

УДК 621.3.049.77:620.3

І.Ш. Невлюдов, В.О. Письменецький, А.В. Фролов, О.О. Чала, М.А. Ємельянов

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КРЕМНІЄВИХ КОНЦЕНТРАТОРНИХ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕМЕНТІВ

В роботі експериментально досліджено ефективність застосування концентраторів параболоциліндричного типу з метою підвищення ККД кремнієвих фотоперетворювачів (ФП). Виконано порівняльний аналіз ефективності концентраторних кремнієвих ФП на одному р-п переході з двох та трьох перехідними ФП на основі GaAs. Показано конкурентоздатність концентраторного кремнієвого фотоперетворювача з одним р-п переходом, у порівнянні з трьохпрохідним гетерофотоперетворювачем (ККД 35 %).

**Ключові слова:** концентратор, сонячна батарея, параболоциліндричне дзеркало, фокус, розкритт, розфокусування, коефіцієнт віддзеркалення.

### Номенклатура

ККД – коефіцієнт корисної дії;  
 СЕ – сонячний елемент;  
 ФП – фотоперетворювач.

### Вступ

В теперішній час время 86% електричної та теплової енергії виробляється на атомних та теплових електростанціях, які працюють на вичерпних паливних ресурсах.

Робота таких електростанцій супроводжується значним хімічним забрудненням та використанням скороченням природних ресурсів, а також «тепловим» забрудненням Земної кулі.

Використання атомних електростанцій пов'язано з проблемами безпеки їх експлуатації та подальшої переробки радіаційних відходів та забруднення.

Для вирішення зазначених проблем, перспективним є використання сонячної енергії, тому що цей вид енергії – невичерпний, доступний всім та, а також – екологічно чистий [1 – 3, 7 – 9].

Дослідженням фотоелектричних перетворювачів (ФП) присвячена значна кількість наукових публікацій.

Це роботи закордонних вчених Martin A. Green, Jianhua Zhao, H. Honsberg, Ж.І. Алферова, В.М. Андреева [4]; українських вчених В.Г. Літовченка, А.П. Горбаня, В.І. Стріхи.

Вартість електроенергії сонячних фотоелектростанцій у більшості випадків більше, ніж при використанні традиційних способів її отримання, через низький ККД ФП.

Метою даної роботи є дослідження ефективності використання концентраторів для збільшення ККД кремнієвих одноперехідних СЕ [5, 6, 10].

### Результати досліджень

В стаціонарний параболоциліндричний сонячний модуль складається (рис. 1) з таких елементів:

1. Параболоциліндричне дзеркало-концентратор.
2. Фотоприймач концентрованого сонячного випромінювання.
3. Контрольний фотоприймач.
4. Система контролю струмів і напруг фотоприймачів.
5. Ізольююча підкладка.

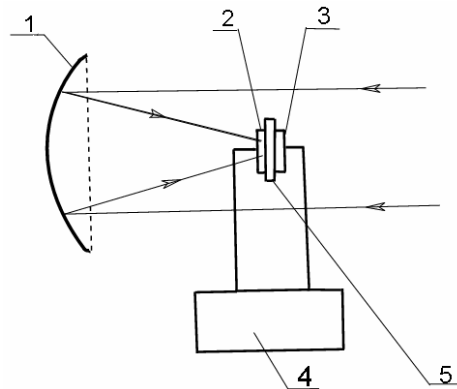


Рис. 1. Структура сонячного модулю

Конструкція параболоциліндричного відбивача-концентратора з оптоабсорбером приведена на рис. 2.

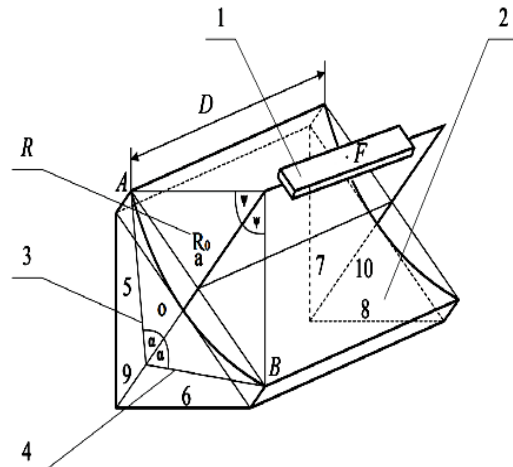


Рис. 2. Конструкції параболоциліндричного відбивача-концентратора з оптоабсорбером

Розрахунки показують, що у такій конструкції параметричний кут  $\alpha$  складає більше  $45^\circ$ , що відкриває перспективи збільшення тривалості роботи концентратора.

