

К. ф.-м. н. А. В. ИВАНЧЕНКО, С. В. МАЗУРИК, д. ф.-м. н. А. С. ТОНКОШКУР

Украина, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

E-mail: IvanchenkoAV@ukr.net

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ПРИ ПЕРЕГРЕВЕ

*Приведены результаты исследований вольт-амперных и вольт-ваттных характеристик монокристаллических кремниевых фотоэлектрических преобразователей солнечных батарей, прошедших термообработку при повышенной температуре (до 150°C) в течение различного времени (до 6 ч) при освещении и в темновом режиме в разомкнутой и короткозамкнутом состоянии. В исследованных температурном и временном диапазонах не обнаружено значительных изменений основных функциональных характеристик и параметров.*

**Ключевые слова:** кремниевый фотоэлектрический преобразователь, солнечная батарея, вольт-амперная характеристика, вольт-ваттная характеристика, термообработка.

В последнее время солнечные батареи становятся одним из наиболее предпочитаемых источников возобновляемой электрической энергии, а значит, растут требования к их надежности, в частности к сохранению основных функциональных свойств после пребывания при повышенной температуре.

Как известно, структурно солнечные батареи состоят из множества последовательно и параллельно соединенных фотоэлектрических преобразователей (**ФЭП**), основной частью которых зачастую является кремниевый  $p-n$ -переход. Как свидетельствуют данные, представленные в [1, 2], ряд других устройств использующих кремниевые переходы (диоды, транзисторы) сохраняют свою работоспособность до температуры порядка 150°C и выше. Тем не менее, для аналогичных кремниевых приборов, используемых в качестве ФЭП в солнечной энергетике, максимальная температура эксплуатации ограничивается 60–80°C [3] по причине резкого снижения выделяемой мощности [4–6]. Однако до настоящего времени вопрос об уровне деградации и сохранности элемента ФЭП после воздействия относительно высокой температуры в течение ограниченного промежутка времени представляется недостаточно исследованным. Среди известных работ в этом направлении следует отметить [6, 7], где установлено снижение напряжения холостого хода и тока короткого замыкания кремниевых ФЭП после термической обработки разной длительности при температуре около 300°C в атмосферных условиях.

Следует также отметить необходимость подобных исследований для решения задачи по-

вышения надежности солнечных батарей путем использования самовосстанавливающихся РРТС-предохранителей (polymeric positive temperature coefficient device) типа Polyswith в качестве дополнительных устройств, предназначенных для изоляции неактивных (затененных или дефектных) областей как отдельных ФЭП, так и их модулей [8, 9]. Эти элементы электрической и тепловой защиты нашли уже применение в аккумуляторах и гальванических источниках питания [10–13]. Одной из проблем их применения в солнечных батареях является несоответствие диапазонов рабочей температуры фотоэлектрических модулей (максимальная регламентируемая температура составляет 80°C [3]) и наиболее распространенных в настоящее время типов коммерческих РРТС-предохранителей, для которых область фазового перехода (срабатывания) находится около 125°C [9–11].

В настоящей работе исследовалась одна из важных проблем, возникающих при разработке схемотехнических устройств защиты элементов солнечных батарей от электротепловых перегрузок — влияние перегрева фотоэлектрических преобразователей на их функциональные свойства.

### Образцы для исследований и методика проведения эксперимента

Исследовали образцы ФЭП из монокристаллического кремния КДБ-10 с просветляющим покрытием на основе ИТО [9, 14]. Для измерения вольт-амперной и вольт-ваттной характеристик использовалась известная измерительная схема вольтметра-амперметра [15]. Источником света

служил имитатор солнечного излучения, моделирующий условия АМ1,5. Для исследований воздействия на ФЭП повышенной температуры прибор помещался в разогретый термостат, а после каждой термообработки охлаждался до комнатной температуры в свободном режиме.

Измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) ФЭП, прошедших термообработку при различной температуре, проводили в темновом и световом режимах для разомкнутого и короткозамкнутого состояний преобразователя. На основе полученных ВАХ рассчитывали соответствующие вольт-ваттные характеристики (ВВХ). В результате фиксировали значения основных параметров ВАХ и ВВХ фотоэлектрических преобразователей, такие как напряжение холостого хода (при разомкнутом ФЭП)  $V_{OC}$ , ток короткого замыкания  $I_{SC}$  и максимальная электрическая мощность  $P_{max}$ , отдаваемая во внешнюю цепь. Полученные результаты оформляли в виде корреляционных полей, где в качестве независимого фактора  $x$  выступали значения температуры ( $T_{TO}$ ) или продолжительности ( $t_{TO}$ ) термообработки, а случайной величины  $y$  — значения параметров  $V_{OC}$ ,  $I_{SC}$ ,  $P_{max}$ . Эти данные представляли также аппроксимирующими линейными зависимостями, полученными с использованием метода наименьших квадратов.

