

**В. А. Порєв, д.т.н., професор,**

**Р. І. Пахалюк, аспірант,**

**С. Ю. Сидоренко, аспірант**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»  
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна

## **ВИКОРИСТАННЯ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ**

*У статті запропоновано телевізійний метод контролю дефектів електролюмінесцентної природи сонячних елементів, що дозволяє визначити контури дефектів і, відповідно, їхні геометричні розміри та форму, оцінити втрати та ефективність перетворення сонячної панелі в цілому.*

**Ключові слова:** сонячна панель, електролюмінесцентні дефекти, телевізійний засіб вимірювання, розподіл яскравості.

**Вступ.** Енергетична ситуація в Україні та в усьому світі є ідентичною – запаси нафти та газу практично вичерпані, і це є тільки питання часу. Тому перед людством ставиться завдання широкомасштабного впровадження новітніх технологій ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів і максимального використання нетрадиційних поновлюваних джерел енергії. Найбільш перспективним альтернативним джерелом енергії, що може знизити витрати органічного палива й залежність багатьох країн світу від імпорту палива, є сонячна енергія. Сонце є основним джерелом усіх видів енергії, які людина має в своєму розпорядженні, і цей резервуар невичерпний.

Розробка сонячних батарей стає одним із пріоритетних напрямів розвитку людства. Однак висока вартість і відсутність адекватних засобів контролю дефектів у сонячних панелях при виготовленні та експлуатації стали серйозною проблемою, з якою зіткнулися виробники, і яка, в свою чергу, вимагає розвитку нових і покращення вже існуючих методів і засобів неруйнівного контролю.

На сьогодні існує величезна кількість методів контролю дефектів, найбільш поширеними методами є: скануюча зондова мікроскопія, рентгенівський метод, спектроскопічна еліпсометрія, просвічуюча електронна мікроскопія, фотолюмінесцентна спектроскопія, метод термографії, а також методи по виявленню та дослідженню електрично-активних дефектів (ЕАД), що володіють електролюмі-

нісценцією при прямих зміщеннях на р-п-переходах [1; 2; 3]. Незважаючи на величезну кількість методів контролю дефектів СЕ, слід зазначити, що ЕАД при обернених зміщеннях на р-п-переходах досліджені недостатньо і потребують подальшого дослідження та вивчення.

**Метою роботи** є підвищення точності вимірювання координат та розмірів ЕАД при обернених зміщеннях на р-п-переходах.

**Постановка задачі.** Основним завданням, яке ми ставили перед собою, було проведення досліджень дефектів, що мають електролюмінесцентну природу, з метою визначення їх параметрів, а зокрема координат, розмірів та форм. Для отримання даних про параметри ЕАД необхідно:

- створення лабораторного стенда та методик для досліджень дефектів сонячних елементів, що мають електролюмінесцентну природу;

- дослідження особливостей електролюмінесценції дефектів сонячних елементів при подачі зворотної напруги

**Розробка дослідної установки та отримання вольт-яскравісних і ампер-яскравісних залежностей електролюмінесцентних дефектів.** Для проведення відповідних досліджень було розроблено експериментальний стенд, в основі якого лежить телевізійний засіб вимірювання (ТЗВ). ТЗВ вирішують завдання вимірювання геометричних розмірів, кутів переміщень, координат та інших параметрів об'єктів великих і малих роз-

мірів з точністю, не меншою, а часом і більшою порівняно з точністю традиційних оптико-електронних приладів [4]. Сучасні ТЗВ дозволяють одночасно забезпечити високі серед усіх інформаційно-вимірювальних засобів показники максимального формату вибірки, мінімального часу її формування та роздільної здатності, а обов'язкова наявність у складі ТЗВ комп'ютера дозволяє досить гнучко використовувати велику кількість методів формування, обробки і аналізу зображення для поліпшення точнісних показників. Саме тому ТЗВ може бути покладена в основу ефективного методу контролю дефектів сонячних панелей.

На рис. 1 зображено загальний вигляд лабораторного телевізійного стенда для досліджень дефектів електролюмінісцентної природи.

Внаслідок подачі постійної зворотної напруги (1000-0В) з каскадного джерела живлення 1 на дослідний зразок 2 (сонячна панель) закріплений за допомогою двох рейок та гвинтів, на оптичній лаві 3 проявляються електрично-активні дефекти, що мають електролюмінісцентну природу, які й є об'єктами випромінювання.