Для підвищення механічної міцності конструкції введено ребра жорсткості 5, 6, 7, 8, а 9, 10 – напрямні елементи конструкції.

Для ідентичності умов вимірювань основний і контрольний фотоприймач розміщені на різних сторонах ізолюючої підкладки 5.

Сонячний модуль (рис. 3) містить дві напрямні за допомогою яких фіксуються положення плати з основним та контрольним фотоприймачем.

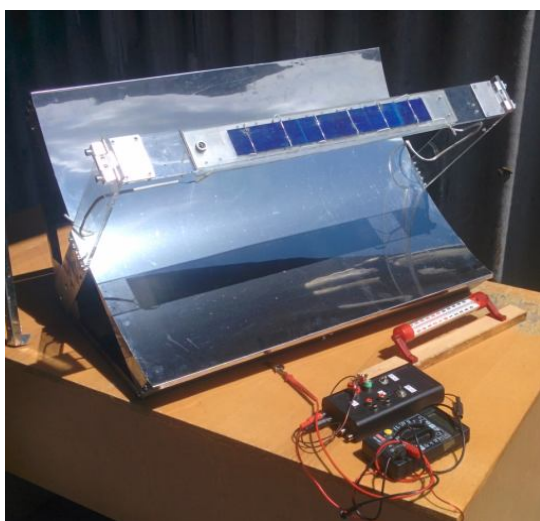


Рис. 3. Сонячний модуль

Пази з поділками у кожній напрямній та фіксуючі пристрої утворюють регулятор, що встановлює певне значення коефіцієнту концентрації  $C$ . Залежність коефіцієнту концентрації  $C$  від поло-

ження регулятора розфокусування показано на рис. 4. За допомогою регулятора змінюється відстань між фокальною лінією дзеркала та основним фотоприймачем.

При переміщенні від точки  $C_1$  до точки  $C_3$  коефіцієнт концентрації збільшується. Максимальне значення коефіцієнту концентрації позначено точкою  $C_m$ .

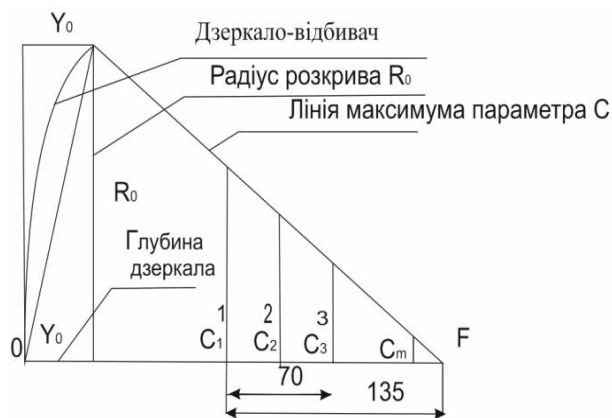


Рис. 4. Залежність коефіцієнту концентрації  $C$  від положення регулятора розфокусування

Перші випробування сонячного модуля були проведені 14 березня 2017 року при температурі навколишнього середовища  $12^\circ\text{C}$  та малохмарній погоді.

Було зафіксовано максимальний коефіцієнт концентрації 3,68, оскільки порівняно невисокі весняні температури забезпечили добрий тепловідвід.

Як було показано раніше, для монокремнію при температурі  $25^\circ\text{C}$  максимально допустимий коефіцієнт концентрації менше, або рівний 3. Дослідження були продовжені 7 серпня 2017 року. Результати вимірювань занесено до табл. 1.

Таблиця 1

Результати вимірювань параметрів  $U_{xx}$ ,  $I_{kз}$ , потужності  $P_m$  та розрахунку коефіцієнта концентрації  $C$

Тип ФП		Основний ФП				
Часовий інтервал		11.00	11.30	12.00	12.30	13.00
$U_{xx}$ , В	1	1,15	1,16	1,17	1,13	1,07
	2	1,21	1,22	1,23	1,15	1,13
	3	1,25	1,26	1,27	1,23	1,16
$I_{kз}$ , МА	1	54	54	55	51	49
	2	64	65	67	65	61
	3	75	78	80	73	67
$P_m$ , мВм	1	62	62,6	64,3	57,6	52,4
	2	77	79,3	82,4	74,7	68,9
	3	94	98,3	102,8	89,8	77,7
Коефіцієнт концентрації	1	1,2	1,24	1,26	1,17	1,07
	2	1,5	1,52	1,6	1,43	1,11
	3	1,8	1,88	2,01	1,72	1,52

На рис. 5 наведено часові залежності струму короткого замикання  $I_{кз}$  при різних коефіцієнтах концентрації  $C$ , а на рис. 6 – часові залежності напруги холостого ходу  $U_{xx}$  при різних коефіцієнтах концентрації  $C$ .

При побудові часових залежностей було використано такі коефіцієнти концентрації: 1,25; 1,6; 2.

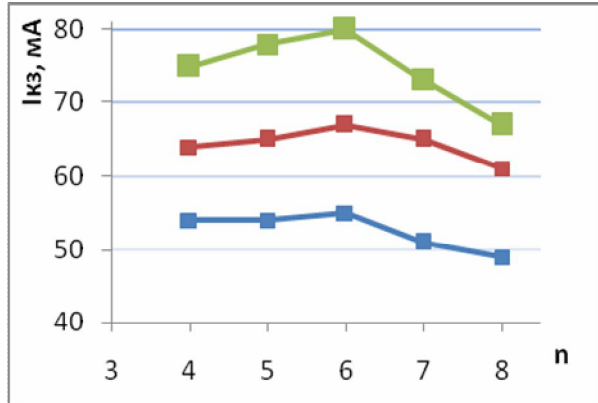


Рис. 5. Часові залежності струму короткого замикання  $I_{кз}$  при різних коефіцієнтах концентрації  $C$

На рис. 8 представлено Часові залежності коефіцієнта концентрації.

На рис. 8 представлено порівняльний аналіз концентраторних кремнієвих ФП на одному р-п переході та GaAs ФП з 1, 2, 3 р-п переходами/

Пунктиром показано значення параметру концентраторного ККД, коли  $C=3$ , а ККД кремнієвого СБ дорівнює 17%.

З наведеного можна зробити висновок, що концентраторний кремнієвий ККД з одним р-п переходом може конкурувати з ККД на основі GaAs з трьома р-п переходами.

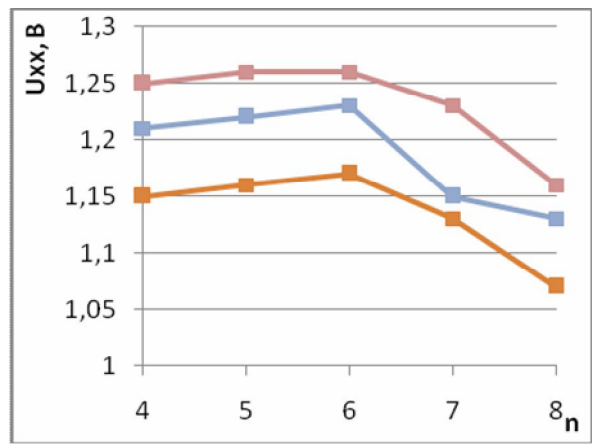
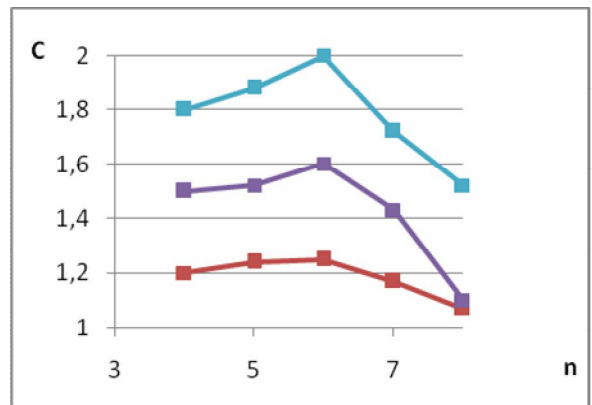