Для анализа результатов использовалась методика, аналогичная применяемой для оценки стабильности варисторных изделий и основанная на фиксации отклонений их функциональных параметров от номинальных значений вследствие старения или воздействия различных термообработок [16, 17].

Контролируемая величина, называемая уходом соответствующего параметра  $y$ , определялась по общей формуле

$$\Delta y(x) = \frac{y(x) - y(0)}{y(0)} \cdot 100\%,$$

где  $y(0)$ ,  $y(x)$  — соответственно, начальное (номинальное) значение параметра  $y$  и его значение, полученное для условий, определяемых величиной  $x$ .

В качестве  $y(0)$  принималось значение  $y^*(0)$ , полученное путем аппроксимации.

#### Влияние температуры термической обработки на характеристики ФЭП

Для проведения анализа были измерены ВАХ и ВВХ образцов ФЭП, прошедших термообработку длительностью 10 мин при различных зна-

чениях температуры, режимах освещения и состояниях выводов.

Было установлено, что термообработка ФЭП в короткозамкнутом состоянии и освещенном режиме приводит к некоторому «дрейфу» ВАХ и ВВХ, который носит характер случайного разброса (рис. 1). В частности, может иметь место и ухудшение, и улучшение параметров ФЭП, соответствующие известным процессам их деградации и регенерации [18, 19].

Для проведения анализа также были построены зависимости напряжения холостого хода  $V_{OC}$  и тока короткого замыкания  $I_{SC}$ , приведенные к их начальным значениям, полученным путем аппроксимации (соответственно,  $V_{OC}^*$  и  $I_{SC}^*$ ), от температуры термообработки ФЭП для разных режимов освещения и состояний выводов. Как видно из рис. 2, независимо от значения температуры, режима освещения и состояния ФЭП, термообработка практически не влияет на величину  $V_{OC}$ . Об этом свидетельствуют и данные, приведенные в таблице для температуры 150°C.

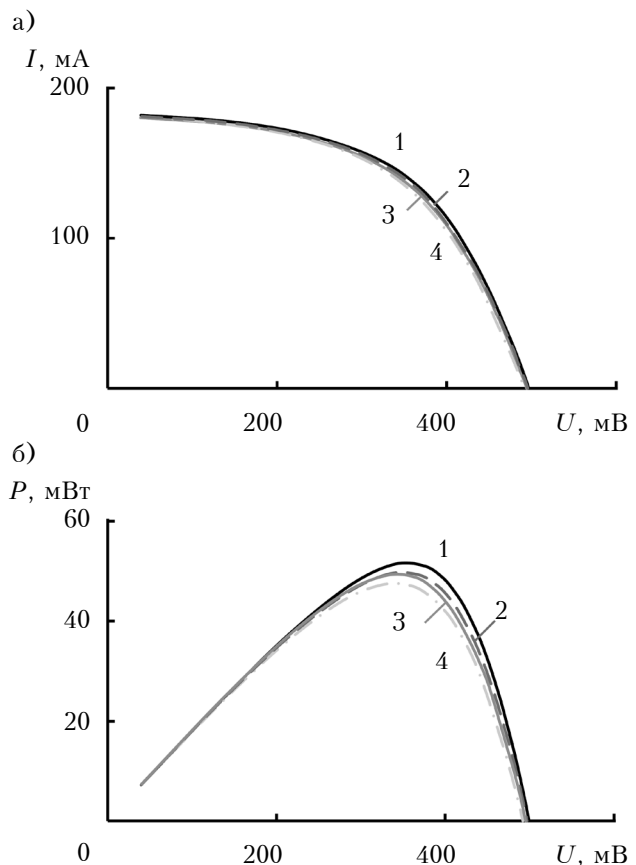


Рис. 1. Типичные ВАХ (а) и ВВХ (б) ФЭП, прошедших термообработку длительностью 10 мин в освещенном режиме и короткозамкнутом состоянии при различной температуре (°C):

