Физика. Материаловедение

Фомин Дмитрий Владимирович
Амурскии государственный университет
Г. Благовещенск, Россия
E-mail: <u>e-office(<i>a</i>yandex.ru</u>
Бузиков Руслан Александрович
Амурский государственный университет
г. Благовещенск, Россия
E-mail: <u>buzikov-2017(a)mail.ru</u>
Воронков Александр Евгеньевич
Амурский государственный университет
г. Благовещенск, Россия
<i>E-mail</i> : <u>voron-1998-va@mail.ru</u>
Григорьев Павел Александрович
Амурский государственный университет
г. Благовещенск, Россия
E-mail: pav77788@gmail.com
Струков Дмитрий Олегович
Амурский государственный университет
г. Благовещенск, Россия
E-mail: dmitriy-s.0@yandex.ru
Неретина Анастасия Сергеевна
Амурский государственный университет
г. Благовещенск, Россия
E-mail: neretina77@mail.ru
Fomin Dmitry Vladimirovich
Amur State University
Blagoveshchensk, Russia
E-mail: e-office@yandex.ru
Buzikov Ruslan Alexandrovich
Amur State University
Blagoveshchensk, Russia
E-mail: <u>buzikov-2017@mail.ru</u>
Voronkov Alexander Evgenievich
Amur State University
Blagoveshchensk, Russia
E-mail: voron-1998-va@mail.ru
Grigoriev Pavel Alexandrovich
Amur State University
Blagoveshchensk, Russia
E-mail: pav77788@gmail.com
Strukov Dmitry Olegovich
Amur State University
Blagoveshchensk, Russia
<i>E-mail:</i> <u>dmitriy-s.0@yandex.ru</u>

УДК 535: 629.7.05

Neretina Anastasia Sergeevna Amur State University Blagoveshchensk, Russia *E-mail:* neretina77@mail.ru

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА РЕГИСТРАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

COMPUTER PROTOTYPING OF RECORDING OPTICAL PROPERTIES DEVICE FOR THERMAL CONTROL COATINGS

Аннотация. Предложены прибор и методика измерения, необходимые для регистрации оптических свойств терморегулирующих покрытий и материалов под воздействием факторов космического пространства на борту малых космических аппаратов стандарта CubeSat. Проведение натурного эксперимента на их основе и последующий анализ позволят применить полученные данные для совершенствования методов создания покрытий, устойчивых к радиационному и термическому воздействию, а также упростить подбор оптимальной компоновки космических аппаратов для увеличения их эксплуатационных характеристик.

Abstract. A device and experimental technique for analysis the optical properties of thermally controlled coatings and materials under the influence of space factors on board small spacecraft of the CubeSat standard are proposed. Conducting a natural experiment based on them and subsequent analysis will allow, based on the data obtained, to improve methods for creating coatings resistant to radiation and thermal effects, as well as simplify the selection of the optimal layout of spacecraft to increase their operational characteristics.

Ключевые слова: интегрирующая сфера, светофильтры, длина волны, маховики, шаговый двигатель.

Key words: integrating sphere, light filters, wavelength, flywheels, stepper motor.

DOI: 10.22250/20730268_2023_101_50

Введение

С каждым годом в космической отрасли увеличивается спрос на малые космические аппараты (далее МКА) стандарта CubeSat [1]. Данный стандарт получил широкое распространение благодаря своим массогабаритным характеристикам и сравнительно небольшим срокам изготовления. Наноспутники стандарта CubeSat позволяют проводить отдельные научные эксперименты с небольшими финансовыми затратами на производство самого МКА и его запуск по сравнению со спутниками тяжелого класса. Кроме достоинств, как и для большинства устройств, у данного типа МКА имеются определенные недостатки, существенным среди которых является короткий срок функционирования – от полугода до двух лет. Основная причина, приводящая к этому, может быть связана с тем, что радиоэлектронная аппаратура (РЭА) космических аппаратов (МКА) подвергается повреждающему воздействию факторов космического пространства (КП). Наибольшее воздействие на нее оказывают ионизирующие излучения (ИИ), к которым относятся рентгеновские лучи и гамма-излучение Солнца, солнечный ветер, галактические космические лучи, электроны и протоны радиационных поясов [2]. На низкой околоземной орбите высотой от 200 до 400 км действует в основном электромагнитное излучение (радио, субмиллиметровый, инфракрасный, оптический, ультрафиолетовый, рентгеновский и гамма диапазоны), а также макро- и микрочастицы. Таким образом, регистрация оптических свойств материалов непосредственно в космическом пространстве позволит решить проблему получения достоверных данных деградации материалов при воздействии факторов космического пространства, что в наземных условиях осуществить сложно. Первым шагом к созданию такого устройства является моделирование его основных узлов с последующим изучением их работоспособности в условиях воздействия, имитирующих космическое, в различных программных средах моделирования.

