

УДК 629.783

Применение метода электролюминесценции для выявления дефектных солнечных элементов малого космического аппарата

Горшкова Татьяна Андреевна^(*)

gorshkova_ta@bmstu.ru

Живило Екатерина Дмитриевна

zhivilo@bmstu.ru

Рачкин Дмитрий Анатольевич

rachkin@bmstu.ru

КБ «ПроКИТ», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Работа посвящена решению задачи выявления скрытых дефектов в солнечных панелях малых космических аппаратов «Кубсат» путем внедрения метода электролюминесцентной диагностики. Метод, основанный на инжекционной электролюминесценции $p-n$ перехода, позволяет перейти от интегральной оценки к локальному анализу состояния каждого фотоэлемента. Показана эффективность метода для выявления скрытых дефектов и оценки последствий механических и климатических испытаний.

Ключевые слова: солнечные панели, фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), электролюминесценция, кубсат, контроль

Введение. В МГТУ им. Н.Э. Баумана коллективом Конструкторского бюро «Прорывных космических исследований и технологий» ведется разработка перспективных малых космических аппаратов (МКА) типа «Кубсат» в размерностях 3U, 6U-XL, 8U и 16U [1–5]. Развитие подобных платформ, предназначенных для решения таких задач как гелиофизический мониторинг и мониторинг движения морских и речных судов, требует обеспечения высокой надежности всех систем, в особенности системы энергоснабжения, основу которой составляют солнечные панели на кремниевых фотоэлектрических преобразователях (ФЭП). Ключевой задачей на этапе наземных испытаний является контроль структурной целостности ФЭП и выявление дефектов. Здесь особую актуальность приобретает использование бесконтактного и высокочувствительного метода электролюминесцентной визуализации, позволяющего детектировать микротрещины и участки деградации, не обнаруживаемые при визуальном осмотре и засветке источником излучения.

Методы и результаты. Солнечная батарея МКА представляет собой ряд последовательно соединенных ФЭП, образующих «цепочку». Несколько «цепочек», объединенных параллельным электрическим соединением, размещаются на солнечной панели. Основной метод контроля солнечных панелей, основанный на снятии вольт-амперных характеристик при засветке, позволяет оценить интегральные параметры панели, но не чувствителен к локальным дефектам. Он не дает возможности локализовать и оценить нарушение целостности и эффективности ФЭП после проведения механических (вибронгрузки) и климатических (термоциклирование) испытаний на состояние каждого ФЭП.

При изготовлении МКА «Хорс» был внедрен новый метод контроля — электролюминесцентная визуализация [6]. Его физической основой является инжекционная электролюминесценция р-п перехода. Для ее наблюдения каждая отдельная цепочка фотоэлементов подключается к внешнему источнику постоянного тока в режиме прямого смещения. При пропускании тока кремниевый фотоэлемент излучает свет в ближнем инфракрасном диапазоне (~ 1150 нм) за счет процессов рекомбинации зарядов в полупроводнике. Интенсивность этого свечения напрямую зависит от эффективности работы локальной области. Дефектные ФЭП с микротрещинами, приводящими к потере контакта с токосъемными шинами, не светятся на изображении в ближнем ИК диапазоне. Также по интенсивности свечения (темные и светлые области на изображении) можно делать качественную оценку об эффективности каждого элемента цепочки. Пример солнечной панели показан на рис. 1, наличие каких-либо дефектов ФЭП визуально не обнаруживается, однако при исследовании данной панели методом электролюминесценции (рис. 2) хорошо видно ФЭП с микротрещиной.