1 — 25; 2 — 75; 3 — 120; 4 — 165

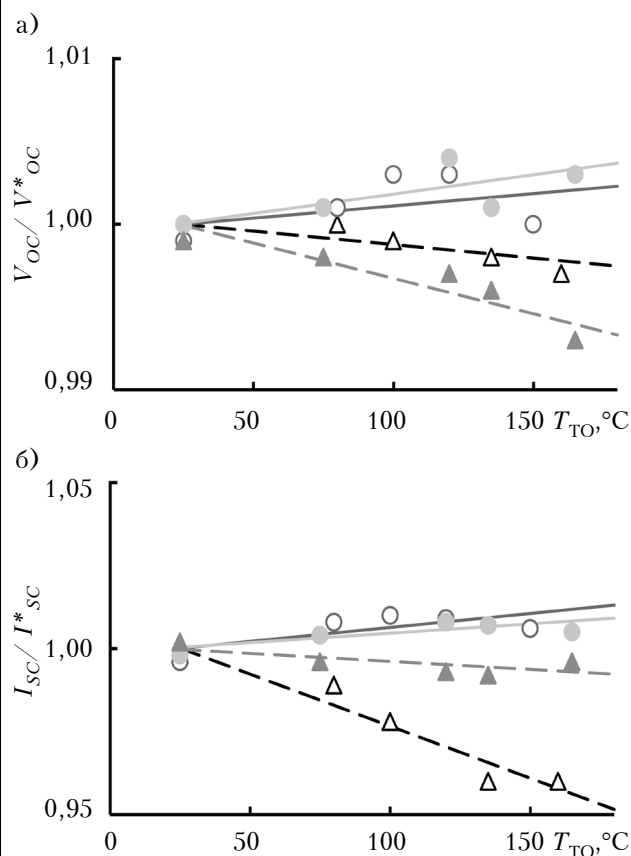


Рис. 2. Зависимости напряжения холостого хода (а) и тока короткого замыкания (б) ФЭП от температуры термообработки длительностью 10 мин, проведенной для различных режимов освещения и состояний выводов:

●, Δ — световой режим; ○, △ — темновой режим;  
○, △ — разомкнутое состояние; Δ, △ — короткозамкнутое состояние  
(линии — аппроксимация с использованием метода наименьших квадратов)

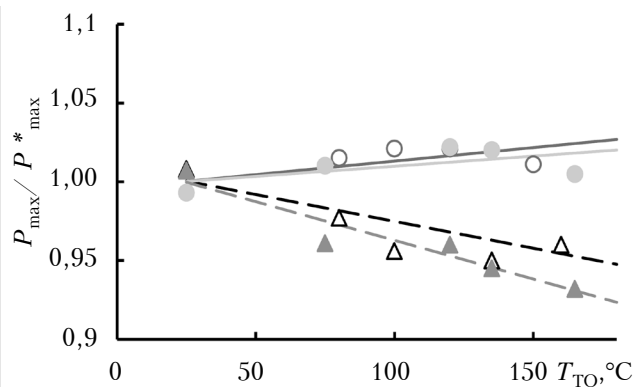


Рис. 3. Зависимость максимальной мощности, отдаваемой ФЭП, от температуры термообработки длительностью 10 мин, проведенной для различных режимов освещения и состояний выводов ФЭП (обозначения такие же, как и на рис. 2)

Величина тока короткого замыкания  $I_{SC}$  (как и значение тока при любом фиксированном напряжении, см. рис. 1), характеризуется большим разбросом значений, особенно если термообработка производилась в темновом режиме. Тем не менее, значения  $\Delta I_{SC}$  (150°C) не превышают 5%. Следует обратить внимание, что уход  $\Delta I_{SC}$  в темновом режиме в основном больше, чем в световом. Это согласуется с данными об эффекте регенерации фотоэлектрических свойств исследуемых ФЭП при термообработке (термоотжиге) при освещении [18, 19]. Поскольку значения максимальной мощности ФЭП непосредственно связаны с величиной тока ФЭП, аналогичные закономерности проявляются и в зависимости  $P_{max}(T_{TO})$  (рис. 3, таблица).

