

Рисунок 3 – Полная эффективность переноса энергии (а) и эффективность переноса за счет кросс-релаксации (б):
 Δ – образцы А; ○ – образцы В; □ – образцы С

Спектральные плотности мощности были определены из спектров люминесценции, зарегистрированных при стационарном возбуждении.

УДК 621.375.826

**СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛА
 ГАДОЛИНИЙ-ИТТРИЕВОГО СИЛИКАТА Er,Yb:GdYSiO₅
 Горбаченя К.Н.¹, Дейнека Р.В.¹, Кисель В.Э.¹, Ясюкевич А.С.¹, Гоман В.И.²,
 Павловский Л.К.², Кулешов Н.В.¹**

¹НИЦ «Оптических материалов и технологий» БНТУ

Минск, Республика Беларусь

²НП ООО «СОЛИКС»

Минск, Республика Беларусь

Лазерное излучение с длиной волны 1.5–1.6 мкм имеет ряд достоинств, интересных для широкого практического применения в лазерной дальнометрии, медицине, системах оптической локации и лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии благодаря целому ряду причин. Основным преимуществом указанного излучения является условная безопасность для органов зрения людей вследствие того, что малая часть излучения попадает на сетчатку, поглощаясь до нее роговицей и хрусталиком. Кроме того, из-за высокого поглощения излучения водой при микрохирургических вмешательствах на поверхности прозрачных тканей глаза излучением данной длины волны уменьшаются глубина термического некроза и порог абляции. К тому же, благодаря прозрачности атмосферы, а также высокому пропусканию излучения с длиной волны 1.5–1.6 мкм

На Рис.2 представлены спектры для некоторых образцов стекла.

Регистрация спектров люминесценции проводилась методом синхронного детектирования. В качестве источника накачки использовался лазерный диод, генерирующий излучение на длине волны 802 нм. Оптическая и регистрирующая части установки: монохроматор МДР 23, фотоприемник на основе PbS фотосопротивления и синхронный усилитель SR830. Спектры люминесценции были скорректированы на спектральную чувствительность установки.

На Рис. 3 представлены результаты расчетов эффективности переноса энергии для образцов стекол (А, В и С) с различным содержанием ионов тулия

Как видно из Рис. 3, при увеличении содержания ионов тулия в образцах, эффективность переноса энергии практически полностью определяется кросс-релаксацией и не зависит от содержания PbO и PbF₂ в исходном составе, из которого синтезировалось стекло.

Литература

1. Вилейшикова, Е.В. Спектрально-люминесцентные свойства оксифторидных стекол, соактивированных ионами (Yb³⁺, Eu³⁺) и (Yb³⁺, Tb³⁺) / Е.В. Вилейшикова, П.А. Лойко, Г.Е. Рачковская, Г.Б. Захаревич, К.В. Юмашев // Журнал прикладной спектроскопии. – 2016. – Т 83, №4. – С. 531–538.

в условиях тумана, дыма и пара, лазерные источники указанного диапазона используются в системах оптической локации и дистанционного зондирования Земли.

В настоящее время существует большое количество источников лазерного излучения с длиной волны 1.5–1.6 мкм: волоконные лазеры, полупроводниковые лазеры, параметрические генераторы света и лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния. Однако благодаря простоте и компактности конструкции, наибольший интерес разработчиков лазерных систем привлекают твердотельные лазеры на основе материалов, соактивированных ионами эрбия и иттербия. Основными требованиями, которые предъявляются к эрбий-иттербиевым материалам для получения эффективной лазерной генерации в области 1.5 мкм, являются:

– эффективное поглощение излучения накачки ионами иттербия в области 980 нм и последующий эффективный перенос энергии от ионов иттербия к ионам эрбия;

– быстрая безызлучательная релаксация с уровня ${}^4I_{11/2}$ ионов эрбия на верхний лазерный уровень ${}^4I_{13/2}$ для минимизации потерь, связанных с обратным переносом энергии от ионов эрбия к ионам иттербия и ап-конверсионными переходами на вышележащие уровни;

– высокий квантовый выход люминесценции с уровня ${}^4I_{13/2}$ для сохранения невысокого порога лазерной генерации.

