

УДК 621.383.51

В. С. Шуляк, студент гр. ПН-71мп

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ТЕПЛОВЕ ПОЛЕ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ ПРИ ПРОТІКАННІ ЗВОРОТНОГО ТЕМНОВОГО СТРУМУ ТА ЙОГО ВОЛЬТ-АМПЕРНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Анотація. В роботі представлено результати досліджень вольт-амперних характеристик сонячних елементів на основі полікристалічного кремнію, а також їх теплових полів, отриманих методом інфрачервоної термографії. Теплові поля утворювались на поверхні внаслідок протікання зворотного темнового струму від зовнішнього джерела і виділення тепла Джоуля в сонячному елементі. Встановлено зв'язок між характером теплового поля сонячного елемента і формою його вольт-амперної характеристики.

Ключові слова: вольт-амперна характеристика; інфрачервона термографія; коефіцієнт корисної дії; фотоелектрична сонячна батарея.

ВСТУП

Технологічні ланцюжки виробництва фотоелектричних сонячних батарей (ФЕСБ) наразі добре відпрацьовані на основі результатів наукових досліджень фотовольтаїки останніх десятиліть [1]. Проте, підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) ФЕСБ або принаймні його збереження на заявленому рівні під час тривалого терміну експлуатації залишається нагальною проблемою. Явні і приховані дефекти різної природи притаманні кожному сонячному елементу і вони можуть суттєво впливати на процеси деградації сонячного елемента і, наприкінці, призводити до зменшення ККД всієї ФЕСБ на кілька відсотків (наприклад, з 14% до 10%, що стає причиною передчасного виведення ФЕСБ із експлуатації). Таким чином, дослідження дефектів різної природи, динаміки їх розвитку під час терміну експлуатації ФЕСБ та характеру впливу на її ККД залишаються актуальними науковими задачами, вирішення яких сприяє подальшому розвитку сонячної енергетики в Україні і в усьому світі.

КОРОТКИЙ ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дефекти сонячних елементів типу «гарячих зон» (Hot Spots) фундаментально досліджені методом інфрачервоної термографії (ІЧТ), зокрема, в роботах [2-3].

Виявлення дефектів сонячних елементів природи, їх візуалізація різними методами та засобами, вимірювання їх параметрів та оцінювання їх впливу на експлуатаційні параметри і характеристики як окремого сонячного елемента, так і батареї в цілому, складають проблематику наукових досліджень кафедри НАЕПС [4-6].

В даній роботі нами вирішується задача дослідження зв'язку між параметрами «гарячих зон», виявлених методом ІЧТ, та ККД сонячних елементів, який отримують на основі їх вольт-амперних характеристик (ВАХ). Результати досліджень можуть бути використані при виробництві ФЕСБ, а також при їх експлуатації.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основним методом збудження дефектів в кремнієвих сонячних пластинах і елементах є пропускання через них зворотного темнового струму та їх нагрівання внаслідок виділення тепла Джоуля. Візуалізація теплового поля відбувається застосуванням методу ІЧТ.

ККД сонячного елемента визначають на основі вимірної ВАХ. В лабораторії кафедри НАЕПС були виміряні ВАХ чотирьох зразків сонячних елементів на основі кристалічного кремнію (рис.1).

