

ЛИТОВЧЕНКО

Володимир Григорович — член-кореспондент НАН України, завідувач відділу Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

МЕЛЬНИК Віктор Павлович — доктор фізико-математичних наук, заступник директора ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

РОМАНЮК

Борис Миколайович — доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

ДВЕРНИКОВ

Борис Федорович — науковий співробітник ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

КОРКІШКО

Роман Михайлович — провідний інженер ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

КОСТИЛЬОВ

Віталій Петрович — доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

МУСАЄВ Сергій Мусаєвич — провідний інженер ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

ПОПОВ

Валентин Георгійович — кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

ЧЕРНЕНКО

Володимир Васильович — кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

УДК 53.06

МОБІЛЬНІ СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

В Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України розроблено мобільну сонячну електростанцію на основі кремнієвих фотоперетворювачів сонячної енергії, яка вирізняється наявністю вбудованих акумуляторів з відповідною електронною схемою контролю, а також компактністю і високою механічною міцністю, що дозволяє використовувати її в екстремальних (польових) умовах. Акумуляторна батарея дає змогу заряджати мобільні електронні пристрої в будь-який час, незалежно від умов освітленості.

Ключові слова: сонячний елемент, енергозбереження, електростанція, фотоперетворення, кремній, сонячна батарея, акумулятор.

Вступ

Активне використання відновлюваних джерел енергії зумовлене швидким виснаженням запасів та подорожчанням видобування традиційного викопного палива, насамперед нафти, газу й вугілля, які є основою сучасної енергетики. За оцінками експертів, розвіданих і перспективних запасів нафти людству вистачить ще на 50–70 років, газу — на 100–120 років, вугілля — на 250–300 років [1]. У зв'язку зі значним зменшенням запасів сировини для традиційної енергетики всі країни світової спільноти, в тому числі й Україна, дедалі більше уваги приділяють активному пошуку шляхів альтернативного енергозабезпечення, зокрема розвитку сонячної енергетики. У 2014 р. загальне споживання енергії у світі становило 16,5 ТВт·год. Структуру глобального енергоспоживання наведено в табл. 1 [1]. Експерти передбачають, що до 2030 р. обсяги виробництва енергії за допомогою фотовольтаїки зростуть до 70 МВт·год і її частка становитиме до 10% загального обсягу виробленої електроенергії у світі.

Спектр використання фотовольтаїчних перетворювачів сонячної енергії досить широкий — від стаціонарних сонячних електростанцій, які займають великі площі, до мобільних при-

строїв для заряджання радіостанцій, приладів нічного бачення, мобільних телефонів, планшетів, GPS-навігаторів тощо. Проте одним з основних недоліків таких пристроїв є їх досить значне енергоспоживання в «активному» режимі, що обмежує час використання до 3–10 годин залежно від пристрою та умов роботи. При цьому джерело живлення, щоб у разі необхідності швидко й ефективно зарядити пристрій, не завжди може бути доступним. Найпоширенішим рішенням є використання запасної батареї, але як бути, якщо і вона розрядилася? Отже, ми підходимо до проблеми пошуку автономного мобільного джерела електроенергії. Серед різних первинних джерел енергії, які після перетворення дозволяють отримати електроенергію, ми бачимо лише один реальний варіант для реалізації «мобільної електростанції» — систему, що складається з фотогенеруючих панелей, акумуляторних пристроїв та контролера процесу заряджання їх від енергії сонячного випромінювання.

Головним елементом сонячних батарей, або модулів, є напівпровідниковий сонячний елемент, який перетворює енергію сонячного випромінювання на електричну.

Аналіз пропозицій мобільних сонячних електростанцій [1, 2] свідчить, що основним недоліком сучасних зарядних пристроїв на

основі сонячних елементів є досить тривалий процес заряджання (понад 10 годин) навіть за високого рівня освітленості. Більшість сонячних батарей не мають вбудованого акумулятора, який накопичує енергію вдень, а потім підзаряджає прилади за умов низької освітленості (вночі). До того ж багато відомих конструкцій характеризуються низькою надійністю, що не дозволяє ефективно використовувати їх у польових умовах.

