

**СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ
И КИНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ
(Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)₃Al₅O₁₂**

Е.И. Поздняков, В.А. Воробьев

*Кафедра технологии наноматериалов,
ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь;
EgPozd@yandex.ru*

Ключевые слова и фразы: алюмоиттриевый гранат; люминесценция; редкоземельные элементы.

Аннотация: Синтезированы твердые растворы, изучены люминесцентные и кинетические характеристики люминофора (Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)₃Al₅O₁₂, установлены зависимости интенсивности стоксовой ИК-люминесценции в диапазонах 960...1100, 1440...1680, 1830...2150 нм от концентрации ионов Ho³⁺ при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 940 нм. Проведен анализ полученных зависимостей и определен оптимальный состав (Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)₃Al₅O₁₂, обеспечивающий максимальную эффективность преобразования энергии из ближней ИК-области в область 2100 нм.

Введение

На современном этапе развития науки и техники остро стоит вопрос поиска материалов, которые способны эффективно преобразовывать энергию в ближнем и дальнем ИК-диапазонах длин волн. Анализ литературных данных показывает, что к числу наиболее перспективных материалов для преобразования энергии в ближнем ИК-диапазоне длин волн относятся алюминаты редкоземельных элементов (РЗЭ) со структурой граната, активированные ионами иттербия, эрбия и гольмия. В связи с этим проведение исследований, направленных на разработку поликристаллических люминофоров на основе алюмоиттриевого граната, активированных ионами иттербия, эрбия, гольмия при возбуждении в области излучения наиболее эффективных полупроводниковых светодиодов и лазеров, работающих в ИК-диапазоне, является актуальной задачей, имеющей важное научно-практическое значение.

Экспериментальная часть

Объектом исследования служили концентрационные серии образцов твердых растворов (Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)₃Al₅O₁₂, где $0 \leq x \leq 1$. Поскольку светотехнические параметры люминофоров чрезвычайно чувствительны к микропримесям посторонних редкоземельных ионов (РЗИ) [1], для синтеза образцов использовали особо чистые оксиды иттрия, иттербия и эрбия с содержанием основного вещества 99,995 – 99,999 %. Концентрационные серии образцов готовили твердофазным синтезом при температуре 1450 °С в течение 24 часов. Фазовый состав синтезированных образцов контролировали при помощи рентгено-фазового анализа (РФА) (дифрактометр Д-591, фирма «Siemens», Cu Kα-излучение Ni-фильтр). Съемка для

расчета параметров элементарной ячейки проводилась на модернизированном дифрактометре ДРОН-1. Параметры элементарных ячеек рассчитывали при помощи программы Unitcell, непосредственно предназначенной для порошкообразных образцов. Для ряда образцов измерения осуществляли на автодифрактометрическом комплексе CAD-4-ENX-SPD.

Стоксовое ИК-излучение образцов, возбуждаемое лазером Л-940/50/30 с длиной волны излучения 940 нм в слое порошка без связующего (геометрия $0...45^\circ$), регистрировали в области 960...2040 нм с помощью фотоприемного устройства ФПУ-1 и монохроматора МДР-204 для исследуемого и опорного образцов люминофора Л-54. Отношение максимальных интенсивностей спектральных полос люминесценции в области 960...2040 нм испытуемого и опорного образцов служило мерой интенсивности стоксовой ИК-люминесценции.

Кинетику затухания стоксовых ИК-полос люминесценции синтезированных образцов записывали с использованием монохроматора МДР-204 и фотоприемного устройства ФПУ-1. Возбуждение осуществляли импульсным полупроводниковым лазерным диодом АТС-С1000-100АМF-940-5-F200 с рабочей мощностью 800 мВт. Постоянную времени затухания определяли по кривой спада интенсивности послесвечения.

Результаты и их обсуждение

Анализ литературных данных показал, что для получения полос люминесценции в области 2100 нм наиболее приемлемым является ион гольмия за счет уникальной структуры термов, которые обеспечивают эффективное преобразование энергии из ближней ИК-области в энергию нужного диапазона. Однако для эффективного протекания процесса преобразования энергии возбуждающего излучения с длиной волны 940 нм необходимо дополнительно вводить в состав люминофора сенсibilизирующие ионы. Сопоставление энергетических структур ионов иттербия, эрбия и гольмия показало, что излучательные уровни этих ионов находятся в некоторой близости по значению энергии, и, предположительно, между ними может эффективно протекать передача энергии (рис. 1).