*Влияние факторов термообработки, таких как температура (диапазон от 25 до 150°C) и длительность (до 6 ч), на основные функциональные параметры исследованных ФЭП*

| Фактор влияния                                               | Режим освещения и состояние ФЭП при термообработке | Максимальный уход параметра, % |                 |                  |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------|
|                                                              |                                                    | $\Delta V_{OC}$                | $\Delta I_{SC}$ | $\Delta P_{max}$ |
| Температура термообработки ( $t_{TO} = 10$ мин)              | темновой / разомкнутое                             | 0,23                           | 1,052           | 2,148            |
|                                                              | световой / разомкнутое                             | 0,301                          | 0,709           | 1,613            |
|                                                              | темновой / короткозамкнутое                        | -0,204                         | -3,921          | -4,264           |
|                                                              | световой / короткозамкнутое                        | -0,534                         | -0,604          | -6,145           |
| Длительность термообработки ( $T_{TO} = 150^\circ\text{C}$ ) | темновой / разомкнутое                             | -0,791                         | 3,377           | 3,279            |
|                                                              | световой / разомкнутое                             | -0,16                          | 3,937           | -1,116           |
|                                                              | темновой / короткозамкнутое                        | -0,626                         | -4,753          | -3,823           |
|                                                              | световой / короткозамкнутое                        | 0,032                          | 2,534           | -1,329           |

### Влияние продолжительности термической обработки на характеристики ФЭП

Для проведения анализа были измерены ВАХ и ВВХ образцов ФЭП, прошедших термообработку при температуре 150°C различной длительности (до 6 ч) в различных режимах освещения и состояниях выводов. Результаты аналогичны полученным при исследовании влияния температуры термообработки.

Было установлено, что термообработка в разомкнутом состоянии выводов ФЭП и темновом режиме, приводит к случайному «дрейфу» характеристик (рис. 4), величина  $V_{OC}$  практически постоянна, а параметры  $I_{SC}$  и  $P_{max}$  имеют случайный разброс после термообработки в любых условиях (рис. 5, 6). Значения ухода параметров, приведенные в таблице, не превышают 5% и, таким образом, могут рассматриваться как свидетельство отсутствия корреляционных связей между соответствующими величинами.

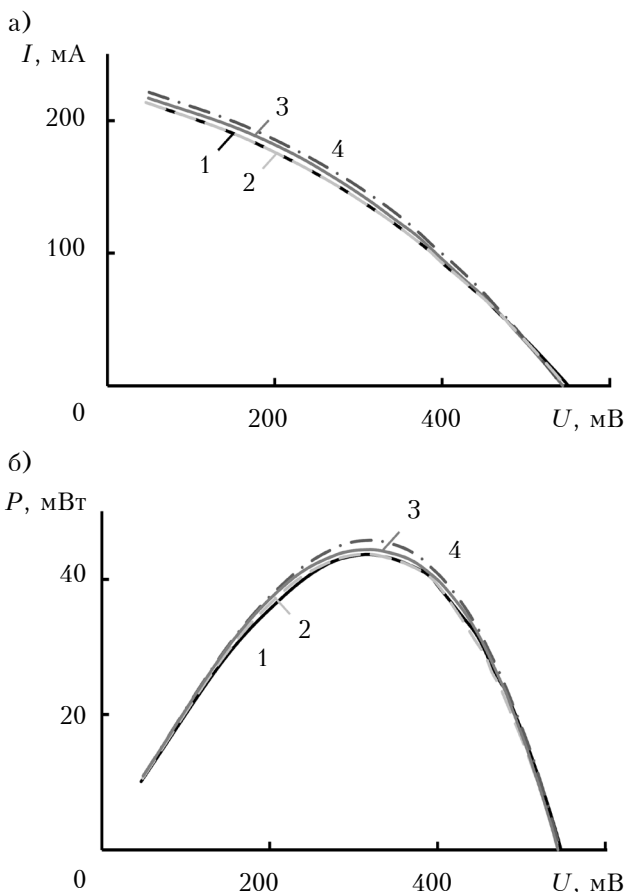


Рис. 4. Типичные ВАХ (а) и ВВХ (б) ФЭП, прошедших термообработку при температуре 150°C в темновом режиме и разомкнутом состоянии выводов в течение различного времени (мин): 1 – 0; 2 – 60; 3 – 180; 4 – 360

