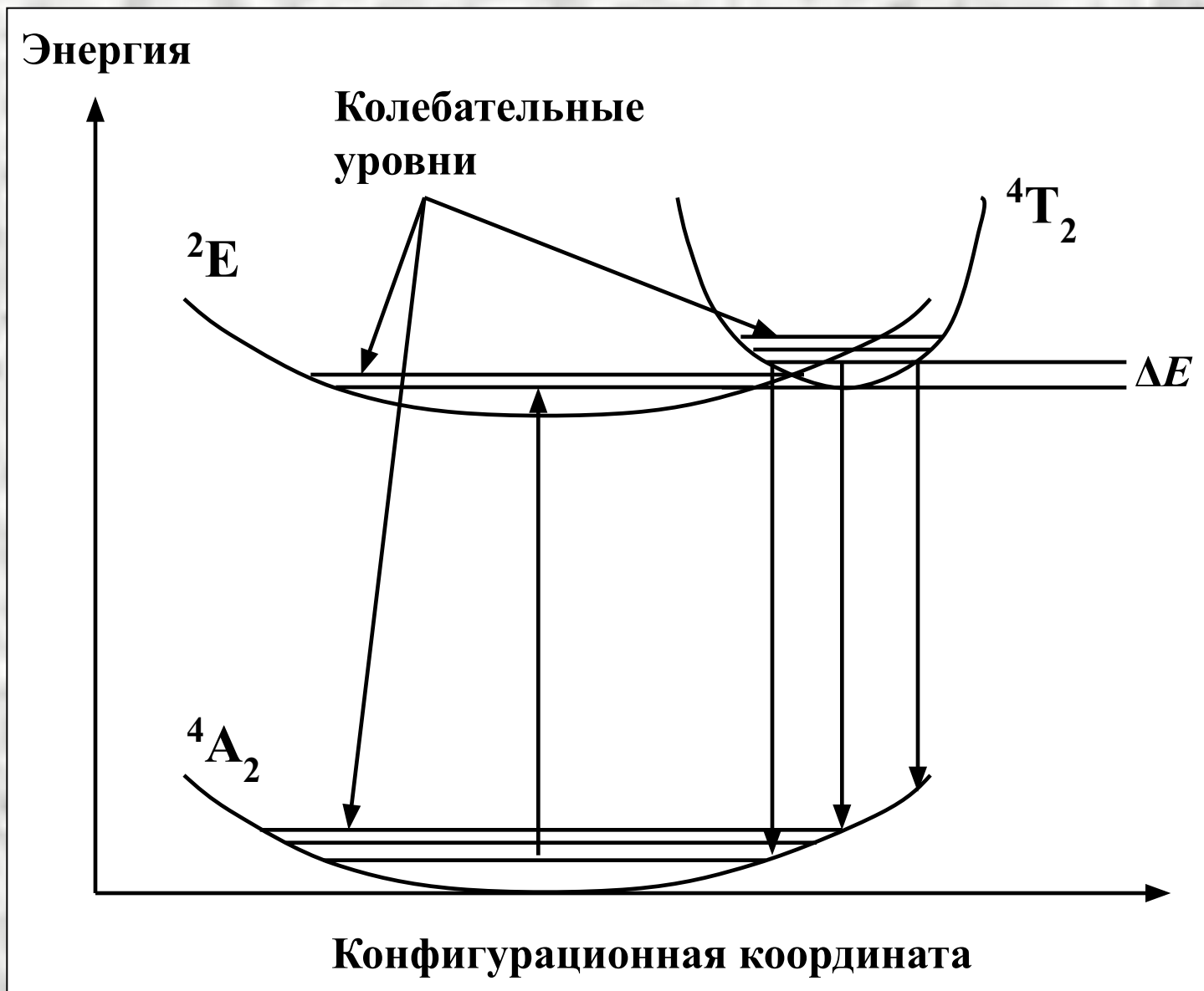
Энергии состояний ионов хрома, находящихся в узлах кристаллической решетки матрицы, зависят от координат смещений ионов хрома относительно положения равновесия