На рентгенограммах всех полученных образцов наблюдались четкие дифракционные максимумы, характерные для граната $Y_3Al_5O_{12}$, кристаллизующегося в кубической структуре (пространственная группа $Ia\bar{3}d (O^h_{10})$) [2]. Таким образом, можно сделать вывод, что все синтезированные образцы представляют собой однокомпонентные люминофоры с кубической структурой без примесных фаз.

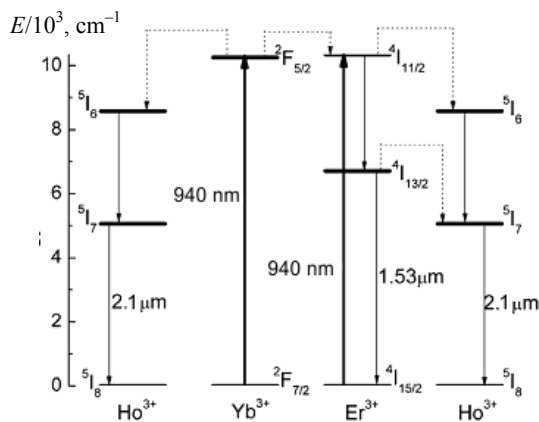


Рис. 1. Схема возможных энергетических переходов в твердых растворах $(Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$ при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 940 нм [4]

Проведен сопоставительный анализ схем энергетических уровней ионов гольмия, эрбия и иттербия (см. рис. 1) и сделан вывод, что энергетический зазор ΔE между возбужденными уровнями 5I_6 иона Ho^{3+} и $^4I_{11/2}$ иона Er^{3+} значительно меньше максимальной энергии фонона в кристаллической решетке алюмоиттриевого граната [3].

Для проверки предположения о том, что в системе с тремя активаторами – ионами иттербия, эрбия, гольмия, – эффективное заселение возбужденных уровней ионов гольмия может осуществляться посредством миграции энергии возбуждения через ион иттербия к иону гольмия и через ион эрбия к иону гольмия, проведен синтез концентрационной серии образцов твердых растворов с общей формулой $(\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,1}\text{Er}_{0,05}\text{Ho}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, где $10^{-4} \leq x \leq 10^{-1}$.

На рисунке 2 приведены фрагменты спектров стоксовой ИК-люминесценции твердых растворов $(\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,1}\text{Er}_{0,05}\text{Ho}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$.

Спектр стоксовой ИК-люминесценции представляет собой три широких области полос люминесценции в следующих диапазонах длин волн:

- 960...1100 нм, обусловленные излучательными переходами между штарковскими компонентами уровней $^2F_{7/2} \rightarrow ^2F_{5/2}$ в ионе иттербия [5, 6];
- 1440...1680 нм, обусловленные излучательными переходами между штарковскими компонентами уровней $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ в ионе эрбия [3];
- 1830...2150 нм, обусловленные излучательными переходами между штарковскими компонентами уровней $^5I_7 \rightarrow ^5I_8$ в ионе гольмия [4].

Сравнительный анализ спектров люминесценции твердых растворов $(\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,1}\text{Er}_{0,05}\text{Ho}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ при возбуждении излучением 940 нм позволил сделать вывод, что с увеличением концентрации Ho^{3+} существенно меняется интенсивность ИК-полос излучения в области 1450...2160 нм в пользу более длинноволновых полос. Такое изменение соотношения интенсивностей ИК-полос люминесценции Ho^{3+} может быть связано как с тривиальной реабсорбцией, так и с изменением при увеличении концентрации Ho^{3+} характера миграции энергии возбуждения по объему кристалла люминофора, в результате чего преимущественно

