

Исследование электрофизических характеристик солнечной панели с помощью компьютеризированного измерительного стенда

Н.А. Какурина, Ю.Б. Какурин, Д.Е. Курсай, Н.А. Осипов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: С целью определения перспективности использования солнечной панели в качестве основы для создания зарядного устройства, необходимо знать ряд параметров: ток короткого замыкания, напряжение холостого хода, коэффициент полезного действия и др. В настоящей работе эти параметры оцениваются по результатам исследования вольтамперной характеристики солнечной панели, полученной в автоматическом режиме с использованием компьютера и цифрового измерительного прибора E7-20.

Ключевые слова: солнечный элемент, солнечная панель, солнечная батарея, источник тока, зарядное устройство, вольтамперная характеристика, коэффициент полезного действия, измеритель иммитанса.

В последнее время значительно возрос интерес к разработке зарядных устройств [1,2] на альтернативных источниках энергии. Наиболее популярный выбор источника энергии для реализации конструкций зарядных устройств – солнечные батареи. Солнечная батарея собирается путем параллельного подключения солнечных модулей, каждый из которых состоит из последовательно соединенных солнечных элементов (СЭ) и реализован в виде самостоятельной панели. Электрофизические характеристики солнечной панели (СП) – это важнейшие параметры, оценивая которые можно сделать обоснованный выбор о перспективности применения панели для создания солнечной батареи с необходимым значением выходной электрической мощности.

В данной работе приведен пример исследования основных электрофизических характеристик солнечной панели на основе поликремния размерами 6,5 см × 7 см.

В простейшем случае СЭ может состоять из единственного р-n-перехода, расположенного на сравнительно небольшой глубине от

освещаемой поверхности полупроводника. Основной электрофизической характеристикой р-п-перехода является его вольтамперная характеристика (ВАХ). ВАХ СЭ представляет собой суперпозицию темнового тока р-п-перехода и тока, возникающего в результате генерации светом и разделения внутренним электрическим полем носителей, так называемого светового тока СЭ. В результате ВАХ освещенного р-п-перехода смещена в четвертую четверть осей координат. Известно, что прибор с подобной ВАХ может служить источником постоянного тока [3-5]. При соответствующем подборе нагрузочного сопротивления мощность в нагрузке может достигать 80% от произведения тока короткого замыкания $I_{кз}$ и напряжения холостого хода $U_{хх}$.

Измерения ВАХ как р-п-перехода, так и СЭ общепринято проводить путем регистрации значений токов и напряжений с помощью амперметра и вольтметра, регулируя значения сопротивления нагрузки в цепи. Нами были проведены измерения ВАХ СЭ в автоматическом режиме с помощью цифрового измерителя иммитанса E7-20, подключенного к компьютеру. Путем обработки полученных данных в специально разработанной программе в MathLab получен график ВАХ, показанный на рис. 1.

По графику ВАХ необходимо в первую очередь определить два важнейших параметра СЭ: ток короткого замыкания и напряжение холостого хода. Ток короткого замыкания – это ток, протекающий через СЭ, когда сопротивление нагрузки равно нулю. Для идеального СЭ $I_{кз}$ равен световому току, поэтому $I_{кз}$ можно считать максимальным током, который способен создать СЭ. Величина $I_{кз}$ в значительной степени зависит от диффузионной длины носителей заряда в полупроводнике [3] и качества пассивации поверхности СЭ. Для исследуемой панели величина $I_{кз}$ составила 2,7мА.

