

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

На правах рукописи

УДК 621.315.592.2

МАРКОВ
Алексей Николаевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ
СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ
МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

по специальности 1-39 81 01 Компьютерные технологии проектирования
электронных систем

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **ЦЫРЕЛЬЧУК Игорь Николаевич**,
кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем, декан факультета инновационного и непрерывного обучения учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **ТОНКОВИЧ Ирина Николаевна**,
кандидат химических наук, заведующая кафедрой информационных технологий
Минского инновационного университета

Защита диссертации состоится «27» июня 2018 года в 13⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafriks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Преобразование солнечной энергии в электричество является наиболее перспективным и активно развиваемым направлением возобновляемой энергетики. Солнечная энергия широко доступна, обладает практически безграничными ресурсами, при ее фотоэлектрическом преобразовании не происходит загрязнения окружающей среды. Для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую используется явление фотоэффекта в солнечных элементах (СЭ) на основе структуры с *p-n* переходом. На сегодняшний день максимальная эффективность некоторых типов полупроводниковых СЭ составляет более 30 %.

Единичные фотоэлементы генерируют ограниченную мощность. Для получения требуемых энергетических характеристик элементы объединяют последовательно между собой в модули и последовательно-параллельным способом в батарее. Мощность модулей и батарей складывается из выходных мощностей отдельных СЭ. В зависимости от технологии изготовления фотоэлектрических преобразователей, существуют различные виды солнечных батарей. Наиболее широко распространены кристаллические фотоэлектрические преобразователи, изготовленные из моно- или поликристаллического кремния, а также тонкопленочные солнечные элементы на основе аморфного кремния, теллурида кадмия, арсенида галлия, фосфида индия и некоторых других соединений. На сегодняшний день доля кристаллических солнечных элементов составляет около 96 %, а тонкопленочных – около 4 %. Ведутся разработки по применению концентраторных и электрохимических солнечных элементов.

Предсказание поведения и воспроизведение характеристик СЭ и СБ осуществляется с помощью моделирования. По сравнению с экспериментом, математическое моделирование предоставляет более быстрый, гибкий и дешевый способ отработки фотоэлектрической системы (ФЭС). Для воспроизведения характеристик СЭ и СБ чаще всего используются аналитические модели, которые строятся на базе эквивалентной электрической схемы и основного уравнения СЭ. Работы по моделированию характеристик СБ активно ведутся за рубежом, результаты исследований рассматриваются на регулярно проводимых конференциях по фотовольтаике. Вследствие перспективности внедрения солнечной энергетики, вопрос моделирования СБ интересует и исследователей.

В процессе исследований были проанализированы деграционные изменения солнечных батарей, которые могут возникнуть в результате воздействия дестабилизирующих факторов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Падение мощности вырабатываемой энергии солнечными модулями проявляется в виде постепенного ухода одного или нескольких функциональных параметров за пределы нормы. Известно, что для солнечных батарей деградация параметров является процессом постепенным. Поэтому проблема повышения параметрической надежности солнечных батарей является актуальной. Постепенные отказы могут быть предсказаны, и, следовательно, могут быть отобраны солнечные батареи (СБ) с требуемой параметрической надежностью. Решение этой задачи особенно актуально для случаев, когда заданная наработка солнечных батарей является длительной, сравнимой с указанной в технической документации и выше.

В настоящее время в мировой и отечественной практике прогнозирование постепенных процессов деградации солнечных батарей является важной научной задачей современной фотовольтаики и имеет большое практическое значение, так как открывает возможность использования полученных результатов для прогнозирования объема вырабатываемой электроэнергии солнечными батареями.

Степень разработанности проблемы

Разработка модели деградации фотоэлектрических панелей на основе монокристаллического кремния осуществлялась на основе анализа работ российских и белорусских ученых: В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, В.Б. Залесский, Н.Н. Баранов, Н.О. Фролкова, а также зарубежных авторов: А. Гётцбергер, Ф. Кастен, Ф. Фапенхольф, З. Флек и др.

В современной технической литературе все больше внимания уделяется исследованиям параметров деградации солнечных панелей на основе монокристаллического кремния. Однако механизмы влияния разнообразных климатических факторов изучены не до конца. Предложенное исследование направлено на установление преимущественных факторов деградации СБ на основе монокристаллического кремния.