Для визуализации предлагаемой модели прибора (полезной нагрузки) и дальнейшего исследования данной конструкции использовалась система автоматизированного проектирования SolidWorks 2022. Это программное обеспечение является одним из самых распространенных инженерных инструментов для автоматизированного проектирования и 3D-визуализации будущего проекта. Пакет позволяет создать детали для предстоящей 3D-печати или ЧПУ-фрезерной обработки. Помимо этого, данный программный пакет позволяет провести ряд исследований: статистическое (исследование напряжения), частотное (тело, выведенное из состояния покоя, начинает колебаться на определенных частотах, так называемых собственных, или резонансных частотах), термическое (изучение тепловыделения и теплопроводности материала), исследование проектирования (оптимизация исследования проектирования автоматизирует поиск оптимального проектированию путем анализа геометрии модели), исследование на ударные нагрузки и т.д.

Для разработки принципиальных схем модулей предлагаемой полезной нагрузки использовался бесплатный программный пакет EasyEDA. Данный инструмент позволяет разрабатывать первичную схему подключения будущей платы для установки электронной компонентной базы. Также сервис удобен функцией экспорта готовой схемы путем отправки ее в компанию, занимающуюся изготовлением печатных плат. Для проверки работоспособности разработанной схемы существует функция симуляции ее работы, что снижает затраты на производство, так как исключает риск неправильного подключения электронных компонентов. Не менее интересной и полезной функцией, облегчающей разводку платы, является автоматическое подключение компонентов, что значительно сокращает трудозатраты инженера-электроника.

Для решения проблемы выхода из строя электронных компонентов под воздействием различного рода излучений необходимо развивать создание радиационно-стойких терморегулирующих покрытий и материалов [3,4]. Такие материалы и покрытия позволит использовать дешевые электронные компоненты широкого применения.

Постановка задачи

Суть предлагаемого устройства заключается в измерении коэффициента отражательной способности одного из двух материалов, размещенных в интегрирующей сфере, установленной внутри корпуса стандарта CubeSat3U (рис.1) в виде полезной нагрузки.



Рис. 1. Схема устройства полезной нагрузки: 1– рама для фиксации светофильтров; 2 – светофильтры; 3 – маховик; 4 – платформа для установки полезной нагрузки; 5 – опоры интегрирующей сферы; 6 – шаговые двигатели; 7 – интегрирующая сфера; 8 – поворотное зеркало; 9 – платформа для установки поворотного зеркала; 10 – «световой тоннель»; 11,12 – исследуемые образцы; 13 – фотодиоды.

Два образца ZnO (12) или SiO₂ (11) расположены в нижней и боковой части интегральной сферы (6), которая имеет внутри эталонное покрытие. Для определения характеристик используются фотодиоды на основе InAs и Si (13), установленные в «световом тоннеле» (10) и интегрирующей сфере (6) соответственно. На основе опыта в проектировании устройств и создании наноматериалов [5,6] нами предложен общий вид полезной нагрузки, представленный на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид полезной нагрузки МКА стандарта CubeSat.