Для вирішення цієї проблеми в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України розроблено та налагоджено виготовлення мобільних електростанцій на основі кремнієвих сонячних елементів потужністю 10–40 Вт. Цей сучасний виріб призначений для використання в польових умовах, зокрема у зоні проведення антитерористичної операції, геологічних експедиціях тощо, для живлення і заряджання малопотужної електронної апаратури (радіостанцій, мобільних телефонів, тепловізорів, планшетів та ін.). Дослідження та випробування виготовлених сонячних батарей виконувалися в Центрі випробувань фотоперетворювачів та батарей фотоелектричних Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова. Цей Центр на сьогодні є єдиною в Україні акредитованою вимірювальною лабораторією, атестованою органами Держспоживстандарту України [3, 4].

Таблиця 1. Структура глобального енергоспоживання у світі

Джерело виробництва електроенергії	Частка у загальному обсязі, %
Нафта	37,00
Вугілля	25,00
Газ	23,00
Атомна енергія	6,00
Біомаса	4,00
Гідроенергетика	3,00
Сонячна тепла	0,50
Сонячна фотоенергетика	0,42
Вітер	0,30
Біопаливо	0,20
Геотермальна енергія	0,20
Інші	0,38

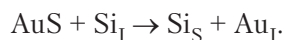
Основні розробки

Структуру *кремнієвого сонячного елемента на основі n^+p -переходу* схематично показано на рис. 1. Основою сонячного елемента є пластина p -типу провідності (псевдоквадрат) завтовшки 200 мкм з монокристала Si, на якій проводять текстурування поверхні. Потім дифузиею формують шар емітера n -типу завтовшки 0,35–0,45 мкм. Для зменшення коефіцієнта відбиття сонячного випромінювання на фронтальну поверхню наносять антивідбивне покриття (товщина плівки 70 нм) та формують фронтальний і тильовий контакти.

Технологія виготовлення сонячних елементів є стандартною, але деталі технологіч-

них операцій та режими розроблені авторами [5–8]. Зокрема, було проведено дослідження і моделювання процесів гетерування рекомбінаційно активних домішок у кремнієвих структурах, проаналізовано фізичні процеси, які відбуваються при гетеруванні домішок з кремнієвих пластин. Виконано моделювання процесів гетерування з урахуванням наявності внутрішніх гетерних центрів, а також різних механізмів дифузії домішок (дифузія по міжвузлях і дифузія за участю точкових дефектів). Особливу увагу приділено дослідженням вихідних параметрів кремнієвих пластин, оскільки для розроблення ефективних методів гетерування потрібно знати, які домішки є в пластині і в якому стані перебуває в них кисень. Це пов'язано з тим, що в кристалах, вирощених за методом Чохральського, завжди присутній кисень, який сприяє утворенню преципітатів, а вони відіграють роль внутрішніх гетерних центрів під час термічних процедур. Крім того, розроблено оригінальний технологічний процес гетерування рекомбінаційно активних домішок.

У процесі виконання робіт було також проведено порівняльні дослідження різних методів гетерування, їх ефективності для різних кремнієвих пластин. Ми розглядали три типи процесів гетерування. У першому типі маємо справу з домішкою, якій властиві досить значна розчинність у вузлах ґратки кремнію та великий коефіцієнт дифузії по міжвузлях. Загальновідомим прикладом цього випадку є золото. Щоб реалізувати гетерування Au, потрібно виштовхнути його з вузлів і забезпечити відповідний стік міжвузлового золота на гетерну поверхню. Це можна забезпечити завдяки відомому *kick-out* (виштовхувальному) механізму з подальшою швидкою дифузією Au_T:



У другому типі маємо справу з домішкою, яка локалізована переважно в міжвузлях. Вона зазвичай має велику дифузійну рухливість, але на її міграцію міжвузловий Si впливає слабо. У цьому випадку також може відбуватися формування пар, утворення комплексів з іншими