Цель и задачи исследования

Целью работы является выявление основных процессов, приводящих к деградации солнечных элементов и батарей на основе анализа данных, полученных в результате моделирования, которые бы позволили оценить влияние конструктивно-технологических параметров и условий эксплуатации на деградацию солнечных элементов и длительность жизненного цикла солнечных электростанций.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи**:

1. Выполнить анализ влияния дестабилизирующих факторов на параметры солнечных батарей с целью возможного построения аналитической модели.
2. Осуществить построение математической модели деградации солнечных батарей на основе монокристаллического кремния.

3. Обеспечить воспроизведение деградационной моделью характеристик СБ под действием разности потенциалов при работе солнечной батареи в нормальных условиях.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 Компьютерные технологии проектирования электронных систем.

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы белорусских и зарубежных ученых в области исследования кремниевых солнечных элементов в составе солнечных батарей.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна: состоит в разработке методики прогнозирования свойств солнечных батарей по результатам воздействия дестабилизирующих факторов, что позволило предсказать выходные характеристики солнечных элементов и батарей в текущий момент времени с прогнозом на 20 лет.

Теоретическая значимость работы заключается в детальном анализе деградационных процессов фотоэлектрических панелей на основе монокристаллического кремния.

Практическая значимость прогнозирования деградации солнечных панелей на основе монокристаллического кремния, позволит оптимизировать процесс изготовления и внедрения солнечных панелей как одного из видов источника энергии для промышленности.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Модель деградации электрических характеристик солнечных батарей и модулей на основе монокристаллического кремния, объясняющих влияние ошибок пайки и монтажа на выходные параметры солнечных модулей.

2. Выявление зависимости скорости деградации солнечных элементов в составе солнечных модулей на скорость деградации всей батареи в целом.

3. Экспериментальные данные деградации солнечного модуля от воздействия потенциала, показывающие скорость деградации выходных характеристик солнечного модуля, за счёт разности потенциалов между солнечным модулем и монтажной конструкцией, что позволяет прогнозировать выходные характеристики солнечных модулей с течением времени.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 54-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь, 2018 г.), на международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современных исследований» (Омск, Россия, 2018) и на международной научно-практической конференции «Вопросы современных научных исследований» (Омск, Россия, 2018)

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 5 печатных работах. В их числе 2 статьи в сборниках материалов научных конференций и 3 статьи в международных научно-практических конференциях.

Общий объем публикаций по теме диссертационной работы составляет 0,8 авторского листа.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе приведен обзор солнечных элементов на основе полупроводников, обзор аналитической модели солнечного элемента, а также влияние условий окружающей среды на характеристики солнечных элементов в составе солнечных батарей.

Во второй главе проведено построение математической модели солнечного элемента, определены входные и выходные параметры для модели, рассмотрена параметрическая надежность солнечных элементов в составе солнечных батарей.

В третьей главе рассмотрен механизм деградации монокристаллического солнечного элемента от воздействия потенциала; влияние влажного теплового воздействия на параметры солнечного элемента. Рассмотрено влияние ошибок пайки на параметры солнечного элемента в составе солнечной батареи.

В приложении представлены публикации автора и акт внедрения.

Общий объем диссертационной работы составляет 91 страницу. Из них 65 страниц основного текста, 17 иллюстраций на 17 страницах, 7 таблицы на 8 страницах, библиографический список из 55 наименований на 5 страницах, список собственных публикаций соискателя из 5 наименований на 1 странице, 5 приложений на 25 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено использования солнечного излучения как альтернативного источника энергии и перспективы развития данного направления, указаны основные направления исследований, проводимых по данной тематике, а также описано обоснование актуальности темы.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В **первой главе** были приведены примеры солнечной батареи как идеализированной аналитической модели на базе реального полупроводникового прибора. Описаны влияние условий окружающей среды на характеристики солнечных элементов в составе солнечных батарей.

Приведены основные типы солнечных элементов и их особенности. Так, например, к твердотельным кристаллическим материалам относятся монокристаллический и поликристаллический кремний, а также арсенид галлия. В работе под тонкопленочными материалами понимают полупроводники, выращенные на электрически активных или пассивных подложках, а именно аморфный кремний, теллурид кадмия, диселенид меди и индия. Рассмотрены многопереходные элементы с многослойными структурами из двух и более СЭ с различной шириной запрещенной зоны. Отдельной группой выделены СЭ для концентраторов солнечного излучения.