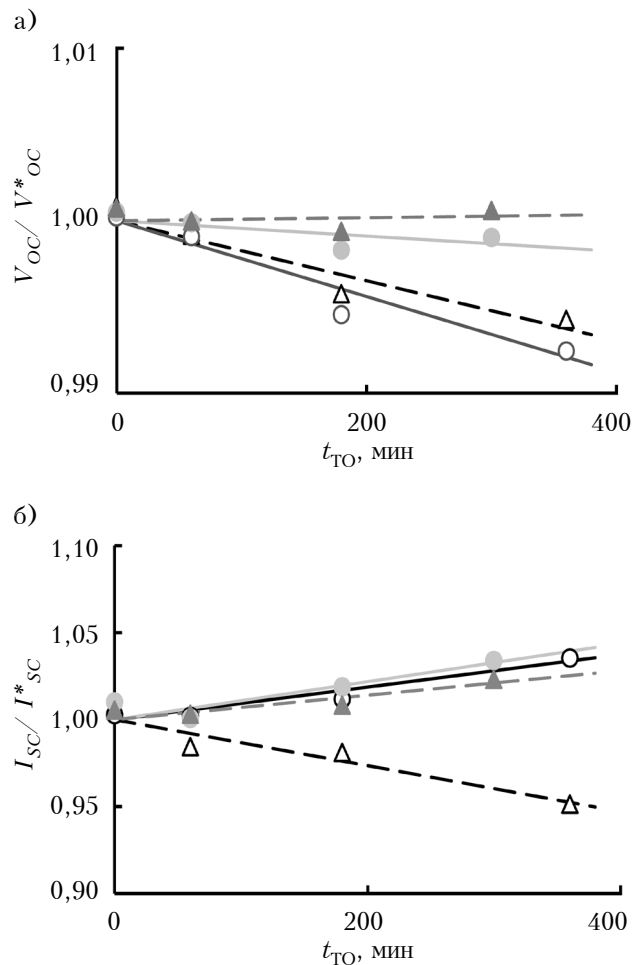


Рис. 5. Зависимости напряжения холостого хода (а) и тока короткого замыкания (б) ФЭП от длительности термообработки, проведенной при температуре 150°C для различных режимов освещения и состояний выводов (обозначения такие же, как и на рис. 2)

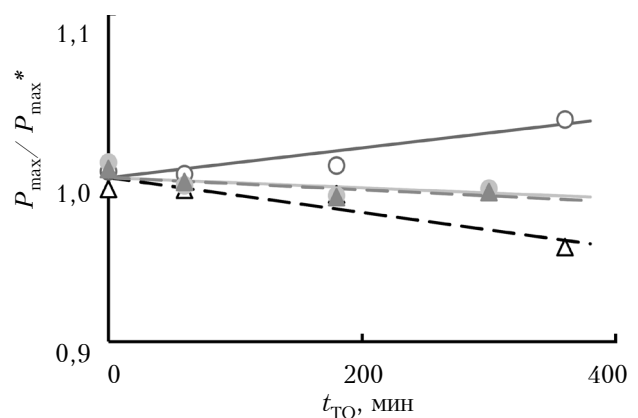


Рис. 6. Зависимость максимальной мощности, отдаваемой ФЭП, от длительности термообработки  $t_{TO}$ , проведенной при температуре 150°C для различных режимов освещения и состояний выводов (обозначения такие же, как и на рис. 2)