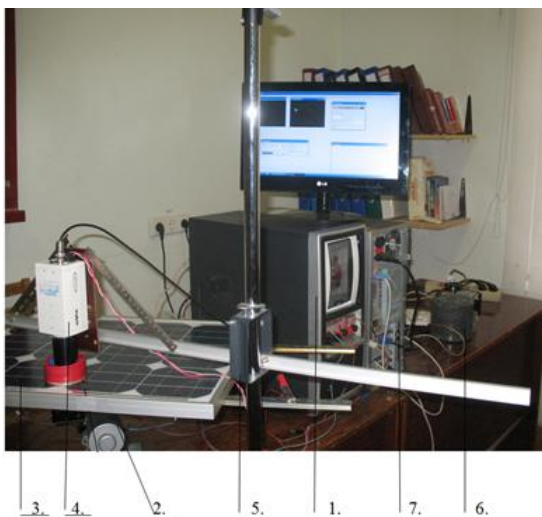


Рис. 1. Загальний вигляд лабораторного телевізійного стенда для досліджень дефектів електролюмінісцентної природи

Точне позиціонування області дефекту сонячної панелі відносно об'єктива камери 4, закріпленої на штативі 5, виконується за допомогою ручних мікрометричних приводів лави. Лінійний автотрансформатор 6 використовується для регулювання значення вхідної

мережевої напруги, що дозволяє нам отримати необхідне значення постійної напруги на каскадному джерелі живлення.

Отримане зображення оброблялося на ПК 7 завдяки застосуванню програмного забезпечення, що дозволяє досить гнучко використовувати велику кількість методів формування, обробки і аналізу зображення для поліпшення точнісних показників. Після обробки та аналізу отриманого зображення ЕАД були побудовані розподіли яскравості та контрасту яскравості комірок (рис. 2).

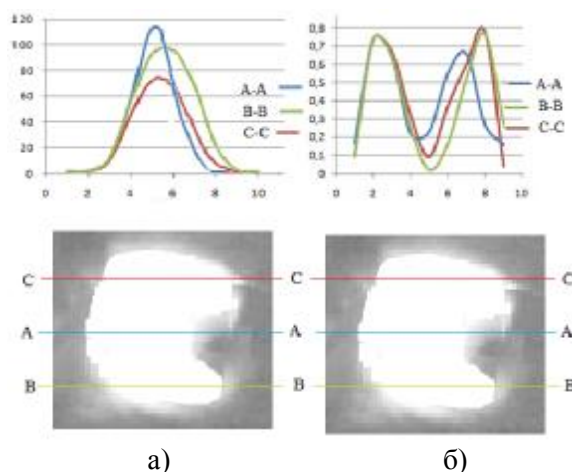


Рис. 2. Графіки розподілу яскравостей (а) та контрасту (б) по перерізах

При збільшенні дефекти виглядали, як окремі точки, замкнуті або не повністю замкнуті контури та їх скупчення, що світяться. Колір світіння досліджених дефектів у переважній більшості був білим. На рис. 2 представлено зображення дефекту, яке було поділене горизонтальними перерізами (А-А, В-В, С-С), по яких були побудовані розподіли яскравості та контрасту яскравості.

За допомогою цих розподілів можна визначити реальні контури дефектів, а зокрема й їхні форми та розміри. Як ми бачимо з графіка розподілу яскравостей та контрасту комірок (рис. 2), для перерізу А-А мінімальне значення контрасту при максимальних значеннях яскравостей комірок становить  $K_1 = 0,22$ , а для перерізів В-В та С-С –  $K_2 = 0,02$ ,  $K_3 = 0,09$  відповідно. Отже, характерною особливістю для цього дефекту є найбільша яскравість у центрі та зменшення її значення поблизу межі дефекту. Проте слід зазначити, що для кожного дефекту значення яскравостей та їх розподіл є індивідуальними.

На цьому графіку розподілу контрасту яскравостей комірок для даних перерізів можна виділити два піки з максимальним значенням контрасту на перерізах, що відповідають межах контуру дефекту. Так, для перерізу А-А значення найбільшого контрасту для першого піка становить  $K_{11}=0,74$ , а для другого –  $K_{12}=0,66$ , для В-В –  $K_{21}=0,74$  і  $K_{22}=0,77$  та С-С –  $K_{31}=0,74$  і  $K_{32}=0,78$  відповідно.

Провівши аналіз графіків розподілу яскравостей та контрасту (рис. 2), можна отримати контури дефектів і, відповідно, їхню форму та розміри. Проте слід зазначити, що характерною особливістю цих дефектів є зміна яскравості відповідно до прикладеної вхідної зворотної напруги. Саме тому були проведені дослідження залежностей яскравості від прикладеної зворотної напруги і за обробленими даними були побудовані вольт-яскравісні і ампер-яскравісні характеристики дефекту, що зображені на рис. 3.