Производство структур на основе монокристаллического кремния достаточно дорого и сложно в технологическом отношении. Для снижения стоимости изготовления применяют поликристаллические структуры. Изготовленные из них элементы, как правило, имеют более низкий КПД, но их производство исключает большое число технологических операций. Солнечные элементы, изготовленные из пластин, вырезанных по нормали к оси столбчатых кристаллов, в случае большого размера зерна близки по параметрам к элементам из монокристаллического кремния (КПД $< 12\%$ при AM1). Для СЭ с нанесением слоев *p*-Si методом химического осаждения, КПД составляет от 6% до $10,6\%$ при AM1. СЭ на основе МДП-структур с использованием поликристаллического материала имеют КПД до $10,5\%$ при AM1.

Во **второй главе** рассмотрены общие принципы реализации модели солнечной батареи. При построении математической модели солнечных батарей необходимо определить входные и выходные величины модели и сформулировать математическую задачу. Показано, что основными элементами модели являются определяющие математические соотношения, описывающие поведение солнечных батарей. Установлено, что основным подтверждением адекватности принятой модели является согласие следствий моделирования с известными из эксперимента или из независимых теоретических исследований свойствами моделируемого объекта.

Исследования влияния различных условий на выходные характеристики солнечного элемента показали, что необходимо включение в эквивалентную схему и уравнение СЭ трех дополнительных параметров: n , R_s и R_{sh} :

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}}, \quad (1)$$

где n – коэффициент, полученный при сравнении теоретической и экспериментальной кривых вольтамперной характеристики, принимает значения от 1 до 5;

R_s – последовательное сопротивление солнечного элемента;

R_{sh} – параллельное сопротивление солнечного элемента;

I – ток нагрузки или выходной ток солнечного элемента;

I_{ph} – фототок, протекающий через переход;

I_s – обратный ток насыщения; q – заряд электрона;

k – постоянная Больцмана;

T – рабочая температура СЭ.

Переход от модели единичного СЭ к модели СБ выполняется с учетом формул перехода:

$$I_{SC}^M = N_p \cdot I_{SC}, \quad (2)$$

$$V_{oc}^M = N_s \cdot V_{oc}, \quad (3)$$

$$R_{SM} = \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s, \quad (4)$$

где N_s – число последовательно объединенных элементов;

N_p – число параллельно объединенных элементов.

Установлено, что в модели СБ необходимо предусмотреть имитирование потерь солнечного излучения, описать влияние конструктивных факторов на характеристики СБ, ввести коэффициенты разброса технологических параметров и старения СЭ, дать математическое описание затенения отдельных участков батареи.

В третьей главе выявлено, что явление деградации от воздействия потенциала (Potential-induced degradation – PID) может быть как необратимое, так и потенциально обратимое, возникающее под действием трех основных факторов, а именно: разности потенциала между солнечным элементом и заземленной рамой модуля, влажности, температуры, дефектов и неплотности ламинирующего слоя модуля. Деградация присуща абсолютно всем поли-, монокристаллическим и тонкопленочным модулям, но PID процесс происходит в каждом случае совершенно по-разному и с разной интенсивностью.

Установлено, что деградация производительности фотоэлектрических модулей происходит, когда разность потенциалов между солнечным модулем и монтажной конструкцией (обычно – алюминиевая или стальная рама) приводит к токам утечки, которые наблюдаются в слоях между полупроводниковыми пластинами и другими элементами модуля (стекло, ламинирующий слой, защитный каркас), таким образом теряется способность модуля генерировать паспортное вы-

ходное напряжение. Выявлено также, что эффект PID сильнее в клетках, которые расположены на границе (ближе к алюминиевой раме); эффект PID менее силен в клетках, расположенных к центру панели солнечных батарей.

Мобильность электронов возрастает по мере увеличения температуры и потенциала напряжения. Практическими исследованиями выявлено увеличение интенсивности PID процессов с увеличением влажности окружающей среды.