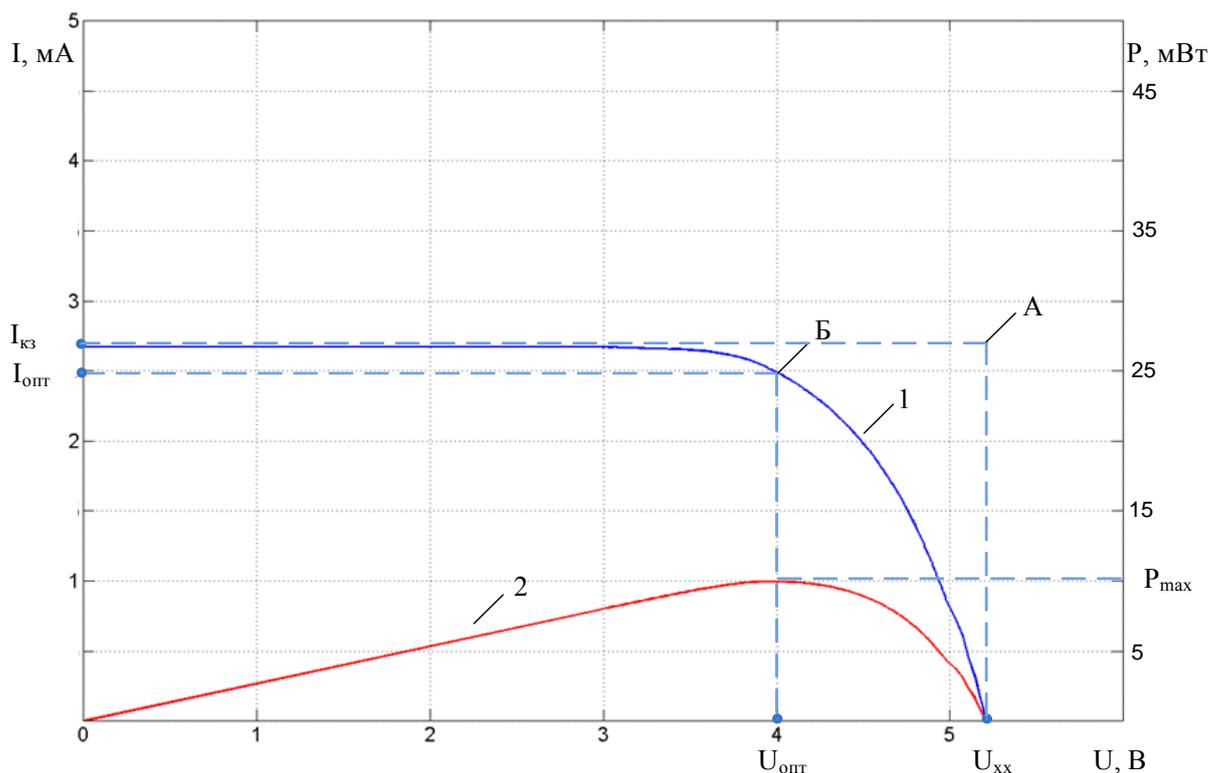


Рис.1. ВАХ солнечной панели (1) и зависимость мощности во внешней цепи от напряжения на ее выводах (2)

Напряжение холостого хода U_{xx} – это максимальное напряжение на выходе СЭ, возникающее при нулевом токе через СЭ. Напряжение холостого хода соответствует прямому смещению р-n-перехода, зависит от его тока насыщения и светового тока. Обычно световой ток изменяется незначительно, поэтому основное влияние на U_{xx} оказывает ток насыщения, который может изменяться на порядок и зависит от скорости рекомбинации носителей заряда в СЭ.

Напряжение холостого хода монокристаллических СЭ высокого качества достигает 730мВ. В коммерческих устройствах оно обычно находится на уровне около 600мВ [5]. Согласно полученной ВАХ U_{xx} солнечной панели составило 5,2В. Количество СЭ в исследуемой панели, соединенных последовательно равно 10, следовательно U_{xx} одного СЭ равно 0,52В, что свидетельствует о не слишком высоком качестве СЭ.

