

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,

проведенные при помощи совокупности приборов, использующие существенно различные физические принципы действия, но нацеленные на изучение общей проблемы.

При выполнении НИОКР «Диагностика 2» по НТП Союзного государства «Комплекс-СГ» будет сделан акцент на изучение влияния излучения Солнца на ионосферу Земли, а именно на оценке параметров воздействия солнечных событий на МГС в стратосфере в совокупности с получением информации о характере солнечных событий в радиодиапазоне и интенсивности генерируемых ионосферных свечений. В такой постановке задачи высокое пространственное разрешение не является необходимостью, однако требование к качеству спектральных данных сохраняется. Наиболее актуальным видится использование спутниковых платформ малой размерности (CubeSat) в виду дешевизны разработки и запуска и, соответственно, возможности глобального покрытия местности за счет большого числа спутников.

В разрабатываемом комплексе будут объединены три прибора в малых габаритах для возможности установки для бюджетные космические аппараты: оптический спектрометр изображения на диапазон 306–380 нм, высокочувствительная оптическая камера с интерференционным фильтром для регистрации линии кислорода на длине волны 762 нм и радиоволновой анализатор, что в совокупности позволит проводить уникальные измерения синхронно для данной области пространства. Параметры МГС, получаемые при помощи спектрометра изображения будут дополнены данными о свечении кислорода в ионосфере, получаемыми при помощи узкополосной камеры, настроенной на длину волны 762 нм, что в совокупности не имеет аналогов среди инструментов полезной нагрузки для малой спутниковой платформы (формат CubeSat). В данной работе освещаются детали разработки спектрометра изображения.

Спектрометр изображения способен получать пространственное распределение спектральной информации вдоль входной щели и построен по оптической схеме (рисунок 1) на вогнутой дифракционной решетке 5 с 1200 штр./мм и фокусным расстоянием 60 мм. Из-за ограничений габаритов был выбран черно-белый детектор 6 типа Ваumer МХUC40.2 формфактора 1" на 4 МПк.

Для минимизации габаритов оптической схемы используется цилиндрическое собирающее зеркало 4 ($R = 125,0$ мм) вместо цилиндрических линз для коррекции астигматизма вогнутой отражающей решетки 5.

Производилась оптимизация частотно-контрастной характеристики объектива с использованием асферических поверхностей для минимизации пространственного разрешения. Использование всего двух линз 1 и 2 позволило

сформировать светосильный объектив, подходящий по своим массогабаритным характеристикам для спутников формата CubeSat. Все линзы объектива выполнены из кварцевого стекла для минимизации ослабления излучения.

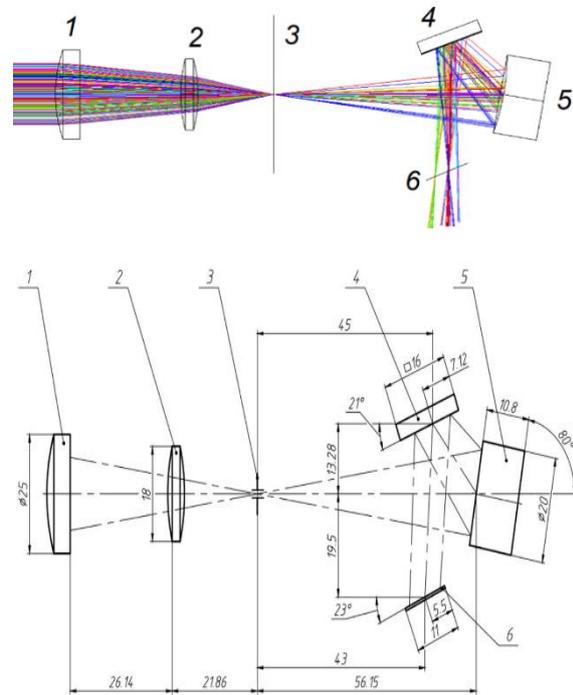


Рисунок 2 – Оптическая схема спектрометра изображения: 1, 2 – линза; 3 – входная щель; 4 – дифракционная решетка; 5 – цилиндрическое зеркало; 6 – детектор;

Оптическая схема спектрометра рассчитывалась в программной среде Zemax, для чего применялся непоследовательный режим, оптимизация параметров оптической схемы проводилась с целью минимизации ширины аппаратной функции для спектрального интервала 306–380 нм и входной щели 5000×25 мкм. Расчетная величина ширины на полувысоте для монохроматической линии – не хуже 0,4 нм для спектрального диапазона 306–380 нм. Расчетное угловое поле зрения спектрометра: $0,03 \times 6^\circ$.