Установлено, что физический контакт с плоскостью модуля посторонних предметов также приводит к увеличению токов утечки различной интенсивности.

Анализ данных показал, что PID чаще возникает в климате с: высокой температурой, высокой влажностью, высоким содержанием соли в воде.

Модуль солнечных элементов из кристаллического кремния, имеющий более высокий отрицательный электрический потенциал, чем потенциал каркаса (земли), легко вызывает эффект деградации от воздействия потенциала (рисунок 1). В настоящее время модули солнечных батарей управляются с максимальной системой напряжения в 600 В в Японии и 1000 В в Европе. Существует рыночная тенденция, что максимальное напряжение коммерческой солнечной системы повышается с точки зрения сокращения числа строк и общего количества элементов и повышения эффективности выработки электроэнергии.

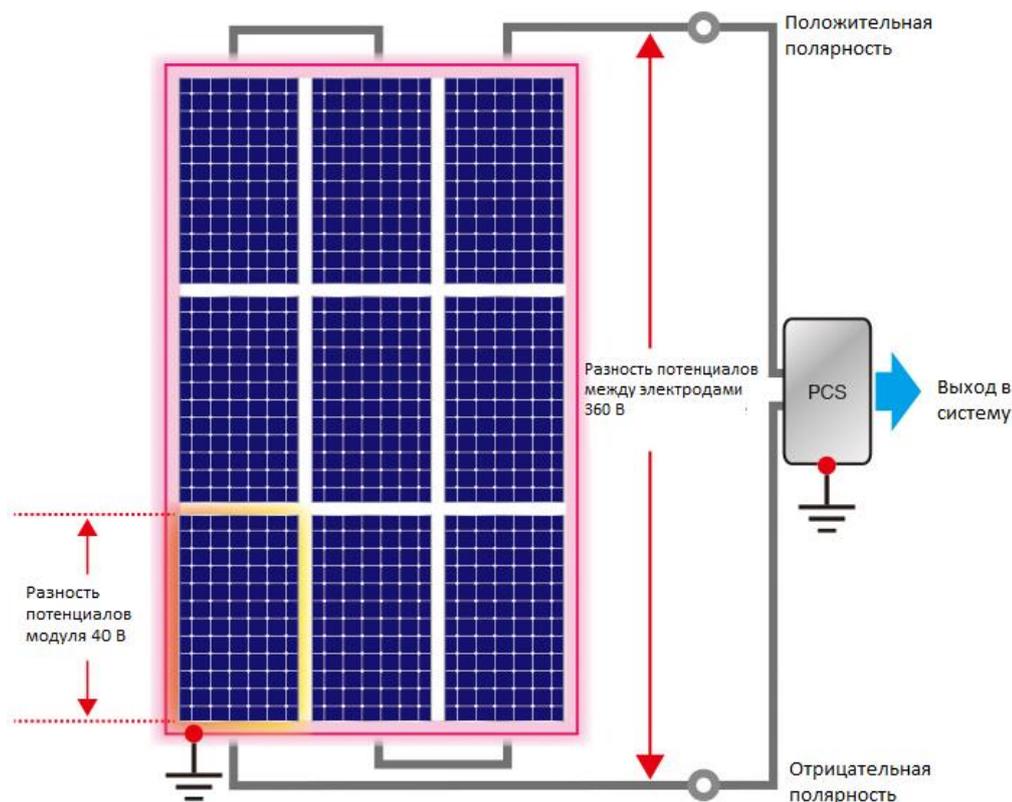


Рисунок 1 – Явление PID в кремниевой солнечной батарее

Производители производят солнечные панели с уточнением «PID FREE». Вместе с тем PID остаётся большой проблемой для солнечных батарей, поскольку даже среди модулей, объявленных «PID FREE», риск явления PID существует.

Установлены внутренние процессы, протекающие в солнечном элементе, а именно: когда внешний потенциал прикладывается к солнечной батарее непрерывно, в стекле генерируются ионы Na^+ , которые создают электромагнитное поле между стеклом и ячейкой. Таким образом, медленно, после нескольких месяцев или лет эксплуатации в этих условиях, слой изоляции (рисунок 2) ослабевает. В этих условиях одновременно происходят два разрушительных процесса:

1) положительные ионы накапливаются в передней части ячейки создавая локализованные короткие замыкания;

2) проводящие электроны, присутствующие в ячейке из-за фотоэлектрических эффектов перетекают из ячейки к металлической раме. Металлический каркас обычно соединен с землей по соображениям безопасности, поэтому образуется небольшая утечка тока, и после нескольких месяцев или лет в этих условиях эффект PID становится макроскопическим.