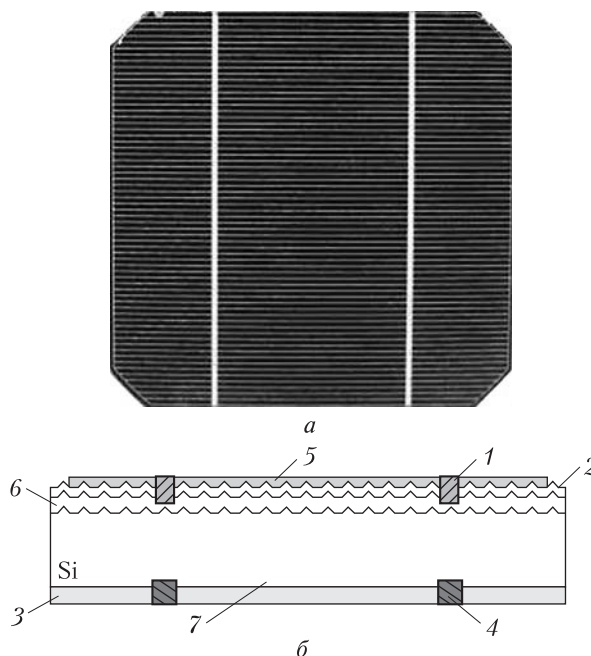


Рис. 1. Структура кремнієвого сонячного елемента з n^+ - p -переходом: *a* – фронтальна поверхня; *б* – поперечний переріз: 1 – контактна сітка; 2 – антивідбивне покриття (TiO_x або SiN_x); 3 – плівка Al; 4 – тильовий контакт (Ag/Al); 5 – текстура (мікропіраміди); 6 – емітерний шар; 7 – базовий шар

домішками, або преципітування (захоплення й вивільнення), одночасно з дифузією. Відомим і актуальним прикладом такої домішки є залізо.

Третій різновид процесу істотно відрізняється від попередніх. У цьому випадку ми враховуємо наявність у кремнії об'ємного внутрішнього гетера, утвореного преципітатами SiO_2 . Отже, така домішка, як залізо, рухаючись крізь пластину, захоплюється преципітатами. Її вивільнення можливе лише після розпаду цих преципітатів, наприклад через взаємодію з міжвузловим кремнієм, або після отримання атомом домішки додаткової енергії для подолання енергетичного бар'єра зв'язку з преципітатом. В іншому разі домішка залишиться у зразку і впливатиме на його електрофізичні параметри. Для цього типу процесів гетерування роль гетера як джерела міжвузлового кремнію знову стає важливою, що стимулює

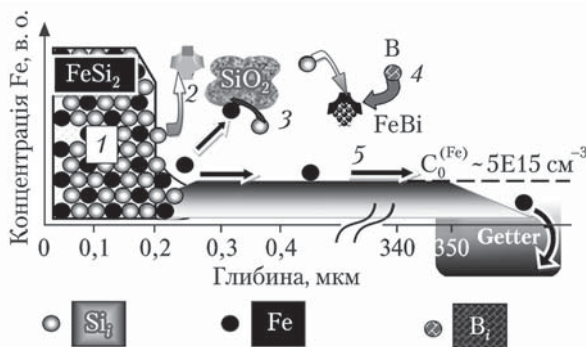


Рис. 2. Модель гетерування атомів заліза, імплантованого в кремній: 1 – імплантований шар; 2 – міжвузлові комплекси; 3 – захоплення домішки преципітатом; 4 – комплекси Fe-B; 5 – дифузія вглиб пластини Si