Ток короткого замыкания и напряжение холостого хода – это максимальные ток и напряжение, которые можно получить от СЭ. Однако, выходная мощность СЭ при этом равна нулю. Зависимость мощности во внешней цепи от напряжения на выводах исследуемой солнечной панели показана на рис.1., кривая 2. Видно, что при оптимальном выборе сопротивления внешней цепи $R_{\text{опт}}$ мощность, отдаваемая панелью во внешнюю цепь, будет максимальной P_{max} . Величина $R_{\text{опт}} = U_{\text{опт}} / I_{\text{опт}}$.

Для СЭ, применяемого в качестве источника постоянного тока, вводится понятие коэффициента заполнения (КЗ), который определяется, как отношение максимальной мощности СЭ к произведению $U_{\text{хх}}$ и $I_{\text{кз}}$. На рис. 1 показаны: прямоугольник А, построенный в координатах $U_{\text{хх}}$ и $I_{\text{кз}}$, и прямоугольник Б, построенный в координатах $U_{\text{опт}}$ и $I_{\text{опт}}$. КЗ равен отношению площадей прямоугольников А и Б и представляет собой меру квадратичности ВАХ СЭ, определяя максимальную площадь прямоугольника, который можно вписать в ВАХ СЭ. По сути КЗ – это коэффициент преобразования электрической мощности СЭ в полезную тепловую мощность.

КЗ СЭ прямо пропорционален величине напряжения холостого хода $U_{\text{хх}}$. У лабораторных образцов СЭ и коммерческих СЭ, выполненных по одинаковой технологии из одного и того же полупроводникового материала, значения КЗ обычно отличаются незначительно, к примеру для кремния 0,85 и 0,83 соответственно. КЗ может различаться существенно у СЭ из разных материалов. Например, КЗ солнечных элементов на основе GaAs может достигать 0,89 [5]. На практике КЗ всегда ниже идеального значения вследствие присутствия паразитных сопротивлений. Согласно нашим расчетам КЗ для исследуемой солнечной панели составляет 0,7. Тот факт, что $\text{КЗ} < 0,8$ свидетельствует, как показано в [5,6] о высоких резистивных потерях в СЭ.

Самым распространенным параметром для оценки эффективности преобразования СЭ солнечной энергии в электрическую является коэффициент полезного действия (КПД). КПД определяется как отношение максимальной электрической мощности на выходе СЭ, к мощности нормально падающего на поверхность СЭ потока солнечного излучения. Для исследуемой солнечной панели площадью $45,5 \text{ см}^2$ при мощности падающего излучения 40 Вт/м^2 ($\approx 10000 \text{ Лк}$) значение КПД оказалось равным 7%. Это значение является типичным для класса СЭ на основе поликремния [7]. По результатам измерения ВАХ при освещенности 10000 Лк составим таблицу с основными электрофизическими параметрами солнечной панели.

Таблица №1

№ п/п	Наименование электрофизического параметра солнечной панели	Измеренное/расчетное значение электрофизического параметра солнечной панели
1	$I_{кз}$	2,7мА
2	$U_{хх}$	5,2В
3	P_{max}	10мВт
4	$R_{опт}$	1,6кОм
5	КЗ	70%
6	КПД	7%

Исследование электрофизических параметров СП с помощью компьютеризированного стенда, включающего цифровой измеритель иммитанса E7-20 и программу обработки результатов прямых измерений токов и напряжений в MathLab, является удобным и высокоинформативным автоматизированным методом, выгодно отличающимся от ряда существующих [8-10]. Результаты исследований позволяют сделать обоснованный вывод о качестве солнечной панели и целесообразности использования ее для сборки солнечной батареи, с последующим применением в составе зарядного устройства или т.п.

