

перпендикулярности ~ 10 угл. мин. значимого ухудшения контраста не наблюдалось.

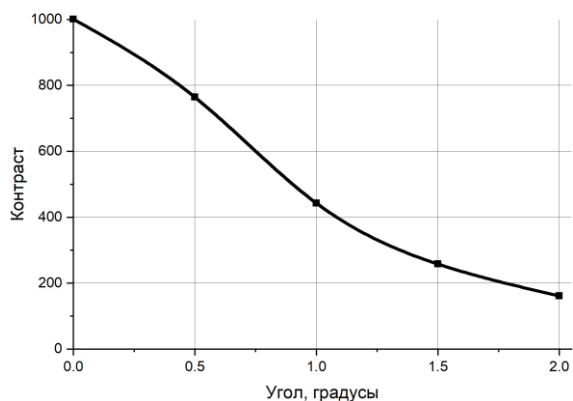


Рисунок 2 – Зависимость контраста от угла поворота осей индикатрисы относительно геометрических осей кристалла

Таким образом, в ходе моделирования были получены следующие основные результаты: отклонение от номинального положения продольной оси

кристаллов в любых направлениях на углы порядка единиц градусов не приводит к заметным изменениям контраста. Отклонение положения оптической индикатрисы на величины порядка одного градуса приводит к падению контраста более чем в два раза. Следовательно, данный параметр должен контролироваться с точностью до угл. минут при вырезании кристаллов. При развороте кристаллов вокруг продольной оси уже на углы порядка десяти угл. мин. происходит значительное падение контраста. Таким образом, данный параметр должен жестко контролироваться при монтаже. Кроме того, технология изготовления и монтажа узла крепления кристаллов должна обеспечивать устойчивость данного параметра во всем рабочем диапазоне температур.

Литература

1. Peters, C.J. Gigacycle-bandwidth coherent-light traveling-wave amplitude modulator / C.J. Peters // Proceedings of the IEEE. – 1965. – Vol. 53, № 5. – P. 455–460.
2. Electro-optic coefficients of lithium tantalate at near-infrared wavelengths / L. Joanna [et al.] // J. Opt. Soc. Am. B. – 2004. – Vol. 21, № 11. – P. 1948–1952.

УДК 621.3.038.825.2

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $\text{Yb:Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$

Лазарчук А.И., Кисель В.Э., Ясюкевич А.С., Гоман В.И.

НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Исследованы спектроскопические характеристики кристалла $\text{Yb:Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ в поляризованном свете. Измерены спектры поглощения, исследованы кинетики люминесценции, оценено время жизни верхнего лазерного уровня $^2\text{F}_{5/2}$ иона иттербия, определены значения поперечных сечений поглощения и стимулированного излучения.

Ключевые слова: спектроскопические свойства, кристалл, трехвалентные ионы иттербия, кинетика затухания люминесценции.

SPECTROSCOPIC PROPERTIES OF $\text{Yb:Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ CRYSTALS

Lazarchuk A.I., Kisel V.E., Yasukevich A.S., Goman V.I.

Center for Optical Materials and Technologies BNTU
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The spectroscopic properties of the $\text{Yb:Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ crystal in polarized light were investigated. Absorption spectra were measured, luminescence kinetics were investigated, the lifetime of the upper $^2\text{F}_{5/2}$ laser level of the ytterbium ion was estimated, and the absorption and stimulated emission cross sections were determined.

Key words: spectroscopic properties, crystal, trivalent ytterbium ions, kinetics of luminescence decay.

Адрес для переписки: Лазарчук А.И., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: lazartschuk1405@gmail.com

Наличие мощных лазерных диодов InGaAs в спектральной области поглощения ионов Yb^{3+} (940–980 нм) и высокая эффективность лазеров на ионах иттербия стимулировали повышенный интерес к исследованию твердотельных материалов, легированных Yb, для различных типов лазеров, излучающих в спектральном диапазоне около 1 мкм.

Основными достоинствами кристаллов с ионами Yb^{3+} являются: простая схема уровней

энергии (2 мультиплета), что приводит к отсутствию потерь на поглощение из возбужденного состояния, апконверсию, кросс-релаксацию и другие концентрационные эффекты; низкая разница в энергиях квантов накачки и генерации, что сильно снижает тепловыделение в активной лазерной среде; широкая полоса усиления (до 20–30 нм) позволяет генерировать импульсы фемтосекундной длительности.

Также кристаллы с ионами Yb^{3+} характеризуются спектроскопическими характеристиками, удовлетворяющими требованиям для получения эффективной лазерной генерации, и высокой теплопроводностью, что позволяет судить о перспективности их использования в качестве активных сред лазеров с высокой средней мощностью, работающих в спектральных областях около 1 мкм.