На сегодняшний день поиск кристаллической матрицы с ионами эрбия и иттербия, удовлетворяющей приведенным спектроскопическим требованиям для получения эффективной лазерной генерации в спектральной области около 1.5 мкм и имеющей высокую теплопроводность, является актуальной задачей. В данной работе проведено исследование спектрально-люминесцентных свойств кристалла гадолиний-иттриевого силиката Er,Yb:GdYSiO₅.

Измерение абсорбционных свойств кристаллов GdYSiO₅, легированных ионами Er³⁺ и Yb³⁺, производилось при комнатной температуре на двухлучевом спектрофотометре Varian CARY 5000 в двух спектральных областях: 800-1100 нм, соответствующей энергетическим переходам ${}^2F_{7/2} \rightarrow {}^2F_{5/2}$ ионов иттербия и ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ ионов эрбия, и 1450-1600 нм, соответствующей энергетическому переходу ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ ионов эрбия. Для записи спектров в поляризованном свете в оба канала спектрофотометра помещались поляризационные призмы Глана-Тейлора. Спектральное разрешение прибора варьировалось от 0.4 нм до 2.0 нм.

Учитывая ориентацию исследуемых образцов, регистрировались два спектра поглощения для различных направлений колебания вектора напряженности электрического поля E ($E//a$, $E//b$, где a , b – кристаллографические оси кристалла). На рисунке 1 приведены спектры поперечных сечений поглощения кристалла Er,Yb:GdYSiO₅ в спектральной области 800–1100 нм.

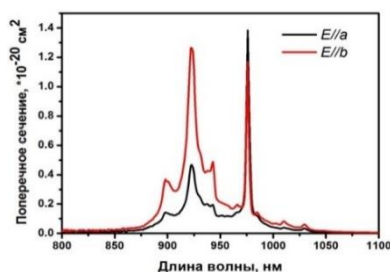


Рисунок 1 – Спектры поперечных сечений поглощения в области 800–1100 нм

В спектрах поперечных сечений поглощения в спектральной области 800-1100 нм наблюдаются две интенсивные полосы поглощения с пиками на длинах волн 920 нм и 975 нм. Максимальное значение поперечного сечения поглощения составляет 1.4×10^{-20} см² на длине волны 975 нм и соответствует поляризации $E//a$. Спектральная ширина полосы поглощения составляет 3.5 нм.

На рисунке 2 представлены спектры поперечных сечений поглощения в спектральной области 1400-1650 нм, зарегистрированные при использовании кристалла Er:GdYSiO₅. В спектрах наблюдаются интенсивные полосы поглощения с пиком на длине волны 1529 нм. Для поляризации $E//b$ максимальное значение поперечного сечения поглощения достигает 1.2×10^{-20} см².

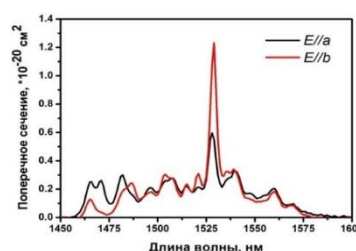


Рисунок 2 – Спектры поперечных сечений поглощения в области 1450–1600 нм

Измерение спектров люминесценции исследуемых объектов проводилось по методу синхронного детектирования. На рисунке 3 представлены спектры люминесценции для двух поляризаций, зарегистрированные при комнатной температуре в спектральной области 1400-1700 нм (переход ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ионов эрбия). В спектре наблюдается набор узких дискретных полос для двух поляризаций.

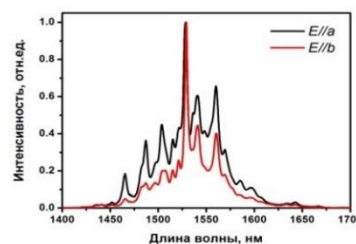


Рисунок 3 – Спектры люминесценции в области 1450-1650 нм

Целью проведения измерений кинетик люминесценции было определение времени жизни возбужденных состояний ${}^4I_{11/2}$ и ${}^4I_{13/2}$ ионов эрбия в кристалле GdYSiO₅, легированном только ионами эрбия, и ${}^2F_{5/2}$ ионов иттербия в кристалле GdYSiO₅, легированном ионами эрбия и иттербия. Сигнал люминесценции с уровня ${}^4I_{13/2}$ ионов Er³⁺ в области около 1.5 мкм имел участки разгорания и затухания. Затухание люминесценции носило моноэкспоненциальный характер. Резуль-

таты представлены на рисунке 4. Обработка данных, полученных в ходе измерений, показала, что время жизни уровня ${}^4I_{13/2}$ ионов эрбия в кристалле Er:GdYSiO₅ составляет 7.2 мс.