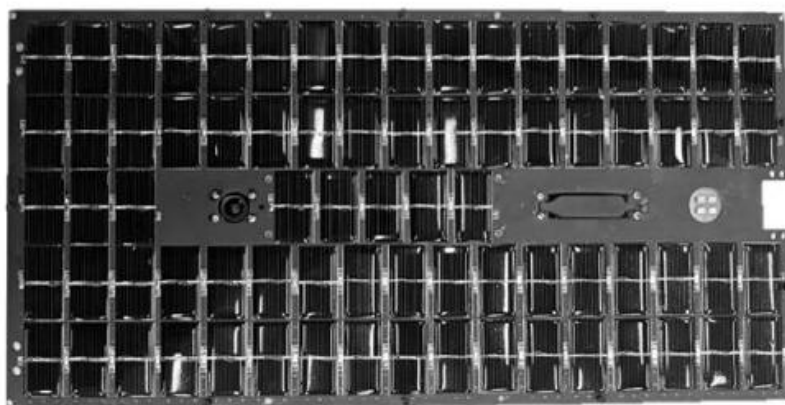


Рис. 1. Фотография СБ в видимом диапазоне излучения

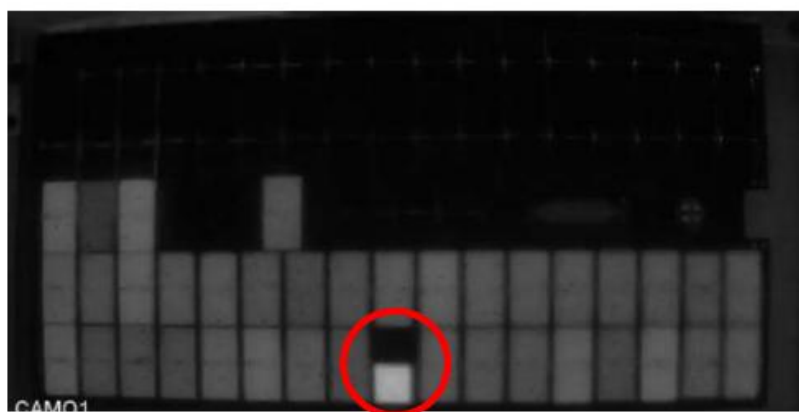


Рис. 2. Фотография СБ в ближнем ИК диапазоне

Заключение. Внедрение метода позволило перейти от интегральной оценки к локальному анализу состояния панели. Теперь возможно: выявлять микротрещины, сколы и деградировавшие элементы, невидимые при визуальном осмотре. А также количественно оценивать воздействие каждого этапа испытаний (вибрации, термоудары) на целостность фотоэлектрических преобразователей.

Список источников

- [1] Рачкин Д.А., Тененбаум С.М., Мельникова В.Г. и др. Опыт мониторинга космической погоды и использования аппаратуры АИС на борту космического аппарата типа CubeSat. *К.Э. Циолковский: ключевые идеи и современные достижения космонавтики. 59-е Науч. чтения, посв. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского: сб. матер.* Калуга, Эйдос, 2024, т. 1, с. 28–32.
- [2] Гончаров Н.В., Корецкий М.Ю., Майорова В.И. и др. Ярило — проект построения группировки наноспутников для исследования Солнца. *Космонавтика и ракетостроение*, 2018, № 1 (100), с. 69–78.
- [3] Богачёв С.А., Головин А.А., Дятков С.Ю. и др. Малоразмерный космический магнитометр для наноспутника «Ярило» № 3. *Космонавтика и ракетостроение*, 2023, № 1 (130), с. 123–134.
- [4] Майорова В.И., Рачкин Д.А., Тененбаум С.М. и др. Платформа CubeSat 6U XL, разработки МГТУ им. Н.Э. Баумана, для решения научных и прикладных задач. *Идеи Циолковского в теориях освоения космоса. К.Э. Циолковский: ключевые идеи и современные достижения космонавтики. 58-е Науч. чтения, посв. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского: сб. матер.* Калуга, ИП Стрельцов И.А., 2023, с. 54–57.
- [5] Tenenbaum S., Rachkin D., Melnikova V. et al. Onboard systems of Yareelo nanosatellites for solar activity and radiation monitoring. *AIP Conference Proceedings. 44. Ser. XLIV Academic Space Conference: Dedicated to the Memory of Academician S.P. Korolev and Other Outstanding Russian Scientists — Pioneers of Space Exploration*, 2021, vol. 2318, art. no. 120016. <https://doi.org/10.1063/5.0036225>
- [6] Вербицкий В.Н., Панайотти И.Е., Никитин С.Е. и др. Электролюминесцентные исследования эффективности кремниевых гетероструктурных солнечных элементов. *Письма в ЖТФ*, 2017, т. 43, вып. 17. <https://doi.org/10.21883/PJTF.2017.17.44940.16479>