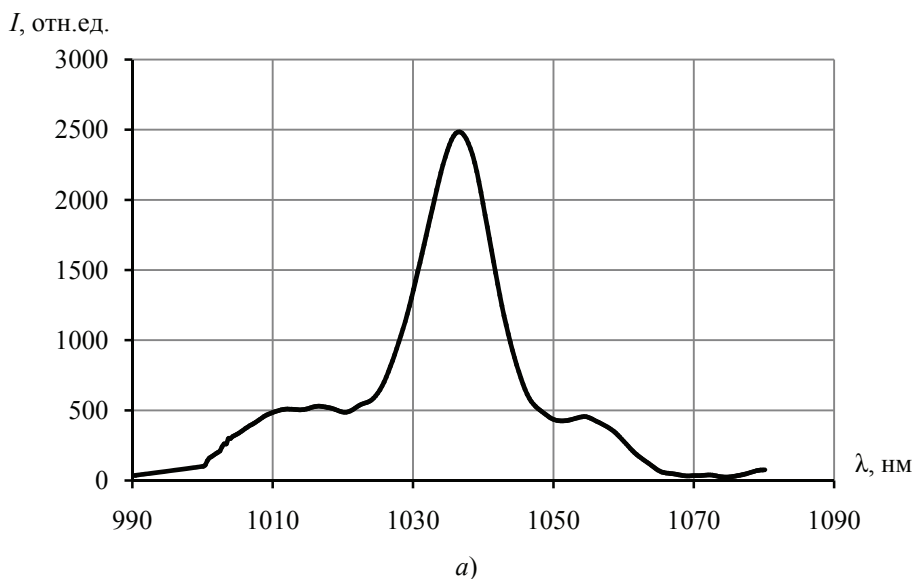
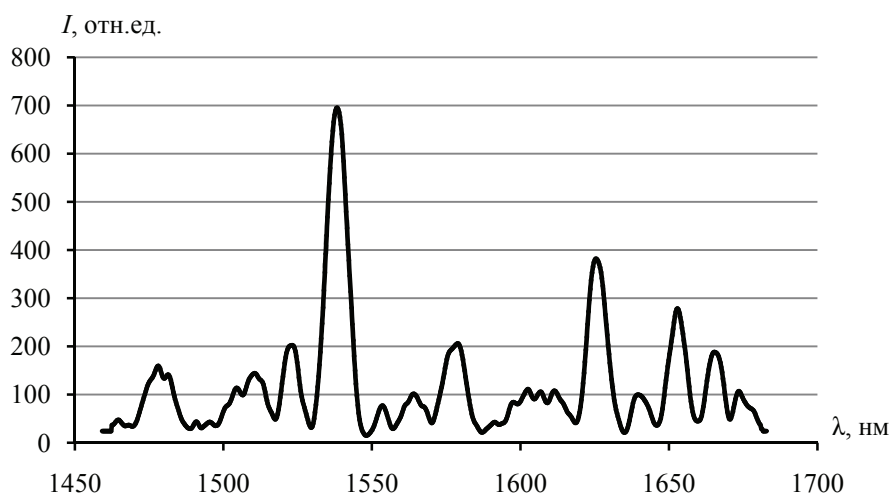
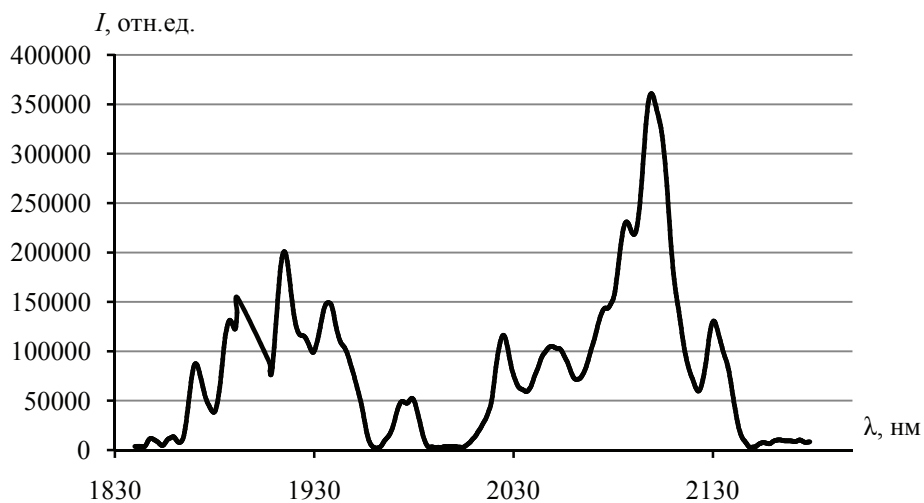


Рис. 2. Фрагмент спектра стоксовой ИК-люминесценции твердых растворов $(\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,1}\text{Er}_{0,05}\text{Ho}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 940 нм в области, нм:
a – 990...1070



б)



в)

Рис. 2. Продолжение:
б – 1440...1680; в – 1830...2150

оказываются заселенными низко расположенные по энергии метастабильные уровни ионов гольмия. Помимо этого с увеличением концентрации ионов гольмия растет вероятность осуществления процессов заселения излучательных уровней ионов Ho^{3+} , соответственно происходит более интенсивный отток энергии с излучательных уровней ионов Er^{3+} .

На рисунке 3 приведена зависимость интенсивности стоксовой ИК-люминесценции твердых растворов $(\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,1}\text{Er}_{0,05}\text{Ho}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ в области 2100 нм от концентрации ионов гольмия.