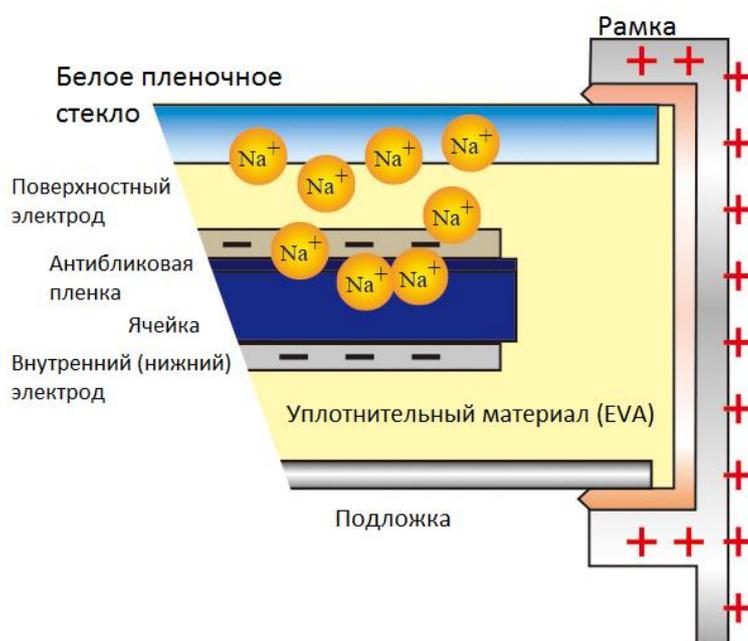


Рисунок 2 – Внутренние процессы, протекающие в элементе под действием разности потенциалов

Выявлено, что в солнечных батареях, в которых более 80 % ячеек от реального количества в цепи попадают с отрицательным полюсом при приложении отрицательного потенциала – развития PID 100 %.

Показано, если соотношение полюсов пропорциональное, то чем выше отрицательное напряжение, тем быстрее деградация солнечного модуля.

Установлено также, что приложенный потенциал является ключевым фактором деградации всех солнечных элементов на основе поли и монокристаллического кремния.

Исследования поражённых PID солнечных батарей показали, что батареи, которые находятся ближе к отрицательному потенциалу наиболее подвержены PID (от 210 Вт → 50 Вт = 76 % потери мощности). В то же время, батареи находящиеся ближе к положительному потенциалу приобрели иммунитет от деградации.

Схема подключения солнечной батареи, для частичного погашения явления разности потенциалов, изображена на рисунке 3.

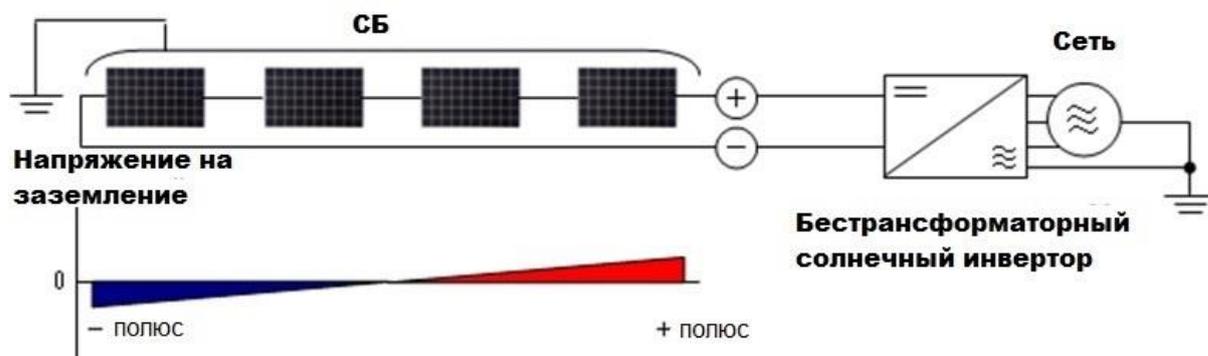


Рисунок 3 – Схема подключения солнечной батареи через бестрансформаторный солнечный инвертор

PID не видно невооруженным глазом. Если PID поразило 40 % солнечной батареи, то она ещё может работать на полную мощность.