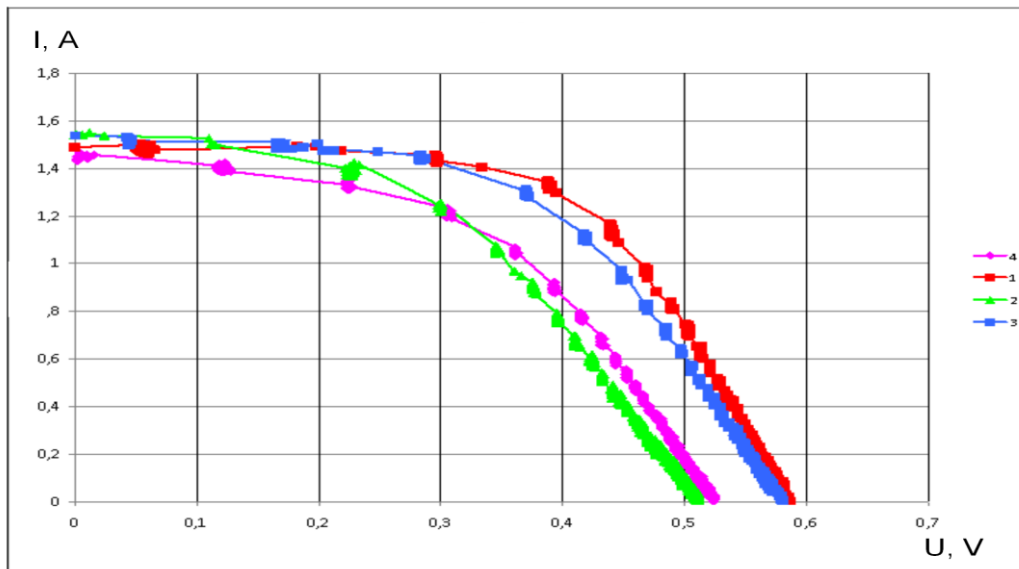
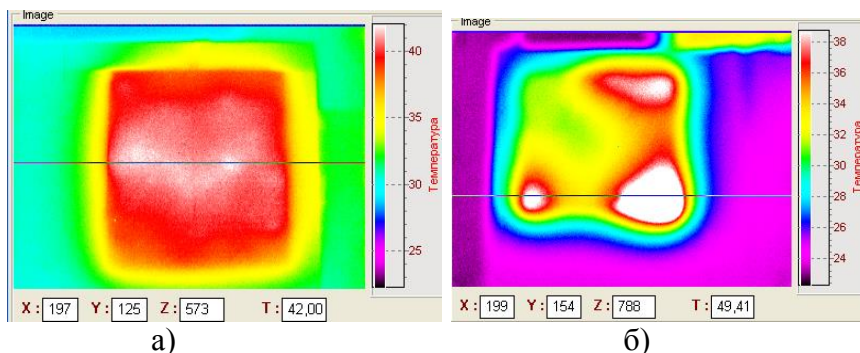


Рисунок 1. ВАХ зразків кремнієвих сонячних елементів

За результатами вимірювання ВАХ був розрахований ККД кожного із чотирьох зразків сонячних елементів. Встановлено, що ККД знаходився в межах від 12% (зразок №4) до 14% (зразок №1).

Методом ІЧТ були отримані теплові поля даних зразків після нагрівання їх від зовнішнього джерела потужністю 6 Вт. На зображеннях теплового поля сонячних елементів координати X та Y задано у пікселях, а температура наведена як у відносних одиницях Z, так і у градусах T за шкалою Цельсія (рис. 2).



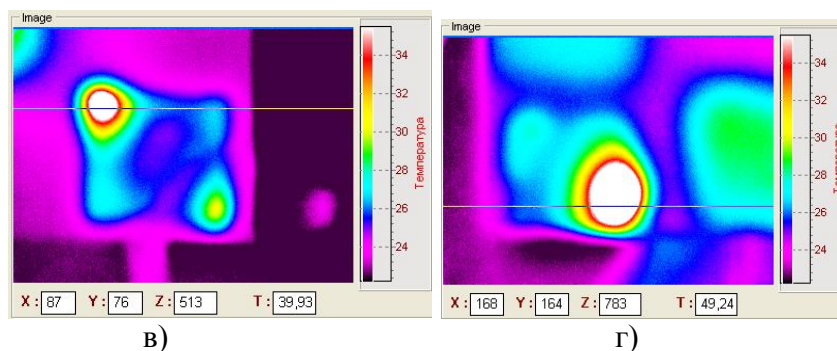


Рисунок 2. Теплові поля зразків сонячних елементів: а) - №1; б) - №2; в) - №3; г) - №4

На зображеннях теплового поля сонячних елементів координати X та Y задано у пікселях, а температура наведена як у відносних одиницях Z , так і у градусах T за шкалою Цельсія.

Зразок №1 має однорідне теплове поле із середньою температурою $39 \pm 0,5$ град (рис. 2.). Максимальна температура дорівнює 42 град.

Зразок № 2 має великі неоднорідності теплового поля на поверхні, при максимальній температурі 50 град .

Зразок №3 має відносно невеликі за площею зони дефектів (до 5% від загальної площі) з температурою до 40 град.

Зразок №4 має дефектну зону, яка складає більше 20% від загальної площі поверхні сонячного елемента. Температура в зоні дефекту сягає 50 град.

При дослідженні теплового поля сонячних елементів методом ІЧТ також були побудовані залежності температури у горизонтальному перерізі. На рисунку 3 наведені профілі температури теплового поля сонячних елементів із значним градієнтом температури в дефектних зонах.