Характер указанной зависимости дает основания полагать, что в указанной системе при изменении концентрации ионов гольмия происходит совместное конкурирующее действие нескольких процессов, один из которых способствует усилению, а другие ослаблению стоксовой ИК-люминесценции ионов гольмия в $(\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,1}\text{Er}_{0,05}\text{Ho}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ при ИК-возбуждении. При низких концентрациях

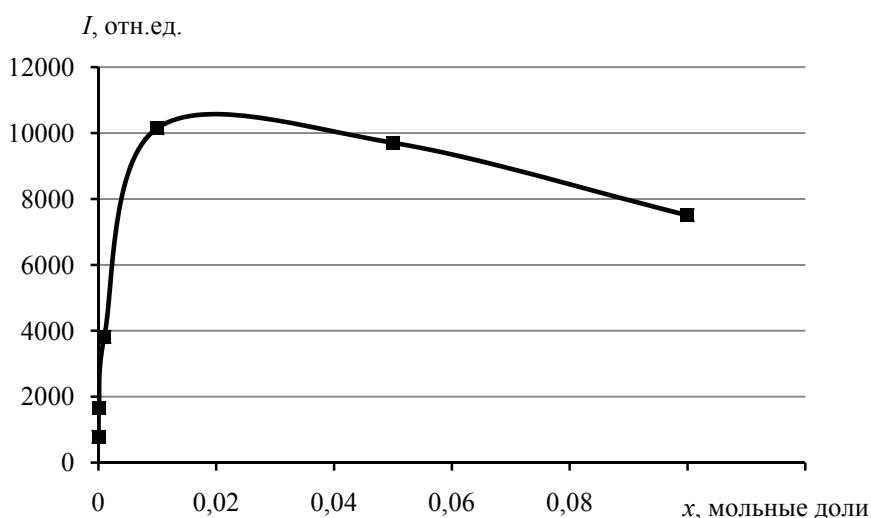


Рис. 3. Зависимость интенсивности стоксовой ИК-люминесценции твердых растворов $(Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$ в области 2100 нм от концентрации ионов Ho^{3+}

Ho^{3+} $0 \leq x \leq 10^{-3}$ увеличение их содержания в твердом растворе приводит почти к пропорциональному росту интенсивности ИК-люминесценции в области 2100 нм, что объясняется симбатным увеличением числа поглощающих и излучающих ионов гольмия. При таких концентрациях гольмия скорость миграции возбуждения по ионам активатора невелика, поэтому роль процессов, которые приводят к тушению стоксовой ИК-люминесценции гольмия в области 2100 нм весьма незначительна. При дальнейшем увеличении концентрации ионов гольмия $10^{-3} \leq x \leq 10^{-2}$ происходит значительное увеличение вероятности миграции энергии, а также пространственное сближение возбужденных ионов гольмия с различными тушащими центрами, и, как следствие, к развитию процесса тушения. В результате совместного конкурирующего действия вышеуказанных процессов, дальнейший рост интенсивности стоксовой ИК-люминесценции в области 2100 нм замедляется, при концентрации ионов гольмия $x = 0,01$ достигает своего максимального значения.

Значительное влияние концентрация ионов гольмия оказывает на соотношение и интенсивность других полос люминесценции, обусловленных оптическими переходами внутри ионов иттербия и эрбия.

Поскольку предполагается, что энергия возбуждающего излучения в данном случае передается последовательно через ион иттербия на ион эрбия и на ион гольмия, целесообразно изучить характер изменения интенсивности излучения, обусловленного энергетическими переходами в ионе иттербия от концентрации ионов гольмия.

На рисунке 4 представлены логарифмические зависимости интенсивности люминесценции в полосах 1036 и 1577 нм от концентрации гольмия, где обе зависимости имеют вид падающих кривых. При нулевой концентрации ионов гольмия интенсивность полосы люминесценции в области 1036 нм максимальна. При увеличении концентрации ионов гольмия в пределах $10^{-4} \leq x \leq 5 \cdot 10^{-2}$ наблюдается существенное уменьшение интенсивности люминесценции в области 1036 нм. При дальнейшем увеличении концентрации ионов гольмия наблюдается более резкое падение интенсивности люминесценции и достигает минимума при максимальной концентрации ионов гольмия $x = 10^{-1}$.