## Выводы

Проведенные экспериментальные исследования влияния пребывания фотоэлектрических преобразователей на основе монокристаллического кремния солнечных батарей при температурах до 150°C в темновом режиме и при освещении в разомкнутом и короткозамкнутом состояниях в интервале времени до 6 ч показали, что в исследованных температурных и временных диапазонах не обнаруживается значительных изменений основных функциональных характеристик и параметров фотоэлектрических преобразователей.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Герасимов В. Г., Князьков О. М., Краснополский А. Е., Сухоруков В. В. Основы промышленной электроники: учебник для неэлектротехнических специальностей вузов. — Москва: Высшая школа, 1986.
2. Электротехника. Часть 1 / Под ред. Ю. Л. Хотунцева. — Москва: Юрайт, 2018.
3. Гудкова А. В., Губин С. В., Белоконов В. И. Термостабилизация фотоэлектрических преобразователей для измерения ВАХ с импульсным источником света // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. — 2012. — N 57. — С. 187–196.
4. Бакиров М. Я. Фотоэлектрические и радиационные характеристики кремниевых солнечных элементов при повышенных освещенностях и температурах // Физика и техника полупроводников. — 1997. — Т. 31, N 5. — С. 520–522.
5. Саченко А. В., Крюченко Ю. В., Костылев В. П. и др. Исследование влияния температуры на характеристики гетеропереходных солнечных элементов на основе кристаллического кремния // Письма в ЖТФ. — 2016. — Т. 42, Вып. 6. — С. 70–76.
6. Radziemska E. Effect of temperature on dark current characteristics of silicon solar cells and diodes // International Journal of Energy Research. — 2006. — Vol. 30, N 2. — P. 127–134. — <https://doi.org/10.1002/er.1113>
7. Flammini M. G., Debernardi N., Le Ster M. et al. The influence of heating time and temperature on the properties of CIGSSe solar cells // International Journal of Photoenergy. — 2016. — Vol. 2016. — Article ID 4089369. — <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4089369>
8. Tonkoshkur A.S., Nakashidze L.V., Lyagushyn S.F. Schemotechnical technologies for reliability of solar arrays // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — 2018. — Вип. 4(117). — С. 95–107.
9. Тонкошкур А. С., Иванченко А. В., Накашидзе Л. В., Мазурик С. В. Применение самовосстанавливающихся элементов для электрической защиты солнечных батарей // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2018. — № 1. — С. 43–49. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2018.1.43>
10. Гавриков В. Самовосстанавливающиеся РТС-предохранители для защиты от токовых перегрузок // Новости электроники. — 2014. — № 12. — С. 11–15.
11. Каминская Т. П., Домкин К. И. Самовосстанавливающиеся предохранители для автомобильной электроники // Электронные компоненты. — 2008. — № 5. — С. 80–82.
12. Pat. 6608470 USA. Overcharge protection device and methods for lithium based rechargeable batteries / J. W. Oglesbee, A. G. Burns. — 19.08.03.
13. Protecting rechargeable Li-ion and Li-polymer batteries [Electronic resource]: Littelfuse, Inc. — 2017. — [http://www.littelfuse.com/~media/electronics/application\\_notes/littelfuse\\_protecting\\_rechargeable\\_li\\_ion\\_and\\_li\\_polymer\\_batteries\\_in\\_consumer\\_portable\\_electronics\\_application\\_note.pdf.pdf](http://www.littelfuse.com/~media/electronics/application_notes/littelfuse_protecting_rechargeable_li_ion_and_li_polymer_batteries_in_consumer_portable_electronics_application_note.pdf.pdf)
14. Накашидзе Л. В., Кныш Л. И. Методология определения состава и схемных решений солнечных фотоэлектрических установок // Авиационно-космическая техника и технология. — 2008. — N 10 (57). — С. 100–104.
15. Колтун М. М. Оптика и метрология солнечных элементов. — Москва: Наука, 1985.
16. Тонкошкур А. С., Черненко И. М., Суббота В. Л. Электропроводность варисторной оксидно-цинковой керамики при длительном пропускании электрического тока // Неорганические материалы. — 1995. — Т. 31, N 6. — С. 791–794.
17. Иванченко О. В., Тонкошкур О. С. Електроміграційна модель деградації металооксидних варисторних структур // Український фізичний журнал. — 2012. — Т. 57, N 3. — С. 331–339.
18. Fritz J. M., Zuschlag A., Skorka D. et al. Temperature dependent degradation and regeneration of differently doped mc-Si materials // Energy Procedia. — 2017. — Vol. 124. — P. 718–725. — <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.085>
19. Hallam B., Herguth A., Hamer P. et al. Eliminating light-induced degradation in commercial p-type Czochralski silicon solar cells // Applied Science. — 2018. — Vol. 8(10), N 1. — 19 p. — <https://doi.org/10.3390/app8010010>

Дата поступления рукописи  
в редакцию 17.07 2018 г.

О. В. ИВАНЧЕНКО, С. В. МАЗУРИК, О. С. ТОНКОШКУР

Україна, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
E-mail: IvanchenkoAV@ukr.net

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНІЄВИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ ПРИ ПЕРЕГРІВАХ

*Останнім часом сонячні батареї стають одним з найбільш бажаних джерел відновлюваної електричної енергії, а отже зростають вимоги до їхньої надійності, зокрема до збереження основних функціональних*

властивостей після перебування за підвищених температур. У даній роботі досліджувалося одне з важливих питань, що виникають при розробці схемотехнічних пристроїв захисту елементів сонячних батарей від електротеплових перевантажень — вплив перегріву фотоелектричних перетворювачів на їх функціональні властивості.