Проведение эксперимента

После завершения процедуры выведения наноспутника и занятия им постоянной орбиты при натурном эксперименте включается система ориентации и стабилизации МКА, а с помощью маховиков 3 (рис.1) рама светофильтров останавливается на первом ближайшем светофильтре для осуществления начала эксперимента. Схема его проведения заключается в следующем (рис.3): солнечные лучи проходят через светофильтр 1, попадая на фотодиод 2, по освещенности которого вычисляется начальный световой поток, затем следуют по «световому тоннелю» 3 и попадают в поворотное зеркало 4, которое отражает поступающий свет в интегрирующую сферу 6, покрытую эталонным материалом BaSO₄. Отраженный в сферу свет распределяется, попадая на образцы 7, изготовленные из ZnO или SiO₂, с помощью фотодиода 8 измеряется освещенность сферы и вычисляется коэффициент отражения образцов для данного спектрального диапазона.

Светофильтры устанавливаются для изучения отражательной способности материала от длины волны падающего излучения. С целью охвата широкого диапазона измерений светофильтры применяются в диапазоне длин волн от 200 до 3500 нм. После проведения текущего измерения результат отправляется на обработку в бортовой компьютер (далее БК), от него же поступает сигнал на смену светофильтра. После завершения экспериментов со всеми светофильтрами, расположенными на одной стороне МКА, CubeSat начинает вращение вокруг своей оси с помощью маховиков 3 (рис.1) и меняет свою ориентацию.



Рис.3. Поперечный разрез модуля полезной нагрузки.

Для измерений в инфракрасном диапазоне спектра предлагается применять фотодиоды InAs серии IA35 с рабочим диапазоном длин волн от 900 до 3500 нм и диапазоном чувствительности от 0.95 до 1.08 А/Вт, они имеют повышенную температурную стабильность. Преимуществом данных датчиков в сравнении с датчиком InGaAs серии IG-19 является то, что они меньше всего сокращают длину волны, длина волны отсечки составляет 50%. Предлагаемый фотодиод изготовлен в металлическом корпусе TO-46 с сапфировым окном.

На рис. 4 представлены графики спектральной чувствительности фотодиода InAs серии IA35 и температурной его зависимости [7].



Рис. 4. А – спектральная чувствительность фотодиода InAs серии IA35; Б – температурная зависимость темнового тока [7].

Для измерения в области ультрафиолетового и видимого диапазонов спектра предлагается использовать специальные УФ-усиленные кремниевые фотодиоды с рабочим диапазоном длин волн от 200 до 1100 нм. Данные фотодиоды отличаются от обычных широко распространенных кремниевых возможностью работать в ультрафиолетовой области спектра, охватывая полностью ближний (400-300 нм) и средний (300-200 нм) диапазоны ультрафиолетового излучения. Они имеют хорошую температурную стабильность, низкий уровень шума и высокое напряжение пробоя. Предлагаемые фотодиоды изготавливаются в металлическом корпусе TO-18.

На рис. 5 представлены графики спектральной чувствительности и температурной зависимости УФ-усиленного фотодиода [8].

Для управления ходом эксперимента нами предлагается аппаратное решение, включающее микроконтроллер STM32F103C8T6, шаговые двигатели, драйверы управления шаговыми двигателями, фотодиоды InAs серии IA35 и Si, стабилизаторы напряжения 5В и 3.3B, аккумуляторные батареи типа ICR 18650.



Рис. 5. Графики спектральной чувствительности: а – спектральная чувствительность УФ-усиленного кремниевого фотодиода; б – температурная зависимость сопротивления [8].

На рис. 6 представлена блок-схема электронных компонентов для проведения эксперимента по изучению отражающей способности исследуемых образцов. Управление производится микроконтроллером STM32F103C8T6. Питание осуществляется аккумуляторными батареями типа ICR 18650 с применением двух стабилизаторов напряжения 5В и 3.3В, что обеспечивает стабильную работу микроконтроллера. Для вращения маховиков используется шаговые двигатели, управляемые в свою очередь драйверами A4988, получающими сигналы на включение/отключение от вышеуказанного микроконтроллера. Питание шаговых двигателей осуществляется отдельным блоком высокотоковых аккумуляторов NCR 18650.