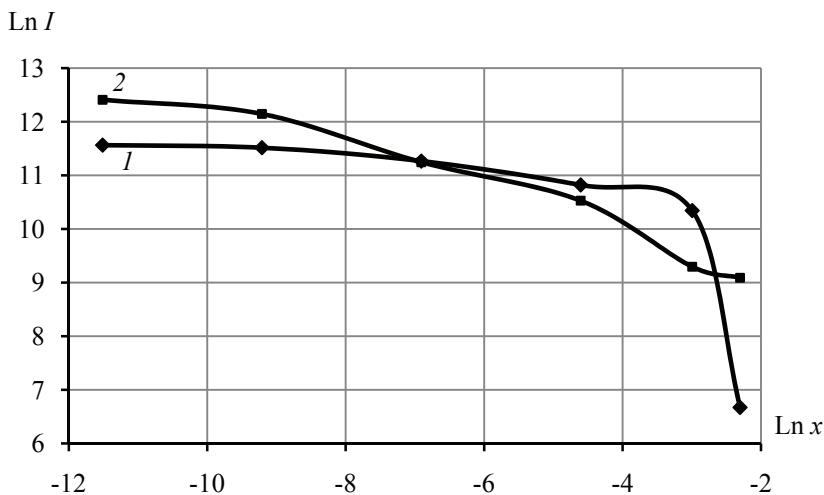


Рис. 4. Логарифмические зависимости интенсивности люминесценции в полосах 1036 (1) и 1577 нм (2) в твердом растворе $(Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$ от концентрации ионов Ho^{3+} .

Аналогично для полосы люминесценции в области 1577 нм при нулевой концентрации ионов гольмия интенсивность этой полосы люминесценции максимальна. При увеличении концентрации ионов гольмия интенсивность данной полосы люминесценции значительно снижается и при максимальной концентрации ионов гольмия становится минимальной.

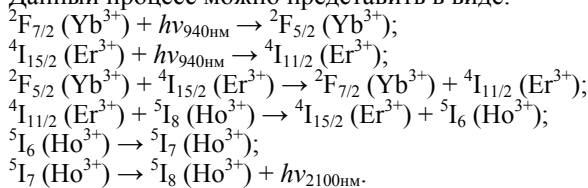
Такие зависимости свидетельствуют об эффективном оттоке энергии с излучательных уровней иттербия и эрбия на излучательные уровни иона Ho^{3+} , тем самым увеличивая его населенность носителями заряда и вероятность излучательных процессов со штарковских компонентов уровня 5I_7 на основной уровень 5I_8 иона Ho^{3+} .

На основе анализа указанных зависимостей можно сделать вывод, что концентрация ионов гольмия вносит существенный вклад в общий характер люминесценции – интенсивность и соотношение полос люминесценции в твердых растворах $(Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$ – и дает основания полагать, что наряду с процессом последовательной передачи энергии возбуждающего излучения через излучательные уровни ионов иттербия, эрбия на ион гольмия существует процесс прямой передачи энергии возбуждения с излучательного уровня иона иттербия на ион гольмия. Таким образом, на основе вышеприведенного материала можно описать механизм люминесценции твердого раствора $(Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$ при ИК-возбуждении.

При возбуждении твердых растворов $(Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$ лазерным излучением с длиной волны 940 нм электроны из основного состояния $^2F_{7/2}$ иона Yb^{3+} поглощают фотоны энергии и переходят в возбужденное состояние $^2F_{5/2}$. При этом часть энергии расходуется на излучение при переходе электронов обратно на основной уровень, что обуславливает появление люминесценции в области 960...1100 нм. Одновременно с этим процессом существует другой процесс, заключающийся в том, что часть энергии с возбужденного уровня $^2F_{5/2}$ иона Yb^{3+} поглощается ионом гольмия и приводит к переводу электронов с основного уровня 5I_8 в возбужденный уровень 5I_6 , после чего происходит релаксация энергии на нижележащий уровень 5I_7 . С уровня 5I_7 происходит излучательный переход на основной уровень иона Ho^{3+} 5I_8 , это приводит к появлению люминесценции в области 2,1 мкм. Уровень $^4I_{11/2}$ иона Er^{3+} является более близким по значению энергии к уровню $^2F_{5/2}$ иона Yb^{3+} , чем уровень $^4I_{11/2}$ иона Ho^{3+} , соответственно можно

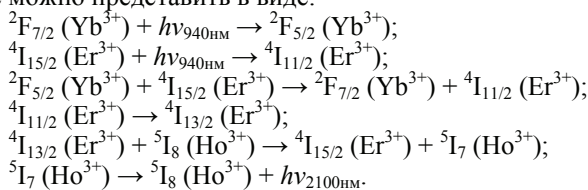
сделать вывод, что механизм передачи энергии по схеме ${}^2F_{5/2}(\text{Yb}^{3+}) \rightarrow {}^4I_{11/2}(\text{Er}^{3+})$ является более вероятным, чем процесс передачи энергии по схеме ${}^2F_{5/2}(\text{Yb}^{3+}) \rightarrow {}^5I_6(\text{Ho}^{3+})$, при этом часть энергии с возбужденного уровня ${}^2F_{5/2}$ иона Yb^{3+} резонансно передается на уровень ${}^4I_{11/2}$ иона Er^{3+} , откуда часть энергии сразу передается на уровень 5I_6 иона Ho^{3+} .