Наведено результати досліджень вольт-амперних і вольт-ватних характеристик монокристалічних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячних батарей, які пройшли термообробку за підвищеної температури (до 150°C) протягом різного часу (до 6 год) за умов освітлення і в темновому режимі в розімкненому та короткозамкненому станах. У досліджених температурному та часовому діапазонах не було виявлено значних змін основних функціональних характеристик і параметрів.

**Ключові слова:** кремнієвий фотоелектричний перетворювач, сонячна батарея, вольт-амперна характеристика, вольт-ватна характеристика, термообробка.

DOI: 10.15222/TKEA2018.4.14  
UDC 621.31

A. V. IVANCHENKO, S. V. MAZURIK, A. S. TONKOSHKUR

Ukraine, Oles Honchar Dnipro National University  
E-mail: IvanchenkoAV@ukr.net

## INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF SILICON PHOTOVOLTAIC CONVERTERS OF SOLAR BATTERIES IN CASE OF OVERHEATING

*Recently, solar panels have become one of the most desirable sources of renewable electrical energy, and thus the requirements for their reliability, in particular to maintain the basic functional properties at elevated temperatures, are increasing. The basic element of solar batteries is photovoltaic converter. Until now, the degree of degradation and ways to protect photovoltaic converters during overheating corresponding to real situations during their exploitation, are not sufficiently studied.*

*In this paper, the authors study one of the important problems arising during the development of circuit-technical devices for the protection of the photovoltaic converters against electrothermal overloads, namely, the problem of the effect of overheating of photovoltaic converters on their functional properties. Primarily, this is important in connection with the perspective of using functional electronics to improve the reliability of the photovoltaic system of the solar battery. In particular, resettable fuses based on polymeric nanocomposites with carbon fillers are such elements of the electronics. One of the difficulties of direct application of the resettable fuses is that they have a switching temperature that exceeds the standard operating temperature range of the modern photovoltaic converters.*

*The paper presents investigations results of the current-voltage and volt-watt characteristics of the single-crystal silicon photovoltaic converters of the solar batteries, which have undergone heat treatment at elevated temperature (up to 150°C) at different time intervals (up to 6 hours) under lighting conditions and in dark mode in open- and short-circuited states.*

*The method based on fixing the deviations of the functional parameters (i.e., open-circuit voltage, short-circuit current and maximum power) of the converters from their nominal values was used for their analysis.*

*It has been established that in the investigated temperature and time ranges there are no significant changes of the main functional characteristics and parameters of the photovoltaic converters based on single-crystal silicon.*

**Keywords:** silicon photovoltaic converters, solar battery, current-voltage characteristics, volt-watt characteristics, heat treatment.

### REFERENCES

1. Gerasimov V. G., Knyaz'kov O. M., Krasnopol'skiy A. Ye., Sukhorukov V. V. *Osnovy promyshlennoy elektroniki: uchebnik dlya neelektrotekhnicheskikh spetsial'nostey vuzov* [Fundamentals of industrial electronics: textbook for non-electrical specialties of higher education institutions]. Moscow, Vysshaya shkola, 1986, 336 p. (Rus)
2. Elektrotekhnika. Chast' 1: *uchebnoye posobiye dlya srednego professional'nogo obrazovaniya* [Electrical engineering. Part 1: textbook for secondary professional education]. Ed. by Yu. L. Khotuntsev, Moscow, Yurayt, 2018, 243 p. (Rus)
3. Gudkova A. V., Gubin S. V., Belokon' V. I. [Thermal stabilization of solar cells for current-voltage characteristics measurement with the pulsed light source]. *Otkrytyye informatsionnyye i komp'yuternyye integrirovannyye tekhnologii*, 2012, no. 57, pp. 187-196. (Rus)
4. Bakirov M. Ya. [Photoelectric and radiation characteristics of silicon solar elements under elevated illuminations and temperatures]. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov*, 1997, vol. 31, no. 5, pp. 520-522. (Rus)
5. Sachenko A. V., Kryuchenko Y. V., Kostilyov V. P et al. [The temperature dependence of the characteristics of

crystalline-silicon-based heterojunction solar cells]. *Technical Physics Letters*, 2016, vol. 42, iss. 3, pp. 313-316. <https://doi.org/10.1134/S1063785016030305>

6. Radziemska E. Effect of temperature on dark current characteristics of silicon solar cells and diodes. *International Journal of Energy Research*, 2006, vol. 30, no. 2, pp. 127-134. <https://doi.org/10.1002/er.1113>

7. Flammini M. G., Debernardi N., Le Ster M., Dunne B., Bosman J., Theelen M. The influence of heating time and temperature on the properties of CIGS solar cells. *International Journal of Photoenergy*, 2016, Vol. 2016, Article ID 4089369. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4089369>

8. Tonkoshkur A. S., Nakashidze L. V., Lyagushyn S. F. Schemotechnical technologies for reliability of solar arrays. *Sistemi tekhnologii. Regional'nyy sbornik nauchnykh trudov*, 2018, iss. 4(117), pp. 95-107.