Нерегулируемая входная щель спектрометра собирается вручную, а параллельность и ширина контролируется под микроскопом.

Все оптические элементы оснащены юстировочными устройствами (рисунок 2), позволяющими производить установку элементов с высокой точностью. Доступ к юстировочным устройствам предоставляется через технологические отверстия, что позволяет юстировать спектрометр при закрытой крышке для минимизации постоянных засветок. Корпус из алюминиевого сплава оснащен световым замком для предотвращения проникновения постороннего излучения на детектор.

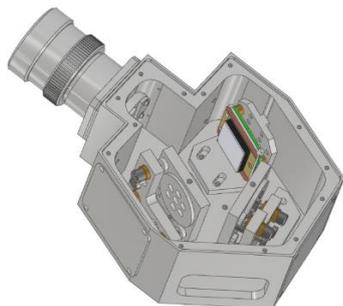


Рисунок 3 – Внешний вид 3D-модели спектрометра без верхней крышки

В процессе юстировки спектрометра будут применены бленды и диафрагмы специальной

формы, полученные путем 3D печати, используемые для поглощения нежелательных порядков дифракции, рассеянного излучения и коррекции формы аппаратной функции.

Итоговая масса макета спектрометра составляет 660 г, а габариты: 162×100×73 мм.

Заключение. Разработан спектрометр изображения на спектральный диапазон в 306–380 нм со спектральным разрешением не хуже 0,4 нм. Расчетное угловое поле зрения составляет 0,03×6°. Спектрометр предназначен для установки на борту малых космических аппаратов формата CubeSat и позволяет производить регистрацию рассеянного атмосферой солнечного излучения для последующего восстановления содержания малых газовых составляющих.

УДК 535.317.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ ФАРЫ (ПРОЖЕКТОРА)

Град Д.В.¹, Лишик С.И.¹, Челябин А.Е.¹, Фан Ц.²

¹Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

²Фуданьский университет

Шанхай, Китайская Народная Республика

Аннотация. Разработана оптическая система лазерной фары (прожектора) и проведено ее моделирование. Определены оптимальные параметры оптической системы лазерной фары, обеспечивающие формирование узкоградусного светового пучка (3–5°) при минимальных габаритных размерах оптической части фары и люминесцентного преобразователя 3–5 мм, толщина 1,2 мм.

Ключевые слова: лазерная фара, прожектор, эллиптический рефлектор, оптическое моделирование.

SIMULATION OF THE OPTICAL SYSTEM OF A LASER HEADLIGHT (SPOTLIGHT)

Hrad D.V.¹, Lishik S.I.¹, Chaliapin A.E.¹, Fan J.²

¹Center of LED and Optoelectronic Technologies of the NAS of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

²Fudan University

Shanghai, People's Republic of China

Abstract. An optical system for a laser headlight (spotlight) was developed and its simulation was carried out. The optimal parameters of the optical system of the laser headlight were determined, ensuring the formation of a narrow-degree light beam (2–5°) with minimal overall dimensions of the optical part of the headlight and the luminescent converter 3–5 mm, thickness 1.2 mm.

Key words: laser headlight, spotlight, elliptical reflector, optical simulation.

Адрес для переписки: Лишик С.И., Логойский тракт, 20, г. Минск, 220090, Республика Беларусь
e-mail: rnd@ledcenter.by

Целью настоящего исследования является определение посредством моделирования оптимальных параметров оптической системы лазерной фары (прожектора), обеспечивающих формирование узкоградусного светового пучка при минимальных габаритных размерах фары и ее основных внутренних элементов.

Оптическая система лазерной фары (прожектора) состоит из лазерного диода накачки ($\lambda = 450$ нм), люминесцентного преобразователя, рефлектора и линзы (рисунок 1).

Люминесцентный преобразователь представляет собой стеклолюминофорную пластинку, конвертирующую лазерное излучение накачки в желто-

красный свет, которые в совокупности воспринимаются наблюдателем как белый свет. В рамках моделирования рассмотрены люминесцентные преобразователи квадратной формы со стороной квадрата β , равной 0,5–10 мм и толщиной 1,2 мм.

В качестве рефлектора использовалась упрощенная модель, представляющая собой фрагмент поверхности эллипсоида с большой a и малой b полуосями, соответственно. Такая форма рефлектора больше подходит для точечных, чем протяженных источников света [1], каковым является люминесцентный преобразователь, но значительно проще с точки зрения изготовления и моделирования. Внутренняя поверхность рефлектора покрыта