Данный процесс можно представить в виде:



Время жизни уровня ${}^4I_{11/2}$ иона Er^{3+} составляет 100 мкс [9], что приводит к малой вероятности указанного процесса.

Третий канал заселения излучательного уровня 5I_7 иона Ho^{3+} заключается в следующем процессе. Часть энергии с возбужденного уровня ${}^2F_{5/2}$ иона Yb^{3+} передается на уровень ${}^4I_{11/2}$ иона Er^{3+} , затем энергия за счет многофононной релаксации передается на нижележащий уровень ${}^4I_{13/2}$. С уровня ${}^4I_{13/2}$ иона Er^{3+} энергия передается на уровень 5I_7 иона Ho^{3+} , откуда совершается излучательный энергетический переход ${}^5I_7 \rightarrow {}^5I_8$ с люминесценцией в области 2100 нм. Данный процесс можно представить в виде:



В пользу указанного механизма также говорит тот факт, что энергия, западаемая на возбужденном уровне иона эрбия ${}^4I_{11/2}$ частично переходит безызлучательно на возбужденный уровень 5I_6 иона гольмия, что приводит к снижению интенсивности заселения излучательного уровня ${}^4I_{13/2}$, следовательно интенсивность излучательного перехода ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ в ионе Er^{3+} падает, что и видно из логарифмической зависимости интенсивности люминесценции в области 1440...1680 нм от концентрации ионов Ho^{3+} , представленной на рис. 4.

Изменение концентрации ионов гольмия в составе твердых растворов оказывает заметное влияние на кинетику стоксовой ИК-люминесценции твердых растворов $(\text{Y}_{0.85-x}\text{Yb}_{0.1}\text{Er}_{0.05}\text{Ho}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$.

Для полосы люминесценции 1036 нм при увеличении концентрации ионов гольмия в диапазоне $10^{-4} \leq x \leq 10^{-2}$ постоянная затухания люминесценции τ непрерывно уменьшается. В диапазоне концентраций $10^{-4} \leq x \leq 10^{-2}$ с увеличением концентрации наиболее существенно снижается постоянная затухания от 380 до 270 мкс. При дальнейшем увеличении концентрации $10^{-2} \leq x \leq 10^{-1}$ наблюдается более пологая зависимость, и постоянная затухания снижается не так значительно в пределах от 270 до 250 мкс. Для твердых растворов с максимальной интенсивностью люминесценции в полосе 1036 нм постоянная затухания в этой полосе составляет 380 мкс.

Как видно из рис. 5, при увеличении концентрации ионов гольмия в диапазоне $0 \leq x \leq 10^{-2}$ постоянная затухания люминесценции в полосе 2100 нм резко уменьшается от 360 до 220 мкс. При увеличении концентрации ионов Ho^{3+} в составе твердого раствора продолжается снижение постоянной затухания, однако, характер этого снижения более пологий, и в пределах концентрации $10^{-2} \leq x \leq 10^{-1}$ постоянная затухания меняется от 220 до 210 мкс.

Построена зависимость постоянной затухания для полосы люминесценции 1577 нм, которая представлена на рис. 6.

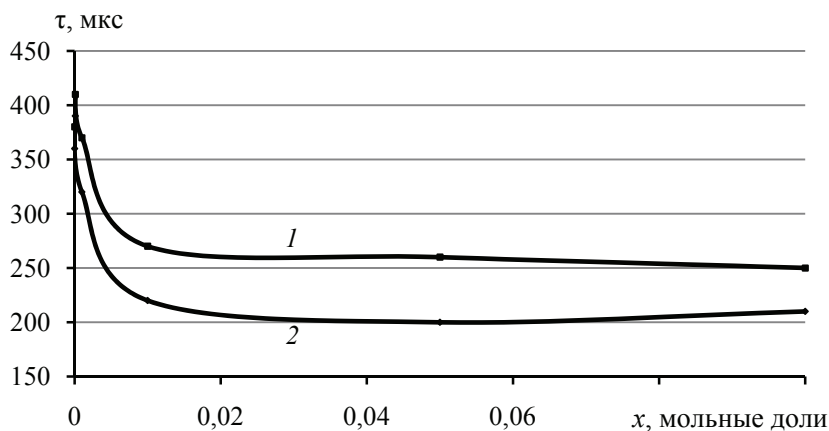


Рис. 5. Зависимость постоянной затухания для полос люминесценции 1 – 1036 нм и 2 – 2100 нм в твердом растворе $(Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$