PID может быть диагностирован с помощью специальных тестов, но иногда результаты нужно подтверждать дополнительными лабораторными исследованиями. Качественным подтверждением деградации от воздействия потенциала является отображение деградируемых и работоспособных солнечных элементов на тепловизоре (рисунок 4).

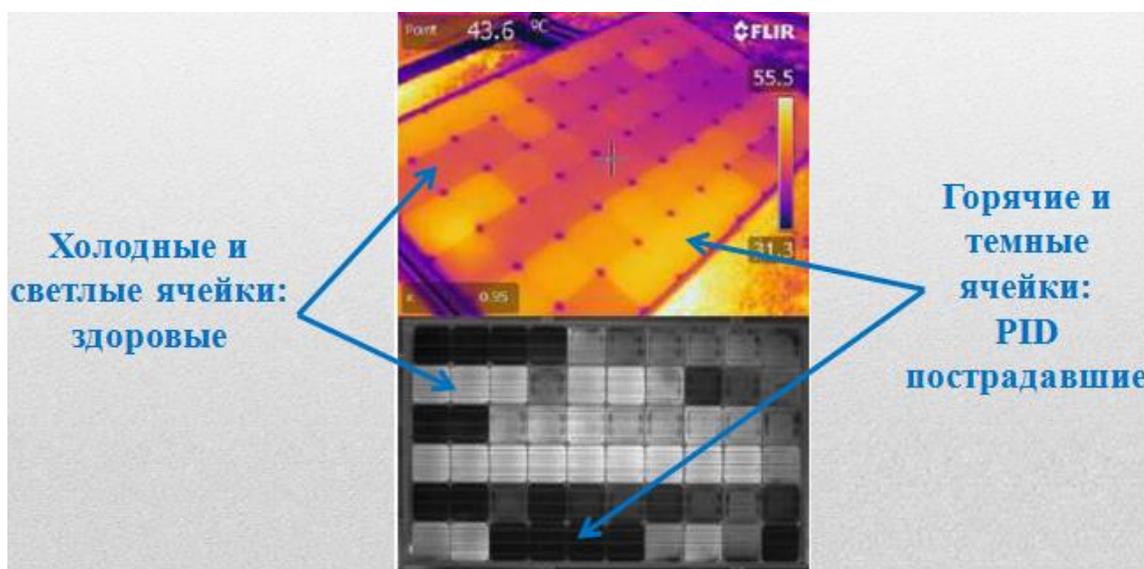


Рисунок 4 – Деградация солнечных элементов в модуле. Вид с тепловизора

Выявлено, что процесс деградации не может быть замечен визуально. Поэтому, чем раньше произойдет обнаружение процесса деградации в солнечных батареях – тем лучше.

Подтвердить PID можно измерением вольт-амперной характеристики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Кремниевые солнечные элементы являются наиболее разработанной технологией и самыми распространёнными элементами для СБ, в связи с этим были проведены большие объёмы экспериментов над ними. За время испытаний неоднократно была зафиксирована повышенная скорость деградации всей системы по сравнению с деградацией СМ. Коэффициент деградации модуля был незначительным: от 0,8 до 1 % в год, а скорость деградации системы в целом была около 2% в год.

2. Была обнаружено, что постепенная долговременная деградация СБ коррелировала линейно с воздействием разности потенциалов между солнечным модулем и монтажной конструкцией. Так же было установлено, что со временем увеличивалось последовательное сопротивление СМ и как следствие уменьшение коэффициента заполнения модуля (FF), что подтвердили аналогичные испытания. При этом взаимосвязи внешнего вида монокристаллических СЭ с электрическими характеристиками обнаружено не было.

3. Климатические факторы оказывают значительное влияние на коррозию металлов, а, следовательно, и на деградацию СБ. Водяной пар диффундирует через заднюю стенку модуля и образуется влага. Это приводит к ослаблению связей контактов и алюминиевой металлизации на задней стороне. Это, в свою очередь, уменьшает возможность переноса заряда в конечном счете снижая производительность модуля, также это может ускорить коррозию металла и привести к снижению эффективности. В конце концов влага может изменять скорость поверхностной рекомбинации.

4. Ошибки пайки и монтажа приводят к постепенной деградации за счет изменения (увеличения) сопротивления контактной площадки с элементом. Также установлено, что дефекты пайки на фронтальной стороне не оказывают существенного влияния на электрические характеристики. Дефекты оборотной стороны СЭ оказывают существенное влияние на выходные характеристики снижая коэффициент заполнения ВАХ, что при работе в первую очередь будет вызывать систематические перегревы СЭ в модуле.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно–компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Электронные системы на возобновляемых источниках энергии»;

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в сборниках научных трудов

1. Фещенко А.А., Марков А.Н., Жидиляева Н.И. Экономическое обоснование использования солнечных электростанций / А.Н. Марков, А.А. Фещенко, Н.И. Жиделяева // Материалы работы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 7-11 мая 2018, стр. 91-92

2. Фещенко А.А., Марков А.Н., Домбровский Е.Г. Прогнозирование деградации солнечных элементов/ А.Н. Марков, А.А. Фещенко, Е.Г. Домбровский // Материалы работы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 7-11 мая 2018, стр. 56-57

3. Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Домбровский Е.Г. Световая деградация электрических характеристик поликристаллических солнечных элементов / Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Домбровский Е.Г. // II Международная научно-практическая конференция. Актуальные исследования и инновации. – Самара: Центр научных исследований и консалтинга, 9 июня 2018, стр. 13-16

4. Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Голубов Н.А., Домбровский Е.Г., Жидиляева Н.И. Влияние ошибок при пайке солнечных элементов на скорость деградации их электрических характеристик / Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Голубов Н.А., Домбровский Е.Г., Жидиляева Н.И. // Международная конференция «Актуальные вопросы современных исследований». – Омск: Научный центр «Дельта», 11 июня 2018 (в печати)

5. Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Голубов Н.А., Домбровский Е.Г., Жидиляева Н.И. Потенциал применения солнечных электростанций в климатических условиях Республики Беларусь / Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Голубов Н.А., Домбровский Е.Г., Жидиляева Н.И. // XXVI Международная научно-практическая конференция «Вопросы современных научных исследований». – Омск: Научный центр «Орка», 12 июня 2018 (в печати)

РЭЗІЮМЭ

Маркаў Аляксей Мікалаевіч

Мадэляванне дэградацыі сонечных батарэй на аснове монакрышталічнага крэмнія

Ключавыя словы: сонечная батарэя, мадэль, мадэляванне.

Мэта працы: мэта работы заключалася ў выяўленні асноўных працэсаў, якія прыводзяць да дэградацыі сонечных элементаў і батарэй на аснове аналізу дадзеных атрыманых практычным шляхам, і пабудове мадэляў, якія б дазволілі ацаніць уплыў канструктыўна-тэхналагічных параметраў і ўмоў эксплуатацыі на дэградацыю сонечных элементаў і працягласць жыццёвага цыклу сонечных электрастанцый.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: кліматычныя фактары аказваюць значны ўплыў на карозію металаў і гідроліз пластмас. Вадзяной пар дыфундзіруе праз заднюю сценку тыповага модуля і ў EVA (этиленвинилацетат) утворацца інкапсулянт. Гэта прыводзіць да паслаблення сувязяў кантактаў і алюмініевай металізацыі на заднім боку. Гэта, у сваю чаргу, памяншае магчымасць пераносу зараду ў канчатковым рахунку зніжаючы прадукцыйнасць модуля, таксама гэта можа паскорыць карозію металу і прывесці да зніжэння эфектыўнасці. У рэшце рэшт, хоць вада не лёгка рассейваецца ў крэмнію, яна можа змяняць хуткасць павярхоўнай рэкамбінацыі

Сонечныя элементы ў модулі з'яўляюцца, крыніцамі току, злучаны-нымі паслядоўна. Калі іх бягучы струмень не ідэальна супадае, узнікаюць страты і неадпаведнасці, а «самыя слабыя» вочкі пачынаюць працаваць у зваротным зрушэнні. Калі клетка знаходзіцца ў зваротным зрушэнні, яна па сутнасці спажывае энергію з суседніх клетак і пераўтворае яе ў цяпло. Гэта прыводзіць да знясілення энергіі і патэнцыйна разбурае цеплааддачу ў здзіўленай клетцы. Агульная прычына неадпаведнасці і зваротнага зрушэння абумоўлена частковым зацяненне, якое можа мець месца ў шырокім дыяпазоне выпадкаў.