Расстояние между нижними уровнями энергий ΔE состояний 2E и 4T_2 составляет $800\text{ см}^{-1} \rightarrow$ оба состояния существенно заселены $\rightarrow$ лазерная генерация происходит на излучательных переходах из состояния 4T_2 в состояние $^4A_2 \rightarrow$ при наличии колебательной структуры в потенциальной яме в соответствии с принципом Франка-Кондона переходы происходят в широком диапазоне, а соседние переходы перекрываются

Состояние 2E является метастабильным $\rightarrow$ можно накапливать в этом состоянии большую концентрацию электронов $\rightarrow$ возможность генерации лазера на александрите в режиме модулированной добротности

Для накачки лазера на александрите можно использовать те же самые лампы, что и в рубиновом лазере

Твердотельные лазеры: лазер на александрите



Твердотельные лазеры: лазер на александрите

Эффективное время жизни состояния 4T_2

$$\tau^{-1} = \frac{\tau_E^{-1} + \tau_T^{-1} \cdot \exp(-\Delta E / kT)}{1 + \exp(-\Delta E / kT)}$$

$\tau_E = 1.5$ мс и $\tau_T = 6.6$ мкс – времена жизни состояний 2E и 4T_2

$\Delta E = 800$ см⁻¹ - расстояние между уровнями 2E и 4T_2

При комнатной температуре $\tau = 200$ мкс



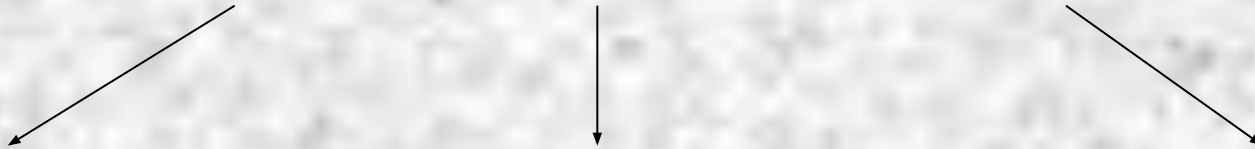
Лазер на александрите может работать
в режиме модулированной добротности

С ростом температуры сечение излучения увеличивается, поскольку населенность состояния 4T_2 растет быстрее, чем населенность состояния 2E

Твердотельные лазеры: лазер на alexandrite

Лазер на alexandrite часто включается при повышенных температурах, составляющих порядка 100 0C

Энергетические характеристики лазера на alexandrite



В режиме свободной генерации энергия одиночных импульсов при использовании в качестве источника накачки ксеноновой лампы-вспышки составляет 5-10 Дж

В импульсно-периодическом режиме с частотой следования импульсов в несколько десятков герц мощность импульса может достигать 100 Вт

В режиме модуляции добротности длительности импульсов составляют десятки наносекунд

Частотно-перестраиваемые твердотельные лазеры

Энергетическая структура уровней одного и того же иона сильно зависит от того, в какую матрицу он внедрен

В кристаллических матрицах галлиевых гранатов малый энергетический зазор между состояниями 2E и 4T_2 иона хрома приводит к дополнительному заселению состояния 4T_2 при оптической накачке



Это обуславливает увеличение коэффициента усиления в достаточно широком диапазоне длин волн

В различных типах галлиевых гранатов, активированных ионами хрома, получена генерация в диапазоне 700-900 нм с возможностью плавного изменения длины волны излучения

Одним из основных преимуществ рассмотренных лазеров является их работа по четырехуровневой схеме, обусловленной как быстрой колебательной релаксацией по уровням возбужденного электронного состояния, так и выполнением принципа Франка-Кондона для электронных переходов

Частотно-перестраиваемые твердотельные лазеры

Титан-сапфировый лазер

Излучает в диапазоне приблизительно 650-1000 нм

Ионы титана легируются в кристаллическую решетку Al_2O_3

Наиболее короткие и мощные импульсы излучения – 10^{14} - 10^{15} Вт при длительности импульса в десятки фемтосекунд

Фемтосекундный титан-сапфир лазер является мощным, широко перестраиваемым источником излучения для исследований с фемтосекундным временным разрешением. Короткие лазерные импульсы возникают в режиме синхронизации мод, основанный на изменении пространственного профиля гауссова пучка в результате самофокусировки, вызванной эффектом Керра в кристалле титан-сапфир