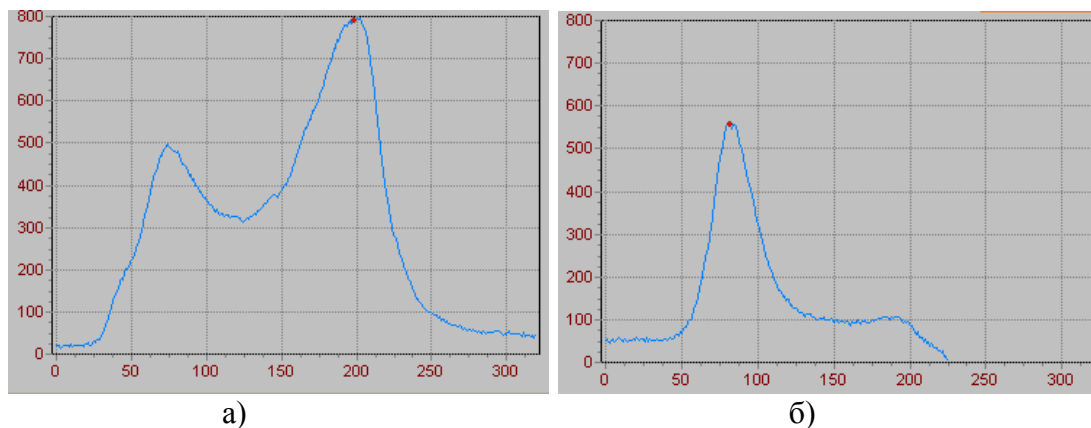


Рисунок 3. Профіль температури у горизонтальному перерізі теплового поля: а) – зразок №2; б) – зразок №3; температуру наведено у відносних одиницях, а координату X – у пікселях

Градієнт температури дефектних зон перевищив 1 градус/піксел або 0,5 град/мм в горизонтальному перерізі (за координатою X). Аналогічний результат отримали і в перерізі за координатою Y .

ВИСНОВКИ

Порівняльний аналіз теплових полів сонячних елементів та пошук їх кореляції із формою ВАХ дозволяє нам стверджувати, що:

—зразки із рівномірним тепловим полем мають найбільш наближену до прямокутної форми ВАХ (зразок №1), що відповідає найбільшому ККД;

—нерівномірність теплового поля із відносною площею «гарячої зони» більше 10% від загальної площі поверхні сонячного елемента свідчить про зниження ККД на 2% і більше; при цьому ВАХ має характерний «завал» і більш відрізняється від прямокутної форми;

—значне перегрівання зони дефекту (до 50 градусів за Цельсієм і більше) також має кореляцію із «завалом» ВАХ і зниженням ККД;

Встановлено, що зразкам, які мають дефекти, притаманне неоднорідне теплове поле із градієнтом температури 0,5 град/мм і вище. При цьому коефіцієнт корисної дії зменшувався з 14% до 12%.

Наступною науковою задачею постає вдосконалення методу вимірювання геометричних розмірів зображень теплового поля дефектних зон сонячних елементів та розрахунку теплової потужності дефектів, що надасть дієвий критерій для контролю якості ФЕСБ під час їх виробництва, продажу або експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf
2. Breitenstein O. Lock-in Thermography – Basics and Use for Evaluating Electronic Devices and Materials. [Текст] /О. Breitenstein, W. Warta, M. Langenkamp. – Berlin: Springer. – 2010. – 256 p.
3. Simon M. Detection and analysis of hot-spot formation in solar cells. [Текст] /M. Simon, E.L. Meyer // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2010. – № 94. – P. 106–113.
4. Божко К.М. Інфрачервона термографія сонячних елементів, нагрітих темновим струмом [Текст] /К.М. Божко, В.І. Дунаєвський, В.Й. Котовський, В.П. Маслов, В.А. Порев //Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Приладобудування. – 2013. – Вип. 46. – С. 56 – 63.
5. Bozhko K. The role of the solar power industry in sustainable development of society. [Текст] /K. Bozhko. //Sustainable Development: Social and Economic Changes. Monograph. – Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. – 2016. – P. 36 – 42.
6. Bozhko K. Thermographic modeling of pollution of reservoirs with solutions NaCl [Текст] /K. Bozhko, V. Maslov, V. Porev and others. //American Journal of Environmental Protection.– 2014. – Vol. 3, №5. – P. 263 – 266.

Наук. керівник – к.т.н., ст. викладач. Божко К.М.

