

**МУЛЬТИДЗЕРКАЛЬНА ФАСЕТОЧНА КОНЦЕНТРАТОРНА УСТАНОВКА***М.І. КЛЮЙ, А.В. МАКАРОВ, В.Б. ЛОЗІНСЬКИЙ, В.П. ТЕМЧЕНКО*

Розроблено та виготовлено експериментальний зразок мультидзеркальної фасеточної фотовольтаїчної концентраторної системи та експериментальний зразок наземної слідкуючої системи, яка дозволяє реалізовувати різні принципи слідкування за рухом Сонця небосхилом. Визначено технічні характеристики системи та її потенціальні можливості. Досліджено фотоенергетичні характеристики мультикристалітних кремнієвих фотоперетворювачів в умовах концентрованого сонячного освітлення, отримані на розробленій установці.

*Ключові слова:* кремнієві фотоперетворювачі, концентратор, фотовольтаїчна слідкуюча система.

**ВСТУП**

Стан сучасної електроенергетики характеризується постійним підвищенням цін на електроенергію, яке обумовлено подорожчанням вуглеводневих енергоносіїв та ядерного палива, з одного боку, та зниженням вартості електроенергії від альтернативних джерел електроенергії з іншого. Експерти прогнозують повне «вирівнювання» цін у 20-х 30-х роках нинішнього сторіччя, після чого стара енергетика буде замінюватися на нову, в якій провідну роль відіграватиме використання енергії Сонця [1-4], зокрема, завдяки напівпровідниковій сонячній енергетиці.

Ключовою проблемою сучасної напівпровідникової сонячної енергетики є зниження вартості генерованої електроенергії. Для вирішення цієї проблеми необхідно вирішити такі задачі: максимально збільшити термін роботи сонячних модулів та батарей (СМ та СБ) протягом світлової частини доби та підвищити ефективність їх роботи завдяки застосуванню ефективних слідкуючих систем; використовувати дешеві напівпровідникові матеріали, які є на Землі в достатньо великій кількості, і технологія виробництва яких добре відпрацьована; забезпечити високі коефіцієнти корисної дії (ККД) та великий ресурс роботи фотоелектричних перетворювачів (ФП) сонячної енергії, СМ та СБ на основі цих матеріалів; зменшити кількість матеріалу, що використовується при фотоелектричному перетворенні сонячної енергії. Останню задачу можна вирішити за рахунок підвищення густини наземного сонячного випромінювання в десятки або сотні разів при використанні оптичних концентраторів.

Серед сучасних ФП максимальний ККД мають каскадні ФП на основі прямозонних напівпровідникових сполук (наприклад, InP-GaAs-GaAlAs-Ge) – з відповідними значеннями ширини забороненої зони (до 37%, AM1,5 1000 Вт/м<sup>2</sup>) [5-6] та каскадні системи з спектральним розщепленням світла (до 48%, AM1,5 1000 Вт/м<sup>2</sup>) [7-9]. Разом з тим, вартість таких ФП та систем настільки висока при ресурсі роботи, обмеженому декількома роками, що застосування їх обмежується космічними апаратами і аж ніяк не може забезпечити масове виробництво фотовольтаїчних приладів, здатних задовольнити потреби

сучасної промисловості за цінами, ресурсом роботи та за кількістю напівпровідникових матеріалів, необхідних для їх виробництва.

Єдиним матеріалом, який здатний сьогодні забезпечити вирішення вказаної вище задачі, є напівпровідниковий кремній, кількість якого в земній корі перевищує 30%, який є матеріалом номер один у сучасній фотовольтаїці. Нині більше 90% вироблених у світі сонячних модулів виготовлено саме на основі фотоперетворювачів з монокристалічного та мультикристалічного кремнію [10-12].

Зазвичай кремнієві ФП застосовують у складі плоских панелей без застосування концентраторів. У цих умовах ККД кремнієвих ФП досягає 16-18 %, а співвідношення якості/ціна виробники утримують на досить високому рівні, роблячи акцент не стільки на підвищенні якості, скільки на зниженні ціни ФП. ККД кращих промислових зразків кремнієвих ФП перевищує 22 % [13-14]. Застосування сучасних слідкуючих систем дозволяє підвищити ефективність роботи сонячних модулів ще на 30-47 % [15-18].