В данной работе представлены результаты исследований спектроскопических свойств кристаллов $\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$, легированных ионами иттербия Yb^{3+} .

Для исследований спектров поглощения в поляризованном свете был использован кристалл $\text{Yb}:\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ с содержанием ионов иттербия 0,5 масс.% ориентированный вдоль главных осей оптической индикатрисы кристалла Ng, Nm, Np. Измерение производилось при комнатной температуре на двухлучевом спектрофотометре Varian CARY 5000 в спектральной области: 800–1150 нм, соответствующей энергетическим переходам ${}^2\text{F}_{7/2} \rightarrow {}^2\text{F}_{5/2}$ ионов иттербия. Спектры для кристалла $\text{Yb}:\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ представлены на рисунке 1.

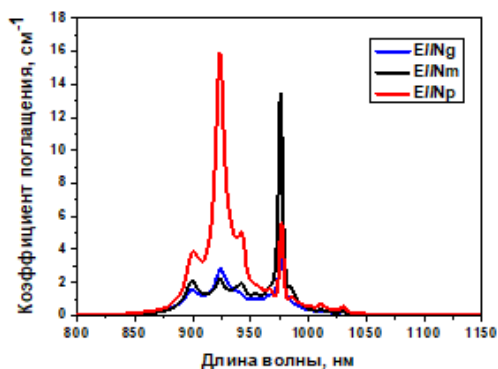


Рисунок 1 – Поляризованные спектры поглощения кристалла $\text{Yb}^{3+}:\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$

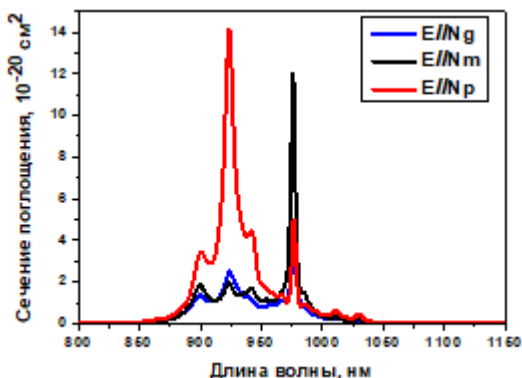


Рисунок 2 – Спектры поперечных сечений поглощения кристалла $\text{Yb}^{3+}:\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$

В спектрах поглощения на длинах волн соответствующих длинам волн лазерных диодов накачки наиболее интенсивная полоса поглоще-

ния наблюдается для поляризации $E//Nm$. Коэффициент поглощения в этом случае составляет $13,5 \text{ см}^{-1}$ на длине волны 975,8 нм с шириной на полувысоте около 4,4 нм.

На рисунке 2 приведены спектры поперечных сечений поглощения кристалла $\text{Yb}:\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ в спектральной области 800–1150 нм. На длине волны около 976 нм максимальное значение поперечного сечения поглощения составляет $12 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$ для поляризации $E//Nm$.

Целью проведения измерений кинетик люминесценции было определение времени жизни возбужденного состояния ${}^2\text{F}_{5/2}$ ионов иттербия в кристалле $\text{Yb}:\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$. Для возбуждения люминесценции использовалась длина волны излучения около 976 нм.

Зависимость времени затухания люминесценции от различного массового содержания кристаллического порошка $\text{Yb}:\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ в глицериновой суспензии представлена на рисунке 3.

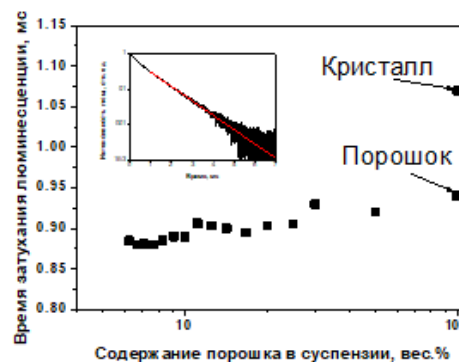


Рисунок 3 – Зависимость времени затухания люминесценции в кристалле $\text{Yb}^{3+}:\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ от весового содержания порошка в суспензии

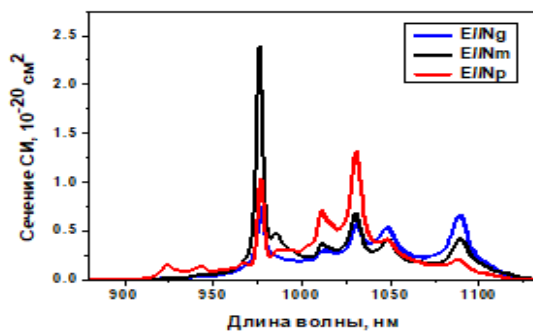


Рисунок 4 – Спектры поперечных сечений СИ кристалла $\text{Yb}^{3+}:\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$

Для всей серии измерений затухание люминесценции в области около 1 мкм хорошо описывалось одноэкспоненциальной функцией (вставка на рисунке 3).