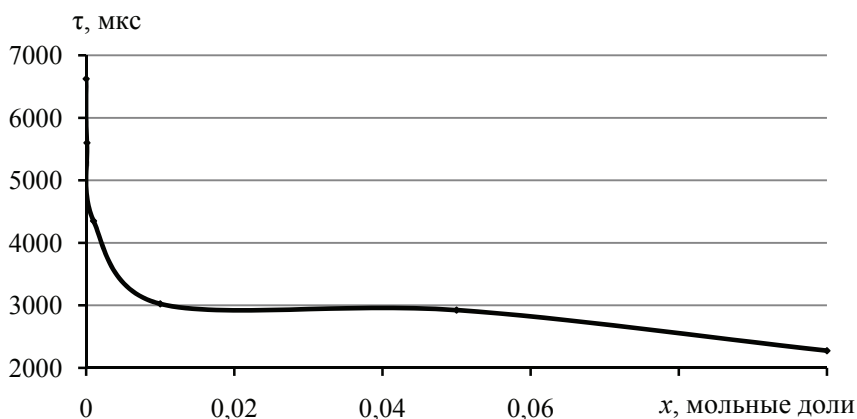


Рис. 6. Зависимость постоянной затухания полосы люминесценции 1577 нм в твердом растворе $(Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$

На рисунке 6 при увеличении концентрации ионов гольмия в диапазоне $0 \leq x \leq 10^{-2}$ постоянная затухания люминесценции в полосе 1577 нм резко уменьшается почти в два раза от 6625 до 3025 мкс. При увеличении концентрации ионов Ho^{3+} в составе твердого раствора продолжается снижение постоянной затухания, однако, характер этого снижения более пологий, и в пределах концентрации $10^{-2} \leq x \leq 10^{-1}$ постоянная затухания меняется от 3025 до 2275 мкс.

Анализируя все полученные кинетические характеристики (см. рис. 5, 6), можно сделать вывод, что поскольку все зависимости характеризуются падающими кривыми, для всех ионов в решетке алюмоиттриевого граната действуют общие закономерности, возникающие при изменении их концентрации в кристаллической решетке твердого раствора $(Y_{0,85-x}Yb_{0,1}Er_{0,05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$. Так, при увеличении концентрации ионов Ho^{3+} увеличивается вероятность заселения их излучательных уровней за счет миграции энергии возбуждения от ионов Yb^{3+} и Er^{3+} по представленным выше механизмам. При увеличении концентрации увеличивается вероятность пространственного сближения возбужденных ионов активатора и вероятность безызлучательной рекомбинации с различными тушащими центрами в объеме кристалла. Следствием этого является уменьшение времени послесвечения. Как видно из представленных данных, постоянная затухания лю-

минесценции в полосах, обусловленных излучательными переходами в ионах иттербия и гольмия, сопоставимыми по значению, так во всем исследованном диапазоне концентраций ионов Ho^{3+} , постоянная затухания в полосе 1036 нм меняется от 380 до 250 мкс, а в полосе 2100 нм – от 360 до 210 мкс. По сравнению с этими значениями, излучательные уровни ионов Er^{3+} являются более долгоживущими, так как в исследованном диапазоне концентраций ионов Ho^{3+} постоянная затухания в полосе 1577 нм меняется от 6625 до 2275 мкс. Однако, несмотря на различие абсолютной величины значения послесвечения при различных концентрациях, общий характер кривой повторяет характеры зависимостей изменения постоянной затухания люминесценции в других полосах, что говорит об общности влияющих факторов на кинетические характеристики ионов РЗЭ в кристаллической решетке алюмоиттриевого граната.

Заключение

Проведен синтез твердых растворов $(\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,1}\text{Er}_{0,05}\text{Ho}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, предложены механизмы стоксовой ИК-люминесценции в диапазонах 960...1100, 1440...1680, 1830...2150 нм, а также зависимости интенсивностей люминесценции в соответствующих полосах от концентрации вводимых активаторов, установлены оптимальные составы люминофоров, обеспечивающие максимальную интенсивность люминесценции в указанных областях. Изучены кинетические характеристики твердых растворов $(\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,1}\text{Er}_{0,05}\text{Ho}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$.