Недостатньо реалізованим резервом можливостей кремнієвих ФП є використання їх у концентраторних системах. Значення концентрації сонячного світла в цьому випадку менші ніж для прямозонних, широкозонних напівпровідників, які можуть працювати при високих температурах і концентраціях світла у сотні Сонць. Оптимальна енергетична освітленість для кремнієвих ФП складає десятки Сонць, але ефект підвищення ККД і зниження вартості отриманої електроенергії є досить суттєвим [18].

Застосування концентраторів з кремнієвими ФП потребує додаткових досліджень. Для дослідження фотоенергетичних характеристик ФП необхідно мати обладнання, яке буде забезпечувати контрольовані умови заданої концентрації сонячного світла. Важливою вимогою для таких установок є висока однорідність засвітки в межах монтажної площадки, де розміщуються ФП або СМ. Один з варіантів конструкції такого концентратора і пропонують автори даної роботи. Це мультидзеркальна фасеточна концентраторна фотовольтаїчна система з кремнієвими ФП.

## 1. ФОТОВОЛЬТАЇЧНА КОНЦЕНТРАТОРНА ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧА УСТАНОВКА З КРЕМНІЄВИМИ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

В ході виконання даної роботи була розроблена фотovoltaїчна концентраторна електрогенеруюча установка з кремнієвими фотоперетворювачами (далі Установка), з використанням якої були проведені дослідження фотоенергетичних характеристик ФП в умовах концентровано-го сонячного освітлення.

Конструкція та фото установки представлені на рис. 1. До складу установки входять такі складові частини: концентратор 1 з плоскими дзеркалами 2, змонтований на опорно-поворотній системі, що має шарнір 3 з двома незалежними осями, а також вертикальну поворотну вісь 4, монтажна площадка для ФП та СМ з системою охолодження та індикаторами температури 5, противаги 6, фотоелектричний та оптичний індикатори наведення на Сонце.

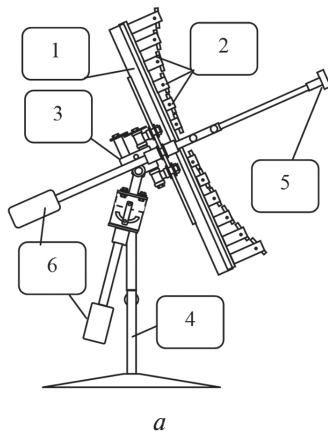


Рис. 1. Конструкція (а) та фото (б) Установки.  
1 — концентратор, 2 — плоскі дзеркала,  
3 — шарнір з двома незалежними осями,  
4 — монтажна площадка для ФП та СМ,  
5 — противаги, 6 — опорно-поворотна система

Установка дозволяє відпрацьовувати в натурних умовах режими роботи одноосьових та двохосьових слідкуючих систем різних типів, в тому числі двохосьової екліптично-азимутальної

та альт-азимутальної слідкуючих за Сонцем систем, а також одноосьових систем із горизонтальною та нахиленими осями.

Конструкція та принцип роботи фасеточного концентратора показані на рис. 2. Природне сонячне світло, відбиваючись від плоских дзеркал, направляється на монтажну площадку з ФП або СМ. Ступінь концентрації визначається кількістю задіяних дзеркал. Кожне з дзеркал комплектується непрозорим екраном для вибору та регулювання ступеня концентрації. Перевагою даної конструкції концентратора в порівнянні з іншими є практично 100% однорідність концентровано-го світла на монтажній площадці, яка досягається при правильному налаштуванні.



Рис. 2. Структура та принцип роботи мультидзеркального фасеточного концентратора

Особливістю конструкції Установки є відсутність автоматичного приводу слідкуючої системи. Задачу слідкування за положенням Сонця вирішує оператор, орієнтуючись на індикатори правильності наведення на Сонце.

Фотоелектричний індикатор являє собою плоску СБ, закріплену у площині концентратора. Струм короткого замикання СБ набуває свого максимального значення за умови перпендикулярності СБ, а разом з ним і площини концентратора, до сонячних променів.