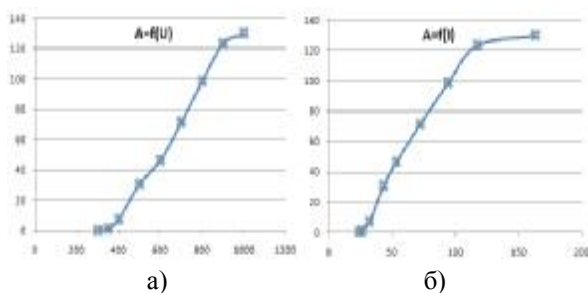


Рис. 3. Вольт-яскравісні (а) і ампер-яскравісні (б) характеристики ЕАД

На графіках на рис. 3 можна виділити лінійні ділянки і ділянки насичення. Ці області (лінійна ділянка і ділянка насичення) характерні для всіх досліджених дефектів у даній роботі. Проте значення постійної зворотної напруги і струму, при яких відбувається насиченість, для кожного дефекту індивідуальне.

На вольт-яскравісних та ампер-яскравісних характеристиках дослідженого дефекту, зображених на рис. 3, проявляється лінійна область при значеннях напруги, що подається на сонячну панель, від 400 до 900 В і область насичення, яка починається приблизно від 900 В на вольт-яскравісній характеристиці (рис. 3, а). Аналогічно можна виділити такі ж ділянки на ампер-яскравісній характеристиці (рис. 3, б). У цьому випадку лінійна ділянка простежується при значеннях струму 35–

115 мА, а ділянка насичення – починаючи зі 115 мА

Саме завдяки отриманим вольт- і ампер-яскравісним характеристикам можна оцінювати втрати на кожній комірці зображення електролюмінесцентного дефекту, що, в свою чергу, дозволить визначати втрати на дефектах, які погіршують експлуатаційні характеристики і, відповідно, ефективність перетворення сонячних панелей.

**Висновки.** Отримані результати можуть бути покладені в основу нового методу контролю сонячних панелей як у процесі виготовлення, так і в експлуатації. Метод дозволить визначати геометричні розміри і форми дефектів, а також втрати на дефектах за допомогою ТЗВ, що є вкрай необхідним, оскільки електрично-активні електролюмінесцентні дефекти при зворотних зсувах на рп-переходах досліджені недостатньо, а ККД сонячних панелей безпосередньо пов'язаний з дефектами сонячних панелей.

### Список літератури

1. Гременок В. Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / Гременок В. Ф., Тиванов М. С., Залеский В. Б. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2007. – 222 с.
2. Yu E. T. Nanoscale characterization of semiconductor materials and devices using scanning probe techniques / E. T. Yu // Materials Science and Engineering. – 1996. – Vol. 17. – Pp. 147–206.
3. Локальные свойства электрически активных дефектов в солнечных батареях на основе кремния / [Попов В. М., Клименко А. С., Поканевич А. П. и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2010. – № 4. – С. 43–48.
4. Маркін М. О. Біспектральний телевізійний прилад контролю високотемпературних технологій / М. О. Маркін, В. А. Порєв // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – № 23. – С. 102–105.

### References

1. Gremenok, V. F., Tyvanov, M. S., Zaleskiy, V. B. (2007). Sunny elements on the basis of of semiconductor materials. Minsk : Izd. BSU, 222 p.

2. Yu, E. T. (1996) Nanoscale characterization of semiconductor materials and devices using scanning probe techniques. *Materials Science and Engineering*, (17), pp. 147–206.
3. Popov, V. M., Klimenko, A. S., Pokanevych, A. P. et al. (2010). Local properties of electrically active defects in solar cells based on silicon. *Tehnologiya i konstruirovaniye v elektronnoj apparature*, (4), pp. 43–48.
4. Markin, M. O. and Porev, V. A. (2009) Bispectrum TV control device of high temperature technologies. *Metody ta prylady kontrol'u yakosti*, (23), pp. 102–105.

*Стаття надійшла до редакції 17.07.2014.*

**V. A. Poryev**, *D.Sc., professor*,  
**R. I. Pahalyuk**, *post-graduate student*,  
**S. Yu. Sidorenko**, *post-graduate student*  
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»  
Peremogy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine

#### THE USE OF TV MEANS OF CONTROL FOR INVESTIGATION OF SOLAR PANELS DEFECTS

*In the article TV method for the control of solar cells defects which have electro-luminescent nature, that allows to determine defects contours and, correspondingly, their geometrical dimensions and shape, as well as to evaluate the losses and efficiency of solar panel transformation as a whole, is offered.*

**Keywords:** *solar panel, electroluminescent defects, TV measuring device, brightness distribution.*