Список литературы

1. Влияние чистоты исходных веществ на интенсивность люминесценции эрбия в антистоксовых люминофорах / О.Я. Манаширов [и др.] // Высокочистые вещества. – 1988. – № 3. – С. 198–201.
2. Geller, S. Crystal Chemistry of the Garnets / S. Geller // Z. Kristallographic. – 1967. – Vol. 125, No. 1–6. – P. 1–47.
3. White, Jeffrey O. Measurement of Upconversion in Er:YAG Via z-scan / Jeffrey O. White, Carl E. Mungan // Opt. Soc. Am. B. – Vol. 28, No. 10. – P. 2358–2361.
4. Yi, L.X. Emission Properties of Ho^{3+} : $^5\text{I}_7 \rightarrow ^5\text{I}_8$ Transition Sensitized by Er^{3+} and Yb^{3+} in Fluorophosphates Glasses / L.X. Yi, S.Y. Wang, G.N. Chen // Optical Materials. – 2009. – Vol. 31. – P. 1586–1590.
5. Синтез и исследования алюмоиттриевых гранатов, легированных неодимом и иттербием / Г.В. Зимина [и др.] // Журн. неорган. химии. – 2010. – Т. 55, № 12. – С. 1945–1948.
6. Синтез и исследование ИК-люминесценции твердых растворов $(\text{Y}_{1-x}\text{Yb}_x)_2\text{O}_3$ при лазерном возбуждении / О.Я. Манаширов [и др.] // Вестн. Сев.-Кавказ. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 8. – С. 14–24.

Synthesis and Kinetic Study of Fluorescent Properties of Solid Solutions $(\text{Y}_{0,85-x}\text{Yb}_{0,1}\text{Er}_{0,05}\text{Ho}_x)_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$

E.I. Pozdnyakov, V.A. Vorobyev

*Department of Technology of Nanomaterials,
North-Caucasian Federal University, Stavropol;
EgPozd@yandex.ru*

Key words and phrases: luminescence; rare earth elements; yttrium-aluminum garnet.

Abstract: Solid solutions of $(Y_{0.85-x}Yb_{0.1}Er_{0.05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$ have been synthesized, their luminescent and kinetic characteristics have been studied, the dependence of the intensity of the Stokes IR luminescence in the range of 960...1100, 1440...1680, 1830...2150 nanometers, the concentration of ions Ho^{3+} , when excited by laser radiation with a wavelength of 940 nanometers have been identified. The analysis of the obtained relationships and determined the optimal composition of the phosphor $(Y_{0.85-x}Yb_{0.1}Er_{0.05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$, for maximum energy conversion efficiency from the near-infrared region at 2100 nm has been made.

Synthese und Erlernen der Leucht- und Kinetikeigenschaften der festen Lösungen $(Y_{0.85-x}Yb_{0.1}Er_{0.05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$

Zusammenfassung: Es sind die festen Lösungen des Bestandes des Leuchtstoffes $(Y_{0.85-x}Yb_{0.1}Er_{0.05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$ synthetisiert, es sind ihre Leucht- und Kinetikcharakteristiken erlernt, es sind die Abhängigkeiten der Intensität der stoksischen IR-Lumineszenz in den Umfängen 960...1100, 1440...1680, 1830...2150 nm, von der Konzentration der Ionen Ho^{3+} , bei der Anregung von der Laserausstrahlung mit der Länge der Welle 940 nm bestimmt. Es ist die Analyse der erhaltenen Abhängigkeiten durchgeführt und es ist der optimale Bestand des Leuchtstoffes $(Y_{0.85-x}Yb_{0.1}Er_{0.05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$, der die maximale Effektivität der Umwandlung der Energie aus dem nahen IR-Gebiet ins Gebiet 2100 nm gewährleistet, bestimmt.

Synthèse et étude des propriétés luminescentes et cinétiques des solutions solides $(Y_{0.85-x}Yb_{0.1}Er_{0.05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$

Résumé: Sont synthésées les solutions solide de la composition de luminophore $(Y_{0.85-x}Yb_{0.1}Er_{0.05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$ sont étudiées les caractéristiques luminescentes et cinétiques, sont établies les dépendances de l'intensité de la IR luminescence de stock dans la gamme 960...1100, 1440...1680, 1830...2150 nm de la concentration des ions Ho^{3+} lors de l'excitation par le rayonnement laser avec la longueur de l'onde 940 nm. Est effectuée une analyse des dépendances reçues, est déterminée la composition optimale de luminophore $(Y_{0.85-x}Yb_{0.1}Er_{0.05}Ho_x)_3Al_5O_{12}$, assurant une efficacité maximale de la conversion de l'énergie du prochain domaine dans celui de 2100 nm.

Авторы: *Поздняков Егор Игоревич* – аспирант кафедры технологии наноматериалов; *Воробьев Виктор Андреевич* – доктор технических наук, профессор кафедры технологии наноматериалов, ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь.

Рецензент: *Валухов Дмитрий Петрович* – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и электроники, ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь.