

Метод фотоответного изображения для диагностики локальной эффективности солнечных батарей*

Ф.И. Маняхин¹, Р.В. Левченко², Л.О. Мокрецова³

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия
Zaomisis@yandex.ru

² НИТУ «МИСиС», Москва, Россия
LionchenkoR@gmail.com

³ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия
Lgmisis@yandex.ru

Аннотация. Метод фотоответного изображения направлен на физико-математическое исследование текущего состояния солнечных элементов (СЭ). Разработано устройство для снятия показателей местной эффективности СЭ. Сканирование происходит с помощью монитора персонального компьютера. Связь с устройством происходит с помощью специального программного обеспечения. Программа позволяет настраивать диагностику, обработку и хранение данных с помощью пользовательского интерфейса. Конфигурация включает выбор алгоритма диагностики, количества циклов чтения данных и цвет светового пятна. Результаты эксперимента отображаются на экране монитора в матричном виде и визуализируются в виде изображения. Программа предназначена для работы с ОС Windows. Экспериментальные испытания проводились на монокристаллических солнечных элементах на основе кремния или перовскита.

Ключевые слова: метод фотоответного изображения, солнечный элемент, фотосканирующее устройство, диагностика.

1 Компьютерная графика в материаловедении, светотехнике и дизайне

1.1 Компьютерный анализ изображений микро- и наноструктуры материалов

От начального качества солнечных батарей (СБ) в значительной степени зависит срок их службы и коэффициент полезного действия. Интегральными параметрами качества СБ являются ускоренные тесты старения (PID test) и коэффициент заполнения вольт-амперной (ВАХ) характеристики (Fill factor – FF). FF –

* Работа выполнена при государственной поддержке, оказываемой в рамках Программы повышения конкурентоспособности Национального научно-технического университета «МИСиС».

это отношение реальной мощности элемента к его гипотетической мощности. Данный показатель является одним из основных параметров, по которому можно судить о качестве фотоэлектрического модуля.

Но, очевидно, что эти параметры зависят от микроскопического состояния структуры активной области солнечного элемента (СЭ), особенно на основе поликристаллического или аморфного материала: проколов, фоторезистивных включений, микро царапин и пр.

Эти дефекты возникают уже на стадии технологического процесса вследствие его нарушения. Поэтому экономически целесообразно в технологическую цепочку включить операцию экспрессконтроля дифференциальных параметров качества СЭ, таких как локальной эффективности, наличия проколов и прочее.

Исследованию локальных дефектов изделий электронной техники посвящено много работ. Разработаны разнообразные методы диагностики. Наиболее доступными и дешевыми методами являются методы, основанные на использовании воздействия света на локальные активные области полупроводниковых структур.

Горюновым Н.Н. в соавторстве был разработан метод, который был назван фотосканированием, на основе которого разработан ряд устройств для диагностики качества полупроводниковых изделий [1-3]. Все эти устройства содержат оптическую систему на основе излучателя, свет которого фокусируется с помощью оптической системы на локальную область поверхности полупроводниковой структуры. Микроскопическое световое пятно генерирует в активной области полупроводникового кристалла фототок, который преобразуется в видимое изображение на экране монитора в виде областей различной яркости. По этому изображению делается вывод о качестве состояния структуры. Сканирование светового пятна осуществляется различными способами: отражением телевизионной развертки, механическими устройствами. Основными недостатками указанных устройств являются большие габариты, аналоговое изображение и необходимость синхронизации сканирования с изображением. Кроме того, невозможность количественной обработки параметров изображения.

В [4] описано фотосканирующее устройство, позволяющее получать цифровой сигнал фотоответа в виде прямоугольной матрицы. Однако это устройство имеет достаточно большие габариты фокусирующей системы.

В настоящей работе представлено фотосканирующее устройство для диагностики качества СЭ и СБ на основе анализа микроскопических параметров. Устройство создано на базе персонального компьютера (ПК), в котором сканирующее световое пятно, создаваемое на мониторе ПК, засвечивает малые области СЭ, наложенного чувствительной поверхностью на экран. Сигнал фотоответа записывается в прямоугольную матрицу, формируемую в памяти ПК, рис.1. Управление процессом фотосканирования ведется контроллером Arduino Uno R3 на базе микроконтроллера ATmega328.

Характеристики:

- Микроконтроллер ATmega328;
- Напряжение питания 5В;
- Входное напряжение (рекомендуемое) 7-12В;
- Входное напряжение (предельное) 6-20В;
- Цифровой ввод-вывод 14 линии (6 поддерживают ШИМ);
- Аналоговый ввод 8 линий;
- Постоянный ток на линиях ввода-вывода 40мА;
- Постоянный ток на линии 3.3В 50мА;
- Flash-память 32КВ, 2 КВ из них использованы для загрузчика;
- SRAM-память 2КВ;
- EEPROM-память 1КВ;
- Тактовая частота 16МГц.

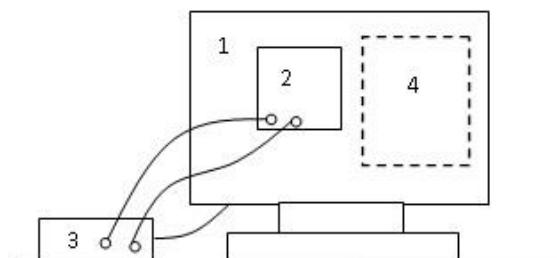


Рис. 1. Схематическое изображение устройства фотосканирования поверхности солнечного элемента: 1 – Экран монитора. 2 – Солнечный элемент. 3 – Контроллер. 4 – Область отображения информации

Фотография устройства представлена на рис.2.

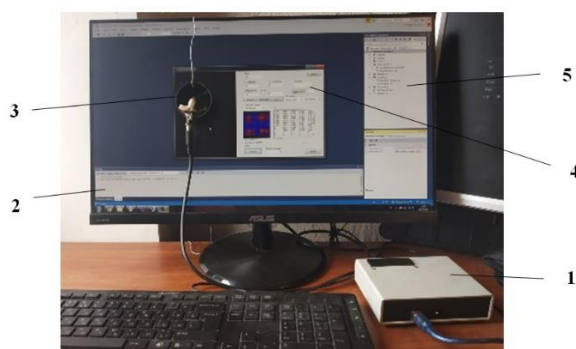


Рис. 2. Макет фотосканирующего устройства. 1. Микроконтроллерный блок; 2. Монитор ПК; 3. Солнечный элемент; 4. Панель отображения фотоскана; 5. Панель отражения режимов сканирования

Контроллер подключается к ПК через COM порт кабелем USB-AB 2.0.

Управление аппаратными средствами происходит с применением программного обеспечения, которое может быть установлено на ПК с операционными системами Windows XP, Windows 7, 8 и 10. Сбор данных о локальной эффективности СЭ происходит при взаимодействии аппаратных средств с СЭ. Обработка и хранение данных происходит программно. В конце цикла тестирования СЭ дифференциальная эффективность СЭ отображается на мониторе в области информации (рис. 3).

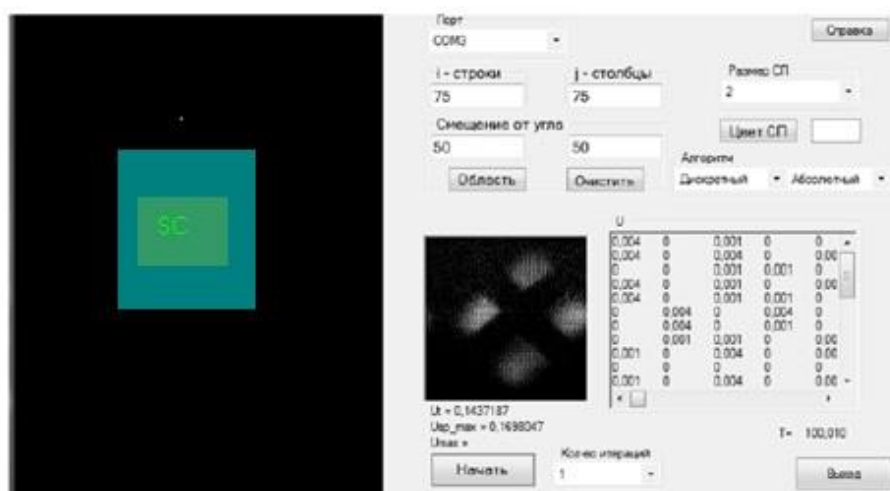


Рис. 3. Интерфейс программы диагностики СЭ

Блок-схема программы управления и обработки результатов фотосканирования приведена на рис. 4.

На этапе обработки информации использован инструментальный математический САПР программного продукта MathCad. С помощью нее осуществляется анализ матричной информации – дифференциальная диагностика эффективности СЭ: наличие локальных "проколов", утечки, шунты. Устройство реализует следующие возможности: минимизацию ошибки измерения обнулением значений зоны нечувствительности, введение контраста, измерение локальных фототоков на уровне $1 \cdot 10^{-8}$ А.

Для измерения малых фототоков СЭ большой площади и устранения влияния фоновой засветки LED – экрана применена схема модуляции интенсивности светового пятна монитора. Модуляция осуществляется программным способом с частотой 20 Гц. Фотоответный сигнал усиливается селективным усилителем и выпрямляется с помощью интегратора, выполняющего роль синхронного детектора. Оба каскада выполнены на операционных усилителях УД17.

Размер светового пятна устанавливается числом светящихся пикселей.

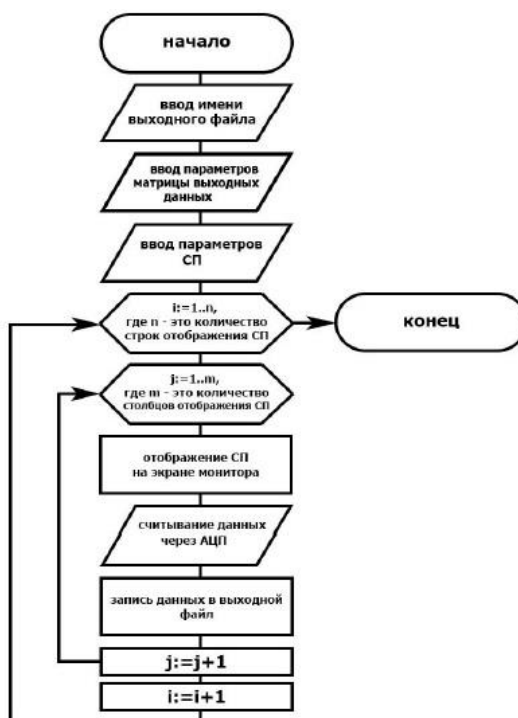


Рис. 4. Блок-схема программы управления, сбора и обработки данных фотосканирования СЭ

Результат эксперимента по получению фототока от монокристаллической солнечной панели на кремнии показывает повторяемость результатов (рис. 5). На данный момент ведется работы по устранению шума, который можно увидеть на изображении визуализации результатов.

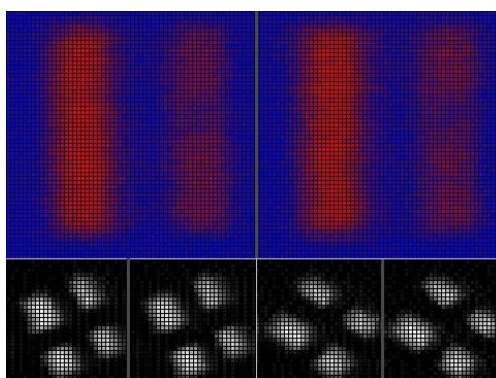


Рис. 5. Визуализация результатов получения фототока из монокристаллического кремния СЭ

Сканирование принимающей поверхности можно осуществлять двумя способами.

При первом способе измеряется фототок в локальной области светового пятна. При втором – измеряется фототок в СЭ при пошаговом увеличении площади засветки на площадь единичного пятна.

В первом случае матрица фотоответного изображения отражает локальную (дифференциальную) фоточувствительность СЭ. При втором – интегрированный фотоответ. При втором способе можно выявить области так называемых «проколов». Проколы – это места в СЭ, где отсутствует р-п переход и эта область обладает свойствами фоторезистора. При засветке этой области ее сопротивление уменьшается и возрастают утечки по этому шунту. При наличии таких шунтов коэффициент полезного действия СЭ уменьшается тем больше, чем больше мощность освещения.

Другим положительным качеством предлагаемого устройства является возможность использовать засветку световым пятном с различной длиной волны: красного, зеленого и синего диапазонов спектра. Это позволяет исследовать качество многослойных плёночных структур.

Для уменьшения расходимости света от пикселя монитора необходимо использовать сетку между монитором и СЭ.

2 Заключение

1. Разработано устройство экспресс диагностики качества солнечных элементов, в котором в качестве фотосканирующего устройства используется монитор персонального компьютера. Персональный компьютер выполняет роль управляющего устройства и устройства обработки и хранения экспериментальных данных;
2. Предлагаемое устройство может быть использовано в технологической цепочке промежуточного или конечного контроля качества технологического процесса производства СЭ.

Работа выполнена при государственной поддержке, оказываемой в рамках Программы повышения конкурентоспособности Национального научно-технического университета «МИСиС» среди ведущих мировых научных и образовательных центров на 2013-2020 годы.

Литература

1. Амазаспян В.Н., Саркисян В.С., Горюнов Н.Н. Устройство для выявления дефектов поверхности полупроводниковых приборов // Авторское свидетельство СССР SU 630983 А1 (1985).
2. Розинков Н.С., Лонской И.И., Дубицкий Л.Г., Горюнов Н.Н. Устройство дефектоскопического контроля планарных структур // Авторское свидетельство СССР 813202 (1981).

3. Лонской И.И., Горюнов Н.Н., Каверзнев В.А. Устройство для оптического контроля интегральных схем // Авторское свидетельство СССР 594477 (1978).
4. Григорян В.Г., Горюнов Н.Н., Маняхин Ф.И., Бессонов В.А., Кодак А.С. Исследование качества полупроводниковых структур метода фотоответственного изображения // Технологии электронной промышленности №1, 72-75 (2005).