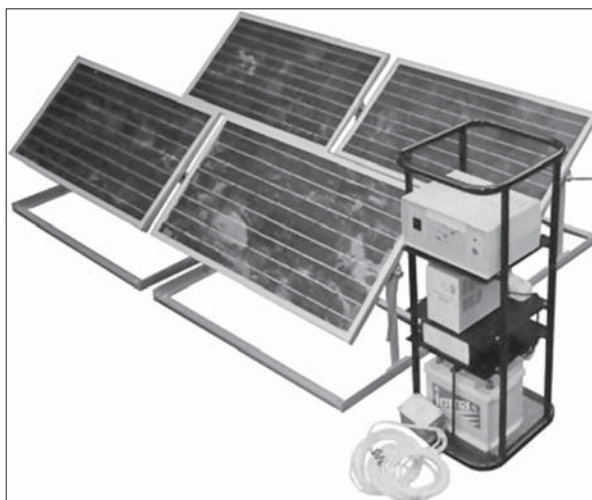


Рис. 3. Переносна сонячна електростанція для електрозварювальних робіт

розпад преципітатів SiO_2 , оскільки наявність Si збільшує критичний радіус преципітату.

На прикладі гетерування атомів заліза, введених у кремній методом іонної імплантації, розглянемо модель описаних вище процесів гетерування (рис. 2) при розміщенні гетерного шару на тильному боці пластини. На початкових стадіях відпалу зразків спостерігається інтенсивний ріст силіцидів заліза FeSi_2 в імплантованому шарі 1, а частина атомів Fe, які не вступили в реакцію силіцидоутворення, дифундує вглиб пластини (5). Надлишкові

міжвузлові атоми Si поблизу межі поділу «імплантований шар – монокристал» утворюють у процесі відпалу міжвузлові комплекси 2. За наявності внутрішніх преципітатів SiO_2 атоми Fe частково захоплюються ними і виключаються з процесу дифузії (3). Атоми Fe ефективно захоплюються гетерним шаром (коефіцієнт сегрегації порядку 10^{-5}), що створює градієнт розподілу заліза в товщині пластини і сприяє утворенню потоку Fe в напрямку до гетерного шару. При охолодженні зразків після відпалу частина атомів Fe може утворювати рекомбінаційно активні комплекси FeB_i (4) в об’ємі кремнієвої пластини, що спричинює зменшення часу життя нерівноважних носіїв заряду. Наявність міжвузлових атомів Si (особливо навколо SiO_2 -преципітатів) сприяє утворенню силіцидів в об’ємі пластини під час гетерування, що, відповідно, зменшує потік атомів Fe в напрямку гетера, ослаблюючи його дію. Отже, гетерування заліза в кремнії є складним процесом, який включає дифузію атомів Fe, утворення силіцидів FeSi_2 , формування комплексів FeB_i , взаємодію атомів заліза з внутрішніми преципітатами SiO_2 . Для ослаблення цього небажаного ефекту ми пропонуємо використовувати розроблені нами режими термообробки, які сприяють розпаду преципітатів SiO_2 в об’ємі кремнію.

На основі проведеного аналізу та результатів експериментальних досліджень, враховуючи технологічні та економічні фактори (наявне обладнання, вартість процесів), для гетерування було використано метод нанесення плівки алюмінію на тильний бік пластини з подальшим термічним відпалом, що дозволило збільшити довжину дифузії неосновних нерівноважних носіїв заряду порівняно з негетерованими зразками на ~20%.

Для подальшого удосконалення конструкції сонячного елемента тривають роботи з вивчення можливостей застосування плівок сегнетоелектриків (типу BaTiO_3). Такі плівки після їх відповідної поляризації можуть створювати значні напруженості електричного поля в області приповерхневого просторового заряду в напівпровіднику, що дозволяє сепарувати фо-

тогенеровані нерівноважні носії заряду і в такий спосіб реалізувати генерацію фотоструму навіть без *p-n*-переходу [9].

На рис. 3 зображено переносну сонячну електростанцію для електрозварювальних робіт, розроблену авторами цієї статті [1].