Время жизни флуоресценции уменьшалось с уменьшением концентрации порошка в суспензии. Начиная с определенного содержания порошка, время жизни оставалось постоянным, несмотря на

дальнейшее разбавление, что указывает на незначительное влияние реабсорбции. Измеренные времена затухания люминесценции ионов Yb^{3+} в кристалле $\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ составляет около 0,885 мс.

Сечения стимулированного излучения рассчитывались с использованием модифицированного метода соответствия, в котором нет необходимости знать структуру энергетических уровней:

$$\sigma_{\text{изл}}^{\alpha}(\lambda) = \frac{3 \exp\left(-\frac{hc}{kT\lambda}\right)}{8\pi n^2 \tau_{\text{рад}} c \sum_{\beta} \int \lambda^{-4} \sigma_{\text{пог}}^{\beta}(\lambda) \exp\left(-\frac{hc}{kT\lambda}\right) d\lambda} \sigma_{\text{пог}}^{\alpha}(\lambda), \quad (1)$$

где α и β – состояние поляризации; c – скорость света; h – постоянная Планка; $\tau_{\text{рад}}$ – радиационное время жизни активного центра; k – постоянная Больцмана; $\sigma_{\text{пог}}^{\alpha}$ – сечение поглощения; n – показатель преломления; T – температура кристалла.

Спектры поперечных сечений стимулированного излучения (СИ) рассчитанные по модифицированному методу соответствия представлены на рисунке 4.

В спектрах поперечных сечений СИ наблюдаются несколько пиков на длинах волн 976, 1010, 1030, 1048 и 1089 нм. Наибольшее значение поперечного сечения СИ составило $2.4 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$ на длине волны около 976 нм для поляризации $E//Nm$.

Проведенные исследования спектроскопических свойства кристаллов $\text{Yb}:\text{Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ свидетельствуют о перспективности их использования в качестве активной среды лазеров спектрального диапазона около 1 мкм, работающих в непрерывном режиме генерации и режиме синхронизации мод.

УДК 681.785.55

СПЕКТРОМЕТР ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА МАЛЫХ ГАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ С МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Домацкий А.В., Литвинович Г.С., Хомицевич А.Д., Беляев Б.И.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В работе представлены детали разработки спектрометра изображения для изучения влияния излучения Солнца на малые газовые составляющие атмосферы Земли в составе комплекса приборов для установки на борту малого космического аппарата, регистрирующего в том числе информацию о характере солнечных событий в радиодиапазоне и интенсивности генерируемых ионосферных свечений. Представлена оптическая схема, позволяющая получить разрешение не хуже 0,4 нм в спектральном диапазоне работы 306–380 нм и отличающаяся использованием асферических оптических элементов для получения требуемых характеристик при ограниченных габаритах.

Ключевые слова: спектрометр изображения, CubeSat, малые газовые составляющие.

IMAGING SPECTROMETER FOR MONITORING TRACE GAS COMPONENTS FROM SMALL SPACECRAFT

Damaratski A., Litvinovich H., Khomitsevitch A., Beliaev B.

*A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of Belarusian State University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The paper presents development details of the image spectrometer to study the influence of solar radiation on the trace gas components of the Earth's atmosphere as part of a device for installation on a small spacecraft board, which also records information about the nature of solar events in the radio range and the intensity of generated ionospheric glows. An optical design makes it possible to obtain a spectral resolution more than 0.4 nm in the spectral range of 306–380 nm and is characterized by the use of aspherical optical elements to obtain the required characteristics in limited dimensions.

Keywords: image spectrometer, CubeSat, small gas components.

*Адрес для переписки: Литвинович Г.С., ул. Курчатова 7, г. Минск, 220045, Республика Беларусь
e-mail: litvinovichgs@yandex.by*

На сегодняшний день существует большое количество научных миссий по изучению солнечно-земных связей и содержания малых газовых составляющих (МГС) в атмосфере Земли. В большинстве случаев это полноразмерные спутники (группировки спутников) для решения поставленной задачи. Их основной целью является изучение фотохимических процессов преобразования атмосферных МГС, экологический мониторинг, уточнение фотохимических моделей, стра-

тосферно-тропосферный перенос МГС. В частности, для отслеживания антропогенных источников требуется высокое пространственное разрешение и скорость регистрации спектров, что может быть реализовано за счет увеличения габаритов полезной нагрузки и неизбежно влечет за собой удорожание миссии.

Научную ценность имеют геофизические измерения не только с высоким пространственным разрешением и точностью, но также измерения,