Литература

1. Какурин Ю.Б., Какурина Н.А., Курсай Д.Е., Осипов Н.А. Сборка и рекомендации по эксплуатации солнечной батареи, собранной своими руками // Технические науки – от теории к практике, 2014, №34, С. 95 - 102.
 2. Дмитриев А.Н., Какурина Н.А., Какурин Ю.Б. Измерение и расчет электрофизических характеристик генератора на основе POWERBALL // Технические науки – от теории к практике, 2015, №47, С. 86 – 91.
 3. Зи. С. Физика полупроводниковых приборов: в 2-х книгах. Кн.2. Пер. с англ. – 2-е перераб. и доп.изд. – М.: мир, 1984. 456 с.
 4. Саенко А.В., Палий А.В., Бесполудин В.В. Моделирование конструкции кремниевых солнечных элементов с использованием программы PC1D // Инженерный вестник Дона, 2016, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3662.
 5. С. Honsberg и S. Bowden. PVCDROM // URL: pveducation.org/pvcdrom.
 6. Пученкин А. В., Титов В. Г., Ходыкина И. В. Анализ алгоритмов управления регулятором точки максимальной мощности для солнечных батарей // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2020.
 7. Swanson R. Approaching the 29% limit efficiency of silicon solar cells. Thirty-First IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2005. pp. 889-94.
 8. Sinton R.A, Cuevas A. Contactless determination of current–voltage characteristics and minority-carrier lifetimes in semiconductors from quasi-steady-state photoconductance data. Applied Physics Letters, 1996; №69. pp. 2510-2512.
 9. Пат. 111314 Российская Федерация МПК G02B27/20. Лабораторно-исследовательский стенд для изучения характеристик солнечных элементов и батареи солнечных элементов / Тюхов И.И., Раупов А.Х.; заявитель и
-



патентообладатель Московский государственный университет инженерной экологии. - № 2011108500/28, заявл. 05.03.2011; опубл. 10.12.2011.

10. Лигачев В.А., Попов А.И. / Ред. А.И. Попов. Лабораторная работа “Спектральная чувствительность и вольтамперная характеристика солнечного элемента” по курсу “Физика и технология приборов основе некристаллических полупроводников” - М.: изд-во МЭИ, 1999. 15 с.

References

1. Kakurin Ju.B., Kakurina N.A., Kursaj D.E., Osipov N.A. Tehnicheskie nauki □ ot teorii k praktike. 2014. №34. pp. 95-102.

2. Dmitriev A.N., Kakurina N.A., Kakurin Ju.B. Tehnicheskie nauki □ ot teorii k praktike. 2015. №47. pp. 86 – 91.

3. Zi. S. Fizika poluprovodnikovyh priborov [Physics of semiconductor devices] v 2-h knigah. Kn.2. Per. s angl. 2-e pererab. i dop.izd. M.: mir, 1984. 456 p.

4. Saenko A.V., Palij A.V., Bepoludin V.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2016, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3662.

5. C. Honsberg i S. Bowden. PVCDROM // URL: pveducation.org/pvcdrom.

6. Puchenkin A. V., Titov V. G., Hodykina I. V. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2020.

7. Swanson R. Thirty-First IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2005, pp. 889-94.

8. Sinton R.A, Cuevas A. Applied Physics Letters. 1996. №69. pp. 2510-2512.

9. Pat. 111314 Rossijskaja Federacija MPK G02B27/20. Laboratorno-issledovatel'skij stend dlja izuchenija harakteristik solnechnyh jelementov i batarei solnechnyh jelementov [Laboratory-research bench for studying characteristics of solar cells and solar battery]. Tjuhov I.I., Raupov A.H.; zajavitel' i



patentообладател' Moskovskij gosudarstvennyj universitet inzhenernoj jekologii. - № 2011108500/28, заявл. 05.03.2011; opubl. 10.12.2011.10.

10. Ligachev V.A., Popov A.I. / Red. A.I. Popov. Laboratornaja rabota “Spektral'naja chuvstvitel'nost' i vol'tampernaja harakteristika solnechnogo jelementa” po kursu “Fizika i tehnologija priborov osnove nekristallicheskih poluprovodnikov” [Laboratory work “Spectral response and current-voltage characteristic of a solar cell” on the course “Physics and technology of devices based non-crystalline semiconductors]. M.: izd-vo MJeI, 1999. 15 p.