Ступень выкарыстання: Атрыманыя вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектравання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстанова адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» ў навучальны курс «Электронныя сістэмы на аднаўляльных крыніцах энергіі».

Вобласць прымянення: энергетыка Рэспублікі Беларусь, аднаўляльныя крыніцы энергіі.

РЕЗЮМЕ

Марков Алексей Николаевич

Моделирование деградации солнечных батарей на основе монокристаллического кремния

Ключевые слова: солнечная батарея, модель, моделирование.

Цель работы: Цель работы заключалась в выявлении основных процессов, приводящих к деградации солнечных элементов и батарей на основе анализа данных полученных практически путем, и построении моделей, которые бы позволили оценить влияние конструктивно-технологических параметров и условий эксплуатации на деградацию солнечных элементов и длительность жизненного цикла солнечных электростанций.

Полученные результаты и их новизна: Климатические факторы оказывает значительное влияние на коррозию металлов. Водяной пар диффундирует через заднюю стенку типичного модуля и в EVA (этиленвинилацетат) образуется инкапсулянт. Это приводит к ослаблению связей контактов и алюминиевой металлизации на задней стороне. Это, в свою очередь, уменьшает возможность переноса заряда в конечном счете снижая производительность модуля, также это может ускорить коррозию металла и привести к снижению эффективности. В конце концов, хотя вода не легко рассеивается в кремнии, она может изменять скорость поверхностной рекомбинации.

Солнечные элементы в модуле являются, источниками тока, соединенными последовательно. Когда их текущий поток не идеально совпадает, возникают потери и несоответствия, а «самые слабые» ячейки начинают работать в обратном смещении. Когда клетка находится в обратном смещении, она по существу потребляет энергию из соседних клеток и преобразует ее в тепло. Это приводит к истощению энергии и потенциально разрушает теплоотдачу в пораженной клетке. Общая причина несоответствия и обратного смещения обусловлена частичным затенением, которое может иметь место в широком диапазоне случаев.

Степень использования: Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Электронные системы на возобновляемых источниках энергии»;

Область применения: энергетика Республики Беларусь, возобновляемые источники энергии.

SUMMARY

Markov Aleksei Nikolaevich

Modeling of degradation of solar cells based on single-crystal silicon

Keywords: solar battery, model, modeling.

Purpose of the work: The purpose of the work was to identify the main processes that lead to the degradation of solar cells and batteries based on the analysis of data obtained in a practical way, and to construct models that would allow us to assess the effect of structural and technological parameters and operating conditions on the degradation of solar cells and the duration of the life cycle solar power stations.

The results obtained and their novelty: Climatic factors has a significant effect on the corrosion of metals and the hydrolysis of plastics. Water vapor diffuses through the back wall of a typical module and an encapsulant is formed in EVA (ethylene vinyl acetate). This leads to a weakening of the bonds of contacts and aluminum metallization on the back side. This, in turn, reduces the possibility of charge transfer, ultimately reducing the performance of the module; also, it can accelerate metal corrosion and lead to a decrease in efficiency. After all, although water does not easily dissipate in silicon, it can change the rate of surface recombination

The solar cells in the module are current sources connected in series. When their current flow does not ideally match, there are losses and inconsistencies, and the «weakest» cells begin to work in reverse bias. When the cell is in reverse bias, it essentially consumes energy from neighboring cells and converts it into heat. This leads to energy depletion and potentially destroys heat transfer in the affected cell. The general cause of discrepancy and reverse bias is due to partial shading, which can occur in a wide range of cases.

Degree of use: The results are introduced into the educational process at the Department of Information Systems Design of the Educational Establishment «Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics» in the training course «Electronic Systems on Renewable Energy Sources»;

Scope: energy of the Republic of Belarus, renewable energy sources.