Конструкція сонячного модуля. Як свідчить досвід використання малогабаритних модулів, у процесі експлуатації сонячні елементи зазнають значних механічних навантажень, що може призводити до їх руйнування. Для захисту від механічних та кліматичних впливів на поверхню модулів наносять скляні або полімерні покриття. Для збільшення міцності та жорсткості конструкції і забезпечення тим самим надійності роботи сонячних елементів ми використали загартоване скло товщиною 3,2 мм з лицьового боку і листовий поліетиленерефталат з тильного боку. Крім того, модуль закріплено у рамці зі спеціального алюмінієвого профілю. Параметри чотирьох зразків фотоелектричних сонячних модулів наведено в табл. 2, а типову вольт-амперну характеристику — на рис. 4.

Конструкцію мобільної сонячної електростанції виконано у вигляді валізи (рис. 5). Вона складається з двох або чотирьох сонячних модулів потужністю 10 Вт (в умовах АМ1,5) кож-

Таблиця 2. Електричні параметри чотирьох зразків сонячних модулів, виміряні в умовах АМ1,5 (1 кВт/м², 25 °С)

Параметр	1	2	3	4
Струм короткого замикання I_{sc} , А	0,974	0,989	0,980	0,951
Напруга холостого ходу V_{oc} , В	20,77	21,03	20,72	20,62
Генерована потужність P_m , Вт	14,07	14,83	14,45	14,21
Струм за максимальної потужності I_{max} , А	0,873	0,901	0,897	0,827
Напруга за максимальної потужності U_{max} , В	16,11	16,47	16,11	17,18
Фактор заповнення вольт-амперної характеристики FF	0,70	0,71	0,71	0,72
ККД, %	13,1	13,9	13,6	13,4

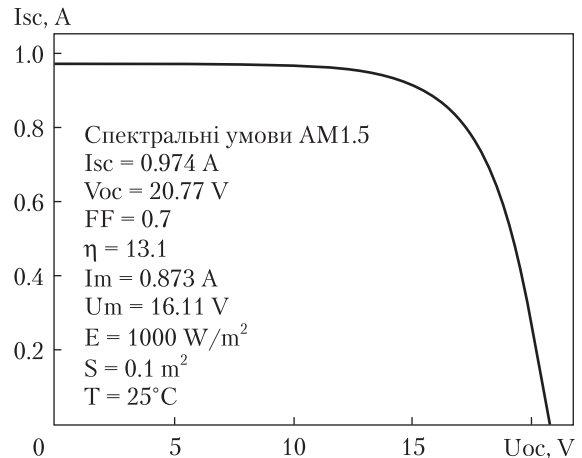


Рис. 4. Вольт-амперна характеристика сонячного модуля

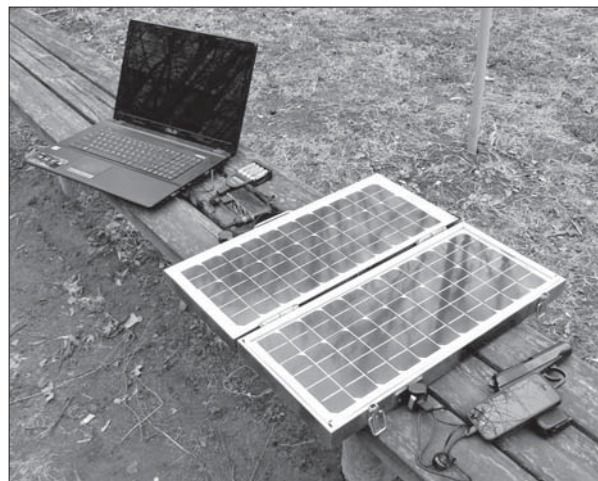
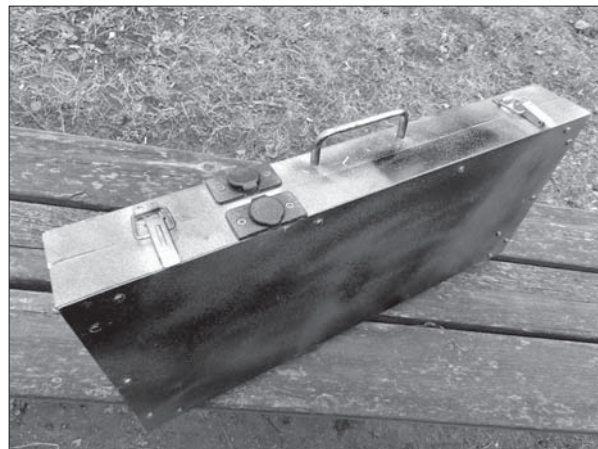