Схема та принцип роботи оптичного індикатора представлені на рис. 3. При правильній орієнтації концентратора промінь сонячного світла, пропущений через отвір, проектується у строго визначеному місті на екрані в площині концентратора, а при відхиленні від цього положення світлова сонячна пляма відхиляється від точки початку координат.

ФП та СМ монтувались на монтажній площадці 5 (рис. 1а), яка може охолоджуватись проточною водою. Між тиловою поверхнею зразків кремнієвих ФП та монтажною площадкою наносилась теплопровідна паста. Температура ФП вимірювалася термопарою, встановленою на тилій поверхні ФП.

Монтажна площадка являла собою плоску сторону прямокутної алюмінієвої труби, по якій передбачено циркулювання води для охолодження. Товщина стінок труби була 2 мм. Охолодження

проточною водою, передбачене конструкцією установки, не застосовувалось, і труба виконувала роль масивного пасивного алюмінієвого радіатора. Розміри монтажної площадки склали 50x600 мм. Для ізоляції нижнього контакту ФП від металу радіатора на його поверхню було нанесено шар  $Al_2O_3$  товщиною 100-150 мкм.

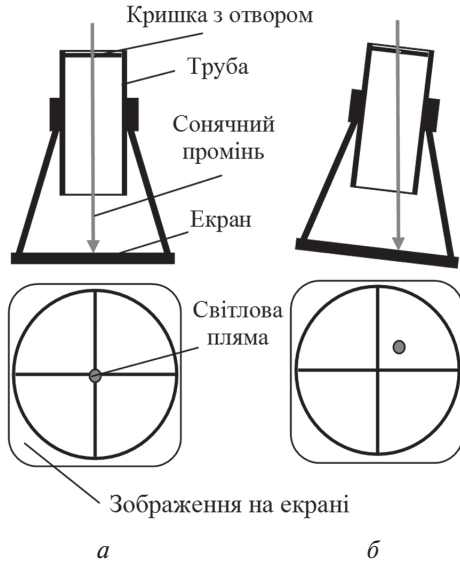


Рис. 3. Конструкція та принцип роботи системи індикації правильності орієнтації площини концентратора: *a* — індикація правильного положення концентратора; *б* — індикація відхилення від правильного положення концентратора

Для нанесення цього покриття застосовувалася технологія формування ізолюючого буферного шару з високою теплопровідністю. Технологія базується на використанні методу газодетонаційного осадження і дозволяє формувати шари на основі  $Al_2O_3$  товщиною до 0,5 мм на довільній площі, що забезпечується переміщенням газодетонаційної гармати або використанням спеціального маніпулятора. Для зручності ФП встановлювались на додаткову монтажну плату, опис якої наведено на рис. 4. Монтажна плата була виготовлена з фольгованого міддю склотекстоліту (рис. 4б). На поверхню міді гальванічно було нанесено шар нікелю товщиною 5-10 мкм. У центрі плати розміщується вікно, в яке встановлювався ФП, який мав безпосередній контакт з поверхнею радіатора та крізь яке ФП освітлювався концентрованим сонячним світлом.

Зразки контактували з поверхнею радіатора через теплопровідну пасту, що забезпечувало хороший тепловідвід. Для контролю температури зразка на тилу поверхню ФП встановлювалась термопара з діаметром спайки 100-150 мкм. Монтажна плата з встановленим ФП приклеювалась до радіатора двокомпонентним силіконовим каучуком (рис. 4а).

Оскільки металізація ФП була виконана з алюмінію, до алюмінієвих контактів ФП методом ультразвукової мікрозварки приварювались алюмінієві шини шириною 1 мм і товщиною 50 мкм. Протилежні кінці шин приварювались до мідних

нікельованих контактних площадок з припаяними проводами, які далі йшли до контактів установки для вимірювання вольт-амперних характеристик.

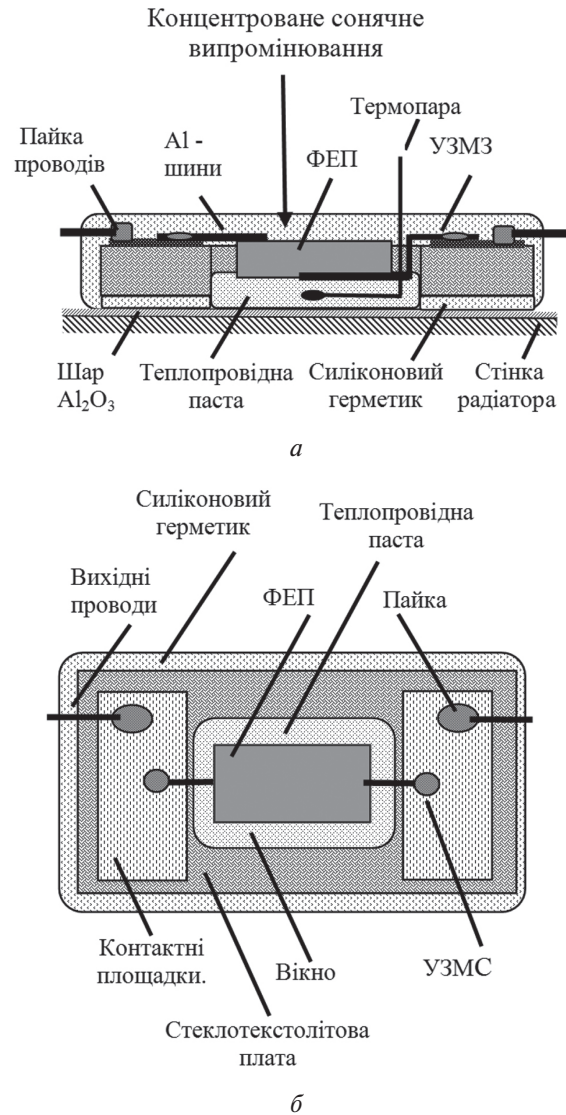


Рис. 4. Структура модуля, на якому вимірювались ВАХ в умовах концентрованого сонячного освітлення: *a* — поперечний переріз; *б* — вигляд зверху

## 2. ОСОБЛИВОСТІ СЛІДКУЮЧОЇ ЗА СОНЦЕМ СИСТЕМИ УСТАНОВКИ

Надходження сонячної променистої енергії до приймальної площадки на поверхні Землі визначається обставинами, відомими з елементарної астрономії [19]. Земля робить оберт по еліптичній орбіті навколо Сонця за один рік, одночасно обертаючись навколо власної осі з періодом, близьким до однієї доби. Під час руху Землі навколо Сонця її вісь залишається паралельною самій собі і нахилена до площини орбіти під кутом близьким до  $66,5^\circ$ . Такий характер руху призводить до періодичної зміни пір року і нерівності тривалості дня і ночі впродовж року. З точки зору спостерігача, який знаходиться на поверхні Землі, зручно розглядати і описувати рух Сонця небосхилом, і користуватися поняттями небесної сфери. Видимий шлях Сонця



небосхилом називають екліптикою, а перпендикуляр до її площини називають віссю екліптики, яка має північний і південний полюси. Впродовж року кут нахилу площини екліптики до площини земного екватора змінюється від  $-23,5^\circ$  до  $+23,5^\circ$ . Площина земного екватора перетинає площину екліптики двічі на рік у дні осіннього та весняного рівнодення. Кут між площинами екватора та екліптики називають схилень Сонця та традиційно позначають літерою  $\delta$ .

Опорно-поворотна система розробленої установки дозволяє реалізувати і досліджувати різні типи слідкуючих систем, які застосовують як для орієнтації концентраторів, так і для орієнтації сонячних модулів. Можна реалізувати та досліджувати двохосьові та одноосьові системи з горизонтальною, вертикальною або похилою орієнтацією поворотних осей. Найбільш ефективними слідкуючими системами є двохосьові системи, які враховують річний і добовий рух Сонця і дозволяють збільшити кількість прийнятої енергії майже в півтора рази [15-18]. Для дослідження була обрана одна з найбільш ефективних, на нашу думку, схем слідкування за Сонцем – двохосьова екліптично-азимутальна слідкуюча система, яка має переваги перед відомою двохосьовою альт-азимутальною слідкуючою системою.

На рис. 5 показано положення осей шарніра 3 (рис. 1) відносно сторін горизонту та напрямку на Сонце в момент справжнього полудня. Положення площини концентратора відносно напрямку сонячних променів  $R$  визначається поворотом навколо осей  $A$  та  $B$ .

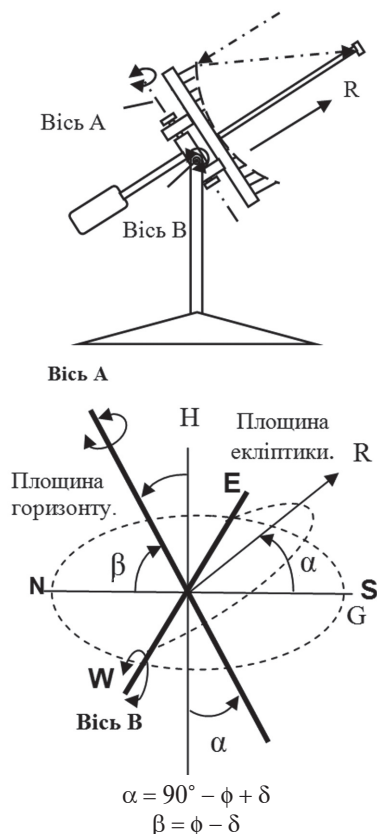


Рис. 5. Орієнтація осей  $A$  та  $B$  слідкуючої системи в момент справжнього полудня

Вісь  $A$  – полярна вісь, спрямована вздовж осі екліптики до її північного полюса і перпендикулярна до її площини. Обертання навколо осі  $A$  відображає добовий рух Сонця. Кут повороту навколо осі  $A$  називають азимутальним кутом. Кут нахилу осі  $A$  до лінії виска  $\alpha$  та кут її нахилу до площини горизонту  $\beta$  пов'язані з географічною широтою місцевості  $\varphi$ :  $\alpha = 90^\circ - \varphi + \delta$ ,  $\beta = \varphi - \delta$ ,  $\alpha + \beta = 90^\circ$  [19]. Нахил осі  $A$  встановлюють обертанням навколо осі  $B$ .

Вісь  $B$  – вісь схилень, що лежить у горизонтальній площині, спрямована зі сходу на захід. Обертання навколо осі  $B$  відображає зміну нахилу площини екліптики до площини екватора впродовж року, тобто відображає річну зміну величини схилення Сонця  $\delta$ .

### 3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВКИ

У табл. 1 наведені технічні характеристики виготовленого макетного зразка Установки, представленої на рис. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики Установки

|   |                        |
|---|------------------------|
| Інтервал зміни кута повороту навколо осі схилень  | $90^\circ$             |
| Інтервал зміни кута повороту навколо полярної осі | $180^\circ$            |
| Однорідність освітлення                           | 100 %                  |
| Кількість дзеркал                                 | 12                     |
| Максимальна концентрація сонячного світла         | 11,9                   |
| Розміри освітлюваної площадки                     | $5 \times 60$ см       |
| Розміри дзеркал                                   | $6 \times 60$ см       |
| Площа одного дзеркала                             | $360$ см <sup>2</sup>  |
| Загальна площа дзеркал                            | $4320$ см <sup>2</sup> |

### 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КРЕМНІЄВИХ ФП НА ОСНОВІ МУЛЬТИКРИСТАЛІТНОГО КРЕМНІЮ В УМОВАХ КОНЦЕНТРОВАНОГО СОНЯЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Для випробовування розробленої установки були досліджені властивості ФП на основі мультикристалітного кремнію при різних рівнях концентрації сонячного випромінювання. На рис. 6а показані вольт-амперні характеристики ФП на основі мультикристалітного кремнію з та без просвітлюючих алмазоподібних вуглецевих плівок. Суцільними лініями на рис. 6б наведені результати теоретичних розрахунків, виконаних в [20] для непросвітлених зразків ФП. З рисунка видно, що осадження плівок дозволяє суттєво підвищити струм короткого замикання ФП і, отже, його коефіцієнт корисної дії. Це особливо яскраво проявляється для ФП, виготовленого з матеріалу з меншими розмірами кристалітів (зразок 7В, рис. 7), для якого к.к.д. після осадження АВП плівки зріс майже в 1,3 рази. Відзначимо, що результати, наведені на рис. 6а, були отримані в умовах АМ1,5. Після цього з використанням розробленої концентраторної системи (рис. 1) були досліджені вказані ФП в умовах концентраторного

опромінення. Отримані результати наведені на рис. 6б. З рисунка видно, що для ФП, виготовленого на основі мультикремнію з малими розмірами зерен (зразок 7В), спостерігається значне покращення ефективності фотоперетворення при рівні концентрації  $M=2-4$ . При цьому, якщо врахувати характеристики вихідного непросвітленого зразка, то за рахунок осадження АПВ плівки і використання концентраторної системи к.к.д. ФП зростає в 1,52 рази, що робить можливим використання ФП навіть невисокої якості.

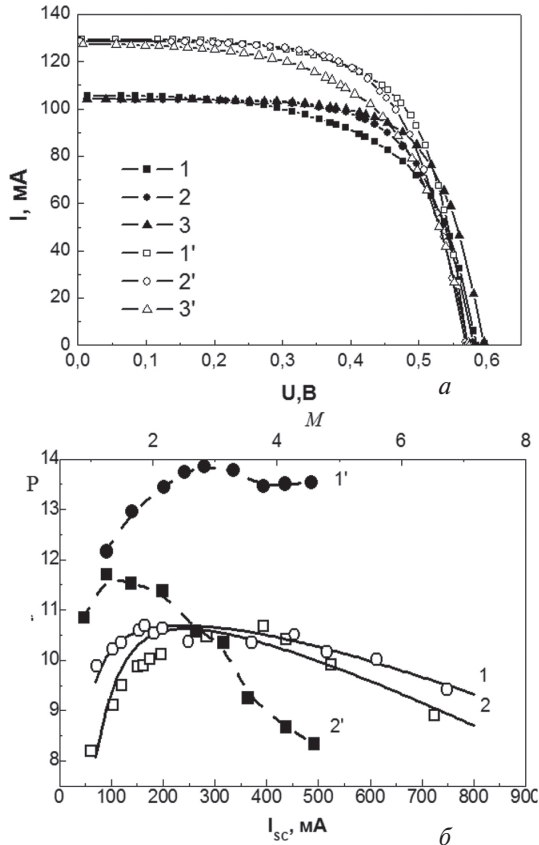


Рис. 6. а — вольт-амперні характеристики ФП на основі мультикристалітного кремнію до (1-3) та після (1'-3') нанесення просвітлюючого покриття на основі алмазоподібних вуглецевих плівок: 1, 1'-7В; 2, 2'-7С; б — залежності ефективності сонячних елементів від ступеня освітленості до (1, 2) та після (1', 2') нанесення просвітлюючого покриття на основі алмазоподібних вуглецевих плівок: 1, 1'-7В; 2, 2'-7С

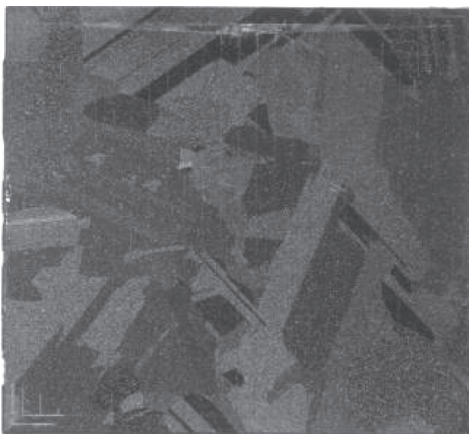


Рис. 7. Фотографія сонячного елемента 7В [20]

## ВИСНОВКИ

1. Розроблена установка дозволяє відпрацьовувати в натурних умовах режими роботи одноосьових та двохосьових слідкуючих систем різних типів, у тому числі двохосьової екліптично-азимутальної та альт-азимутальної слідкуючих за Сонцем систем, а також одноосьових систем із горизонтальною та нахиленими осями.

2. Використання ефективних систем індикації дозволяє підтримувати правильну орієнтацію концентратора оператором протягом часу, необхідного для виконання вимірювань фотоенергетичних параметрів ФП або СМ.

3. Ступінь концентрації сонячного світла практично дорівнює кількості дзеркал концентратора.

4. У межах монтажною площадки має місце майже 100% однорідність концентрованого освітлення.

5. Одночасне застосування просвітлюючих алмазоподібних вуглецевих плівок та розробленої концентраторної системи дозволяє при рівнях концентрації 2-5 збільшити ккд ФП на основі мультикристалітного кремнію в 1,5 рази, що дає можливість практичного використання навіть ФП низької якості.

## Література

- [1] Н.М. Мхитарян, В.Ф. Мачулін. «Проблеми розвитку енергетики України. Возобновляемая и нетрадиционная энергетика». // Наука та інновації. — 2006. — Т. 2. — № 2. — С. 63-75.
- [2] А.В. Наумов «Производство фотоэлектрических преобразователей и рынок кремниевого сырья в 2006-2010 гг.» // Технология конструирования в электронной аппаратуре». — 2006. — № 4. — С. 3-8.
- [3] P. Würfel. Physics of Solar Cells. From Principles to New Concepts. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2005. P. 186.
- [4] В. Мачулін, В. Литовченко, М. Стриха. «Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України». // Вісник Національної Академії наук України. — 2011. — № 5. — С. 30-39.
- [5] Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. — Л.: Наука, 1989.
- [6] Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. — John Wiley & Sons, 2003. — 1179 p.
- [7] A. Barnett, D. Kirkpatrick, C. Honsberg, D. Moore, M. Wanlass, K. Emery, R. Schwartz, D. Carlson, S. Bowden, D. Aiken, A. Gray, S. Kurtz, L. Kazmerski, T. Moriarty, M. Steiner, J. Gray, T. Davenport, R. Buelow, L. Takacs, N. Shatz, J. Bortz, O. Jani, K. Goossen, F. Kiamilev, A. Doolittle, I. Ferguson, B. Unger, G. Schmidt, E. Christensen, D. Salzman. Milestones toward 50% efficient solar cell modules // In: Proc. 22<sup>nd</sup> European PV-solar energy Conference, Milan, Italy, 3-7, September 2007.
- [8] A. Barnett et al., From 40.7 to 42.8 % Solar Cell Efficiency. 30 July 2007. www.renewableenergyworld.com
- [9] M. Schmela. "Super sonic solar market". PHOTON International, №3, 2005, p.66-82.
- [10] W. Hoffman Solar photovoltaic competing in the energy sector. On the road to competitiveness. PVSEC Hamburg, September 2011, 8<sup>th</sup> Europeang PV Industry Summit, CEO panel discussion on Sept. 5<sup>th</sup>, P. 1-37.

- [11] А.П. Оксанич, В.А. Тербан, С.О. Волохов, М.І. Клюй, В.А. Скришевський, А.В. Макаров, В.П. Костильов. Сучасні технології виробництва кремнію та кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії. – Монографія. Кривий Ріг. Мінерал. – 2010. – 267 с.
- [12] The Highest Efficiency Solar Products Under the Sun. <http://us.sunpowercorp.com/>
- [13] The Drivers of The Levelized Cost of electricity for Utility-Scale Photovoltaics Sunpower Corporation 14 August 2008, P.27. <http://files.shareholder.com/>
- [14] Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.
- [15] C.S. Solanki Solar Photovoltaics: Fundamentals, Technologies and Applications. PHI Learning Private Limited, New Delhi, 2009, P. 479.
- [16] F.Apicella I, A.Sarno, G.Graditi, S.Ferlito, V.Boffa, G.Grassano, R.Tabolacci «Fixed and two-axis tracking PV system: potential solar electricity from conventional and C-PV modules technology», Proceedings of 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 September 2008, Valencia, Spain, P. 3472-3475.
- [17] A. Catarius, M. Christiner Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracker [www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project\\_12171040419\\_unrestricted/Dual\\_Axis\\_Tracker\\_Final\\_Report.pdf](http://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project_12171040419_unrestricted/Dual_Axis_Tracker_Final_Report.pdf)
- [18] А.В. Саченко, А.П. Горбань, В.П. Костылев, А.А. Серба, И.О. Соколовский. Сравнительный анализ эффективности фотопреобразования в кремниевых солнечных элементах при концентрированном освещении для стандартной и тыловой геометрии расположения контактов // ФТП. – 2007. – Т. 41. – Вып. 10. – С. 1231-1240.
- [19] Кононович М. Э., Мороз В. И. Общий курс астрономии. М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с.
- [20] N.I. Klyui, V.P. Kostylyov, V.G. Litovchenko, A.V. Sachenko, V.V. Chernenko, A.V. Makarov, A.N. Lukyanov. Silicon Multicrystalline Solar Cells Under Concentrated Illumination. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3-7 September 2007: proceedings. – Milano, Italy, 2007. – P.1463-1465.

Надійшла до редколегії 10.08.2012



**Клюй Микола Іванович**, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач лабораторії нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України. Область наукових інтересів: розробка технологій створення

сонячних елементів і модулів на їх основі з покращеними експлуатаційними характеристиками; розробка технологій створення та дослідження властивостей тонкоплівкових структур на основі алмазоподібних вуглецевих та карбідокремнієвих плівок; використання методів іонної інженерії для цілеспрямованої модифікації властивостей таких структур; створення нанорозмірних напівпровідникових структур та дослідження їх оптичних і емісійних властивостей; розробка сучасних технологій осадження біоактивних покриттів на медичні імплантати.



**Макаров Анатолій Володимирович**, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник лабораторії нетрадиційних та

відновлюваних джерел енергії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України. Область наукових інтересів: розробка нових конструкцій, технологій та постановка виробництва кремнієвих сонячних фотоперетворювачів, сонячних батарей та сонячних енергетичних систем космічного та наземного призначення.

відновлюваних джерел енергії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України. Область наукових інтересів: розробка нових конструкцій, технологій та постановка виробництва кремнієвих сонячних фотоперетворювачів, сонячних батарей та сонячних енергетичних систем космічного та наземного призначення.



**Лозінський Володимир Борисович**, науковий співробітник лабораторії нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України. Є спеціалістом з дослідження впливу обробок на оптичні властивості напівпровідникових матеріалів і діелектричних плівок, бере участь в розробці нових конструкцій модулів сонячних елементів та дослідженні їх властивостей.



**Темченко Володимир Павлович**, молодший науковий співробітник лабораторії нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України. Є спеціалістом з розробки технологій і устаткування для осадження напівпровідникових та діелектричних функціональних покриттів, бере участь в дослідженні їх властивостей.

УДК 621.315.592; 621.3.049.77; 004.93'1

**Мультизеркальна фасеточна концентраторна установка** / Н.И. Клюй, А.В. Макаров, В.Б. Лозинский, В.П. Темченко // Прикладная радиоэлектроника: науч.-техн. журнал. – 2012. – Том 11. № 3. – С. 384–389.

Разработан и изготовлен экспериментальный образец мультизеркальной фасеточной фотовольтаической концентраторной системы и экспериментальный образец наземной следящей системы, которая позволяет реализовать разные принципы слежения за движением Солнца по небосклону. Определены технические характеристики системы и ее потенциальные возможности. Исследованы фотоэнергетические характеристики мультикристаллитных кремниевых фотопреобразователей в условиях концентрированной солнечной засветки, полученные на разработанной установке.

*Ключевые слова:* кремниевые фотопреобразователи, концентратор, фотовольтаическая следящая система. Табл. 1. Ил. 7. Библиогр.: 20 назв.

UDC 621.315.592; 621.3.049.77; 004.93'1

**Multimirror facet concentrator setup** / M.I. Klyui, A.V. Makarov, V.B. Lozinskiy, V.P. Temchenko // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2012. Vol. 11. № 3. – P. 384–389.

Experimental prototypes of a multimirror facet concentrator photovoltaic system and ground-based solar tracking system have been developed and produced. The tracking system enables to realize different tracking approaches and provide sun tracking along the sky. Technical characteristics and performance capabilities of the system are determined. The photo-power characteristics of multicrystalline-based silicon photoconverters are investigated under concentrated illumination using the developed setup.

*Keywords:* silicon photoconverters, concentrator, photovoltaic tracking system.

Tab. 1. Fig. 7. Ref.: 20 items.