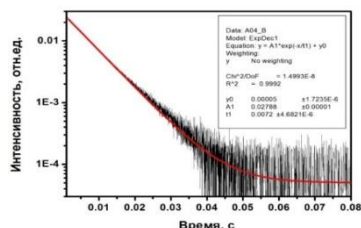


Рисунок 4 – Кинетика затухания люминесценции с уровня ${}^4I_{13/2}$ ионов эрбия

Время жизни уровня ${}^4I_{11/2}$ составило 20 мкс. Сравнительно короткое время жизни уровня ${}^4I_{11/2}$ снижает потери, связанные с обратным переносом энергии от ионов иттербия к ионам эрбия и ап-конверсионными переходами на вышележащие уровни. Эффективность переноса энергии от ионов иттербия к ионам эрбия оценивалась по сокращению времени жизни уровня ${}^2F_{5/2}$ ионов иттербия в кристалле GdYSiO₅, соактивированном ионами Er и Yb, относительно соответствующего

времени жизни в кристалле, активированном только ионами Yb [1]. Время жизни верхнего уровня ионов Yb³⁺, измеренное в кристалле Er,Yb:GdYSiO₅, составило 180 мкс. Время жизни верхнего уровня ионов Yb³⁺ в кристалле Yb:GdYSiO₅ для оценки эффективности переноса энергии было взято из литературы (670 мкс [2]). Таким образом, результаты расчетов показывают, что эффективность переноса энергии Yb→Er в кристалле силиката достигает 73 %.

Проведенные исследования спектроскопических характеристик кристаллов Er,Yb:GdYSiO₅ показали, что кристалл является перспективным для использования в качестве активной среды лазеров спектрального диапазона 1.5-1.6 мкм, работающих в непрерывном режиме генерации и режиме пассивной модуляции добротности.

Литература

1. Optimization of Er,Yb:YCOB for CW laser operation / P.A. Burns [et al.] // IEEE Journal of Quantum Electronics. – 2004. – Vol. 40, № 11. – P. 1575–1582.
2. Growth and Spectroscopic Characteristics of Yb:GSO Single Crystal / C. Yan [et al.] // J. Phys. Con. Mat. – 2006. – Vol. 18. – P. 1325–1330.

УДК 535.421; УДК 681.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИБОРАХ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Шкадаревич А.П., Вершинин А.А., Храмцов Э.А.

Научно-производственное унитарное предприятие
Научно-технический центр «ЛЭМТ» БелОМО
Минск, Республика Беларусь

Голографический способ записи оптических изображений основан на способности оптической структуры, записанной в регистрирующем слое и называемой голограммой, создавать точную копию светового пучка,шедшего от объекта во время записи [1]. Голограмма представляет собой амплитудный или фазовый «отпечаток» интерференционной картины от когерентных объектного и опорного световых пучков [2].

Одним из основных параметров характеризующих голограммы – дифракционная эффективность η , которое определяется как отношение потока излучения в дифрагированной волне данного порядка дифракции к падающему на голограмму потоку излучения.

Одним из направлений голографии – создание голографических оптических элементов (ГОЭ).

На примере традиционной линзы и голограммной, фокусное расстояние первой определяется рабочей длиной волны излучения, материалом, из которого сделана линза и ее геометрической формой. Фокусное же расстояние голограммной линзы, определяется в большей степени соотношением длин волн записи и восстановления го-

лограммы и геометрическими параметрами схемы ее записи и в меньшей степени от материала и геометрической формы[3].

Возможность применения ГОЭ для формирования мнимого изображения удаленных «на бесконечность» представляет интерес уже много десятилетий. Одним из ярких примеров применения ГОЭ в приборах двойного назначения – коллиматорные голографические прицелы. Принцип такого прицела основан на восстановлении голограммы изображения прицельной марки, пример которой представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фотография голограммы прицельной марки

Основными преимуществами таких прицелов по сравнению с классическими коллиматорными: 1) отсутствие демаскирующих признаков;