Рис. 5. Мобільна сонячна електростанція у складеному вигляді та в робочому стані

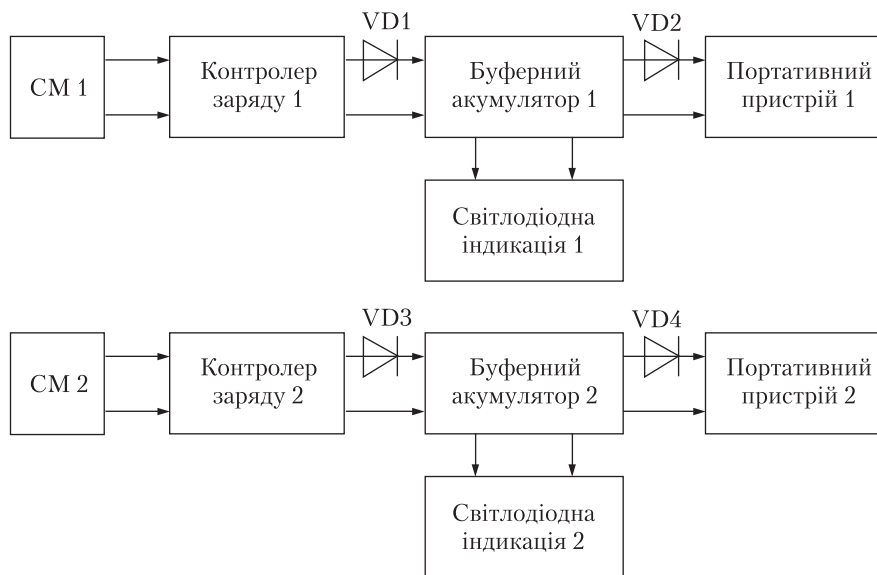


Рис. 6. Структурна схема сонячної електростанції

ний; у корпусі кожного модуля міститься контролер заряджання акумуляторів та буферний нікель-метал-гідридний (Ni-MH) акумулятор ємністю 2 А·год (можлива комплектація буферними акумуляторами ємністю до 6 А·год), який дозволяє заряджати/підзаряджати портативні пристрої навіть у похмуру погоду та вночі. Контроль заряджання/розряджання буферного акумулятора здійснюється за допомогою світлодіодної індикації. У корпус вмонтовано стандартний автомобільний з'єднувач, клеми якого використовують для підключення навантаження через відповідний адаптер. З тильного боку сонячні модулі захищено металевими алюмінієвими пластинами завтовшки 3 мм, що підвищує жорсткість та надійність пристрою. Щоб запобігти потраплянню вологи в корпус, усі складові, зокрема з'єднувачі, оброблено стійким до УФ-випромінення герметиком. Виріб пофарбований у камуфляжні кольори. Основні технічні характеристики мобільної сонячної електростанції: робоча напруга — 12 В; вихідна потужність (AM1,5) — 10–40 Вт; ємність акумуляторів — 2–6 А·год; габаритні розміри в робочому стані (2 сонячні модулі) — 530×460×36 мм; маса (для 2 сонячних модулів) — 7 кг.

На рис. 6 наведено структурну схему сонячної електростанції, яка містить сонячні модулі (СМ), що перетворюють енергію сонячного випромінювання на електричну; набір буферних Ni-MH акумуляторів; контролер заряду, що забезпечує заряджання буферного акумулятора до заданого рівня напруги; діоди Шоттки (VD1, VD3), які запобігають розряджання буферного акумулятора на контролер заряду, і діоди Шоттки (VD2, VD4), які запобігають розряджання акумулятора портативного пристрою на буферний акумулятор; світлодіодну індикацію, що відображує процес заряджання та сигналізує про його завершення.

Висновки

З урахуванням недоліків сучасних зарядних пристроїв на основі сонячних елементів було розроблено конструкцію та виготовлено мобільні сонячні електростанції для автономного живлення портативних електронних пристроїв (радіостанцій, приладів нічного бачення, мобільних телефонів, планшетів, GPS-навігаторів тощо) навіть за низьких рівнів освітленості, що є основною перевагою порівняно з пропонованими на ринку зарядними пристроями. Мо-

більша сонячна електростанція має компактну конструкцію, пристосовану для перенесення. У модуль вмонтовано акумуляторні батареї, що дозволяють підзаряджати пристрої навіть уночі. Панелі сонячних батарей електростанції захищено гартованим склом, що уможливило їх використання в екстремальних умовах.

На початку травня 2015 р. перші 15 сонячних електростанцій уже передано військовим на Схід України в зону АТО. Позитивні відгуки почали надходити відразу. Зокрема, бійці та командування добровольчого батальйону спецпризначення «Донбас», 16-ї окремої бригади армійської авіації та інших підрозділів щиро дякували вченим за таку матеріально-технічну допомогу і розповідали, що ці сонячні

електростанції виявилися дуже корисними для живлення спецапаратури в польових умовах. «Забезпечення військ такими електростанціями підвищує енергонезалежність наших підрозділів, особливо при виконанні спеціальних завдань, та безпеку самих бійців (порівняно зі стандартними електрогенераторами). Підрозділи Збройних сил України потребують таких розробок від науковців, що підвищить боєздатність нашого війська», — йдеться в одній з офіційних подяк наших захисників.

Розробку було виконано за власною ініціативою авторів статті і за часткової підтримки проектів III-5-11, III-10-12 та 2.1.3 НАН України.

REFERENCES

1. Litovchenko V.G., Strikha M.V. *Solar energetics: agenda for the world and Ukraine*. Kyiv: K.I.C., 2015. [in Ukrainian].
[Литовченко В.Г., Стріха М.В. *Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України*. К.: К.І.С., 2015].
2. Oksanyuch A.P., Terban V.A., Volokhov S.O., Klyui M.I., Skrishevskii V.A., Kostylyov V.P., Makarov A.V. *Modern technologies for silicon and silicon based photoelectrical solar energy converters manufacturing*. Kriviy Rig: Mineral, 2010. [in Ukrainian].
[Оксанич А.П., Тербан В.А., Волохов С.О., Клюй М.І., Скришевський В.А., Костильов В.П., Макаров А.В. *Сучасні технології виробництва кремнію та кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії*. Кривий Ріг: Мінерал, 2010].
3. Kostylyov V.P., Chernenko V.V., Andros S.P., Nazarenko L.A. Metrology and standartization of the phototechnical testing of solar energy converters and moduli. In: *Modern Problems of Light and Electricity Engineering*. Proc. IV Int. Conf. (13–14 April 2011, Kharkiv, Ukraine). [in Ukrainian].
[Костильов В.П., Черненко В.В., Андрос С.П., Назаренко Л.А. Метрологія і стандартизація фототехнічних випробувань фотоперетворювачів сонячної енергії та фотоелектричних модулів. У кн.: *Сучасні проблеми світлотехніки та електроенергетики*: матер. IV Міжнар. наук.-техн. конф. (13–14 квітня 2011 р., Харків). С. 164–165].
4. Klyui M.I., Kostylyov V.P., Makarov A.V., Chernenko V.V. Metrological aspects of the photoelectric solar energy converters testing. *Complex Systems and Processes*. 2007. **1**(11): 42. [in Ukrainian].
[Клюй М.І., Костильов В.П., Макаров А.В., Черненко В.В. Метрологічні аспекти випробувань фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії. *Складні системи і процеси*. 2007. Т. 1, № 11. С. 42–50].
5. Oberemok O., Kladko V., Litovchenko V., Romanyuk B., Popov V., Melnik V., Sarikov A., Gudymenko O., Vanhellemont J. Stimulated Oxygen Impurity Gettering Under Ultra-Shallow Junction Formation in Silicon. *Semiconductor Science and Technology*. 2014. **29**: 055008.
6. Gorban A.P., Kostylyov V.P., Sachenko A.V., Serba O.A., Sokolovskiy I.O., Chernenko V.V. Effect of floating *p-n* junctions on the efficiency of silicon back side contact solar cells. *Ukr. J. Phys.* 2010. **55**(7): 783.
7. Gamov D.V., Gudymenko O.I., Kladko V.P., Litovchenko V.G., Melnik V.P., Oberemok O.S., Popov V.G., Polishchuk Yu.O., Romanyuk B.M., Chernenko V.V., Naseka V.M. Research of recombination characteristics of Cz-Si implanted with iron ions. *Ukr. J. Phys.* 2013. **58**(9): 881.
8. Litovchenko V.G., Romanyuk B.M., Popov V.G., Melnik V.P., Oberemok O.S., Kladko V.P., Lisovskii I.P., Strelchuk V.V., Chernenko V.V., Shapovalov V.O. Complex investigations of crystalline material for solar energetics. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii (Physics of Metals and Advanced Technologies)*. 2011. **104**: 873. [in Ukrainian].