Рис. 6. Часові залежності напруги холостого ходу  $U_{xx}$  при різних коефіцієнтах концентрації  $C$



1,2,3 – часові залежності кремнієвих ККД концентраторних ККД з параметром  $C$  1,25; 1,6; 2,0 відповідно;  
4,5,6 – ККД ФП на основі GaAs з одним р-п переходом, двома та трьома р-п переходами з використанням потрібних з'єднань відповідно

Рис. 7. Часові залежності коефіцієнта концентрації

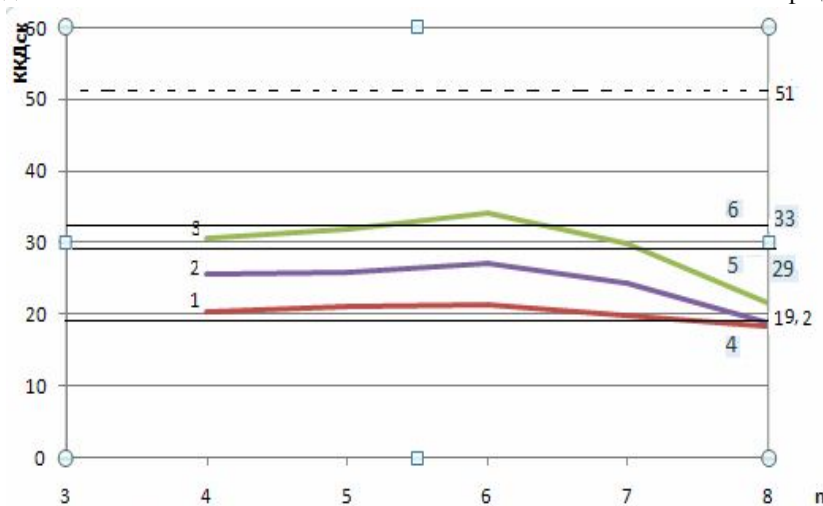
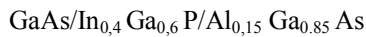


Рис. 8. Порівняльний аналіз концентраторних кремнієвих ФП на одному р-п переході та GaAs ФП з 1, 2, 3 р-п переходами

Зазначені часові залежності ККД<sub>ск</sub> для трьох значень параметра  $C$  (1,25 1,6 2) позначені цифрами

1, 2, 3. Горизонтальними лініями 4, 5, 6 позначено значення ККД<sub>ФП</sub> на основі GaAs.

Цифра відповідає одноперехідним ФП типу Ge/ GaAs з ККД=19%, цифрою 5 – двохперехідним ФП с потрійними з'єднаннями



з ККД=29%, цифра 6 – трьох перехідним ФП GaInP/GaInAs/Ge ККД 33%.

Для виготовлення одно- та двохперехідних ФП на основі GaAs використовувалася технологія рідиннофазової епітаксії, а для трьох перехідних – технологія МОС гідридної епітаксії.

Відзначимо, що в таких структурах існує технологічна проблема суміщення кристалічних градок матеріалів різного складу, що ускладнюється при збільшенні кількості р-п переходів.

З наведених графіків можна зробити висновок, що при значенні параметра  $C=2$  одноперехідний кремнієвий ФП конкурує з трьохперехідним GaAs ФП.

Більш того, при  $C=3$ , що для кремнію, з урахуванням теплового режиму, можливо реалізувати ККД  $17 \cdot 3 = 51\%$  (пунктирна лінія на рис. 7).

## ВИСНОВКИ

1. Отримано ККД концентратора сонячного модуля 34% при ККД кристалу фотоперетворювача 17% з одним р-п переходом, що підтверджує ефективність використання параболоциліндричного концентратора.

2. Показано конкурентоздатність концентратора кремнієвого фотоперетворювача з одним р-п переходом, у порівнянні з трьохперехідним гетерофотоперетворювачем (ккд 35 %).

3. З урахуванням реалізованого коефіцієнта концентрації при весняних випробуваннях макету досягнуто загальний ККД 51 %.

4. Доцільне продовження досліджень для оцінки ефективності параболоциліндричного концент-

тора в умовах суцільного хмарного покрыву, а також при спільній роботі з сонячними колекторами.

## Список літератури

1. А да Роза. *Возобновляемые источники энергии физико -технические основы пер. с англ. М. изд. дом. МЭИ; 2010. – 704 с.*
2. *Солнечная тепловая станция украинского изобретателя вырабатывает энергию дешевле, чем при сжигании газа chearsol@ukr.net.*
3. С.М. Воронин, Н.С. Овсянников. Пути повышения конкурентоспособности солнечных фотозлектро-станций. *Научный журнал КубГАУ, №76 (02), 2012г.*
4. Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев *Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики. ФТП, т. 38 вып.8, 2004г. с. 937 – 948*
5. Н.П. Искрянников, К.Н. Свиридов, В.И. Шадрин *Автономные солнечные установки с концентраторами солнечного излучения. Журн. Интеграл. – 2003г., № 2. – с.121 – 138.*
6. Д.С. Стребков. *Концентраторы солнечного излучения. М.: ГНУВ и ЭСХ. 2007. – 316с.*
7. С.М. Воронин, А.А. Таран *Параметры автономной системы электроснабжения на основе солнечной электростанции. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007г. №3. с. 24 – 25.*
8. Adam Hilger, Bristol and Philadelphia, pp. 382, fig. 11.18.
9. Слипченко Н.И. Письменецкий В.А. Фролов А.В. *Прогнозные оценки надежности монокристаллических кремниевых фотопреобразователей электронная компонентная база состояние и перспективы развития. Сб. науч. трудов II Межд. конф. Харьков – Кацивели, 2009. с. 194 – 197.*
10. Слипченко Н.М., Письменецкий В.А., Глушко Е.С., Борцов В.И., *Применение фокальных концентраторов для повышения эффективности работы кремниевых преобразователей. Сб. науч. тр. 5 межд. конф. «Функциональная база нанoeлектроники», Харьков - Крым, 2012., с 325- 328.*

Надійшла до редколегії 30.10.2017.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Палагін, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

И.Ш. Невлюдов, В.А. Письменецкий, А.В. Фролов, Е.А. Чала, Н.А. Емельянов

*В работе экспериментально исследована эффективность применения концентраторов параболоцилиндрического типа с целью повышения КПД кремниевых фотопреобразователей (ФП). Выполнен сравнительный анализ эффективности концентраторных кремниевых ФП на одном р-п переходе с двух и трех переходными ФП на основе GaAs. Показана конкурентоспособность концентраторного кремниевоего фотопреобразователя с одним р-п переходом, по сравнению с трехпереходным гетероФП (КПД 35%).*

**Ключевые слова:** концентратор, солнечная батарея, параболоцилиндрическое зеркало, фокус, разрыв, расфокусирование, коэффициент отражения.

## ANALYSIS OF EFFICIENCY OF USE OF SILICON CONCENTRATE SOLAR PHOTOELEMENTS

I.Sh. Nevliudov, V.O. Pysmenetskyi, A.V. Frolov, O.O. Chala, M.A. Yemelianov

*The efficiency of application of parabolic-cylindrical type concentrators with the purpose of increasing the efficiency of silicon photoconverters (FC) is experimentally investigated. A comparative analysis of the effectiveness of concentrator silicon phase transitions on one p-n junction with two and three transition GaAs-based phase transition has been performed. The competitiveness of a concentrator silicon photoconvertor with a single p-n junction is shown, in comparison with triaxial p-n junction heteroFC (35% efficiency).*

**Keywords:** concentrator, solar battery, parabolic-cylindrical mirror, focus, rupture, time-focusing, reflection coefficient.