Рис. б. Блок-схема подключения электронных компонентов.

Нами была предложена принципиальная электрическая схема, представленная на рис. 7-11, исходя из которой предполагается разработать печатную плату устройства.



Рис. 7. Электрическая принципиальная схема подключения микроконтроллера STM32F103C8T6 [9].



а) Коннектор для подключения мотора



b) Драйвер управления мотором

Рис. 8. Электрическая принципиальная схема подключения шагового двигателя.



Вестник АмГУ





Рис. 10. Электрическая принципиальная схема подключения фотодиода.





b) Стабилизатор напряжения Vin-5V

с) Стабилизатор напряжения 5V-3.3V



Заключение

Таким образом, в данной работе предложена конструкция полезной нагрузки со специальными светофильтрами для спутников стандарта CubeSat, а также методика проведения исследования с целью изучения отражательной способности материалов при натурных экспериментах по определению влияния солнечного излучения на оптические свойства терморегулирующих покрытий (в определенных спектрах).

Проведение эксперимента на базе наноспутника формата CubeSat 3Uпозволяет исключить попадание частиц корпуса на образец ввиду его малых размеров (в отличие проведения эксперимента на МКС, так как станция имеет вокруг себя собственную «атмосферу», состоящую из частиц обшивки). На основе полученных данных возможно создать специализированные радиационно-стойкие материалы с напылением, защищающим от излучений в необходимом диапазоне спектра.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации – госзадание № 122082600014-6 (FZMU-2022-0007), а также внутреннего гранта АмГУ 2022/2023 г.

^{1.} Spangelo, S., Longmier, B. Optimization of CubeSat System-Level Design and Propulsion Systems for Earth-Escape Missions // Journal of Spacecraft and Rockets. – 2015. – Vol. 52. – P.1009-1020.

^{2.} Horne, R.B., Thorne, R.M., Shprits, Y.Y. Wave acceleration of electrons in the Van Allen radiation belts // Nature. – 2005. – Vol. 437. – P. 227-230.

^{3.} *Liu, T., Sun, Q., Meng, J., Pan, Z., Tang, Y.* Degradation modeling of satellite thermal control coatings in a low earth orbit environment // Solar Energy. – 2016 – Vol. 139. – P.467-474.

^{4.} *Ha, Y., Ma, W., Xuan, Y.* Theoretical investigation on degradation behaviors of spectral properties of thermal control coatings induced by charged particles // Applied Surface Science. – 2013. – Vol. 282. – P.363-369.

^{5.} Пат. 201712U1 РФ Многофункциональный блок полезной нагрузки наноспутника формата CubeSat 3U / Д.В. Фомин, Д.О. Струков, Р.А. Бузиков. Опубл. 29.12.2020.

^{6.} *Fomin, D.V., Dubov, V.L., Galkin, K.N.* Formation, structure and optical properties of nanocrystalline BaSi₂ films on Si(111) substrate // Solid State Phenomena. – 2016. – Vol. 245. – P. 42-48.

^{7.} Laser Components S.A.S InAs Photodiode IA35-Series datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.lasercomponents.com/de/?embedded=1&file=fileadmin/user_upload/home/Datasheets/lc-ingaas/

^{8.} OSI Optoelectronics. UV Enhanced Series Silicon Photodiodes datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.osioptoelectronics.com/Libraries/Datasheets/UV-Enhanced-Inversion-Layer-Photodiodes.sflb. ashx

^{9.} STMicroelectronics STM32F103C8T6-ST Microelectronics datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/303603/STMICROELECTRONICS/STM32F103C8T6TR. https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/303603/STMICROELECTRONICS/STM32F103C8T6TR. https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/303603/STMICROELECTRONICS/STM32F103C8T6TR. https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/303603/STMICROELECTRONICS/STM32F103C8T6TR. https://www.alldatasheet.com/datasheet.com/datasheet.com/datasheet-pdf/pdf/303603/STMICROELECTRONICS/STM32F103C8T6TR".