- [Литовченко В.Г., Романюк Б.М., Попов В.Г., Мельник В.П., Оберемок О.С., Кладько В.П., Лісовський І.П., Стрельчук В.В., Черненко В.В., Шаповалов В.О. Комплексні дослідження кристалічного матеріалу для сонячної енергетики. *Металлофізика і новітні технології*. 2011. Т. 33, № 7. С. 873–898].
9. Liu F., Wang W., Wang L., Yang G. Ferroelectric-semiconductor photovoltaics: Non-PN junction solar cells. *Appl. Phys. Lett.* 2014. **104**: 103907.

Стаття надійшла 22.07.2015.

*В.Г. Литовченко, В.П. Мельник, Б.Н. Романюк, Б.Ф. Дверников,
Р.М. Коркишко, В.П. Костылев, С.М. Мусаєв, В.Г. Попов, В.В. Черненко*

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины (Киев)

МОБИЛЬНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

В Институте физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины разработана мобильная солнечная электростанция на основе кремниевых фотопреобразователей солнечной энергии, отличающаяся наличием встроенных аккумуляторов с соответствующей электронной схемой контроля, а также компактностью и высокой механической прочностью, что позволяет использовать ее в экстремальных (полевых) условиях. Аккумуляторная батарея дает возможность заряжать мобильные электронные устройства в любое время, независимо от условий освещенности.

Ключевые слова: солнечный элемент, энергосбережение, электростанция, фотопреобразование, кремний, солнечная батарея, аккумулятор.

*V.G. Litovchenko, V.P. Melnik, B.M. Romanyuk, B.F. Dvernikov,
R.M. Korkishko, V.P. Kostylev, S.M. Musayev, V.G. Popov, V.V. Chernenko*

Lashkarev Institute of Semiconductor Physics of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

MOBILE SOLAR POWER STATIONS FOR USE IN THE FIELD

The results of the development of mobile solar power stations based on silicon solar energy photovoltaic converters are presented. The design is characterized by the presence of built-in batteries with an appropriate electronic control circuitry, as well as compactness and high mechanical strength. This allows using it in extreme (field) conditions. The presence of the accumulator allows for charging mobile electronic devices at any time, regardless of the lighting conditions.

Keywords: solar cell, energy saving, power station, photoconversion, silicon, solar cell, accumulator.