9. Tonkoshkur A. S., Ivanchenko A. V., Nakashidze L. V., Mazurik S. V. [Application of resettable elements for electrical protection of solar batteries]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, 2018, no. 1, pp. 43-49. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2018.1.43> (Rus)

10. Gavrikov V. [Self-healing PTC fuses for protection of current overload]. *Novosti elektroniki*, 2014, no. 12, pp. 11-15. (Rus)

11. Kaminskaya T. P., Domkin K. I. [Self-healing fuses for automotive electronics]. *Elektronnyye komponenty*, 2008, no. 5, pp. 80-82. (Rus)

12. Pat. 6608470 USA. *Overcharge protection device and methods for lithium based rechargeable batteries*. J. W. Oglesbee, A. G. Burns. 19.08.03.

13. *Protecting rechargeable Li-ion and Li-polymer batteries* [Electronic resource]: Littelfuse, Inc. 2017. [http://www.littelfuse.com/~media/electronics/application\\_notes/littelfuse\\_protecting\\_rechargeable\\_li\\_ion\\_and\\_li\\_polymer\\_batteries\\_in\\_consumer\\_portable\\_electronics\\_application\\_note.pdf](http://www.littelfuse.com/~media/electronics/application_notes/littelfuse_protecting_rechargeable_li_ion_and_li_polymer_batteries_in_consumer_portable_electronics_application_note.pdf)

14. Nakashidze L. V., Knysh L. I. [Methodology for determining the composition and circuit design of solar photovoltaic equipments]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2008, no. 10 (57), pp. 100-104. (Rus)

15. Koltun M. M. *Optika i metrologiya solnechnykh elementov* [Optics and metrology of solar elements]. Moskva, Nauka, 1985, 280 p. (Rus)

16. Tonkoshkur A. S., Chernenko I. M., Subbota V. L. [Long-term effects of electric current on the conductivity of zinc oxide varistor ceramics]. *Neorganicheskiye materialy*, 1995, vol. 31, iss. 6, pp. 730-733. (Rus)

17. Ivanchenko A. V., Tonkoshkur A. S. Electromigration degradation model of metal oxide varistor structures. *Ukrainian Journal of Physics*, 2012, vol. 57, iss. 3, pp. 330-338.

18. Fritz J. M., Zuschlag A., Skorka D., Schmid A., Hahn G. Temperature dependent degradation and regeneration of differently doped mc-Si materials. *Energy Procedia*, 2017, vol. 124, pp. 718-725. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.085>

19. Hallam B., Herguth A., Hamer P et al. Eliminating light-induced degradation in commercial p-type Czochralski silicon solar cells. *Applied Science*. 2018, vol. 8(10), no. 1, 19 p. <https://doi.org/10.3390/app8010010>

#### Описание статьи для цитирования:

Иванченко А. В., Мазурик С. В., Тонкошкур А. С. Исследование характеристик кремниевых фотоэлектрических преобразователей солнечных батарей при перегреве. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2018, № 4, с. 14-20. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2018.4.14>

#### Cite the article as:

Ivanchenko A. V., Mazurik S. V., Tonkoshkur A. S. Investigation into the characteristics of silicon photovoltaic converters of solar batteries in case of overheating. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, 2018, no. 4, pp. 14-20. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2018.4.14>

#### НОВІ КНИГИ

#### НОВІ КНИГИ

### Кондир А. І. Наноматеріалознавство і нанотехнології.— Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016.

Викладено фізичні, матеріалознавчі і технологічні основи отримання широкого класу наноматеріалів на органічній, неорганічній та біологічній основах. Розглянуто способи виробництва наноматеріалів. Наведено методи дослідження нанооб'єктів та будову найпоширеніших нині наноматеріалів. Визначено галузі застосування наноматеріалів.

Буде корисним для студентів фізико-технічних та інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

