

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, розкрит, 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 використання 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. Ізолююча підкладка.

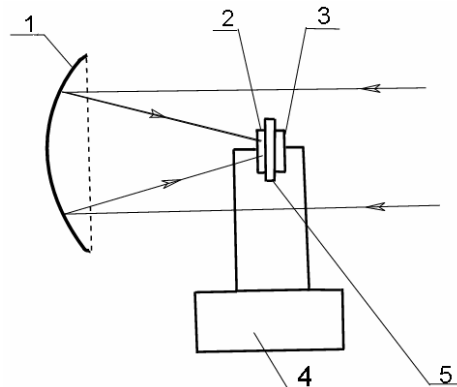


Рис. 1. Структура сонячного модулю

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

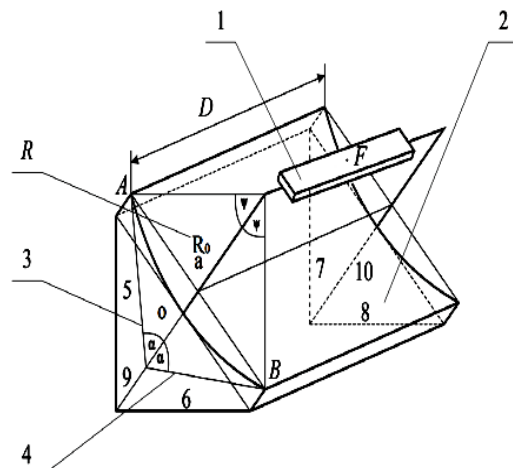


Рис. 2. Конструкції параболоциліндричного відбивача-концентратора з оптоабсорбером

Розрахунки показують, що у такій конструкції параметричний кут α складає більше 45° , 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.

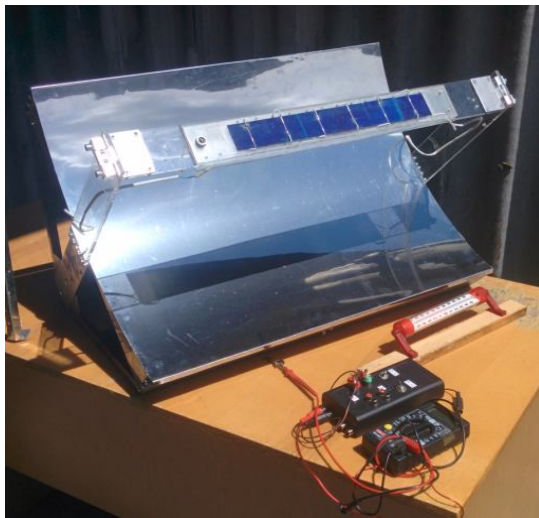


Рис. 3. Сонячний модуль

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

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 .

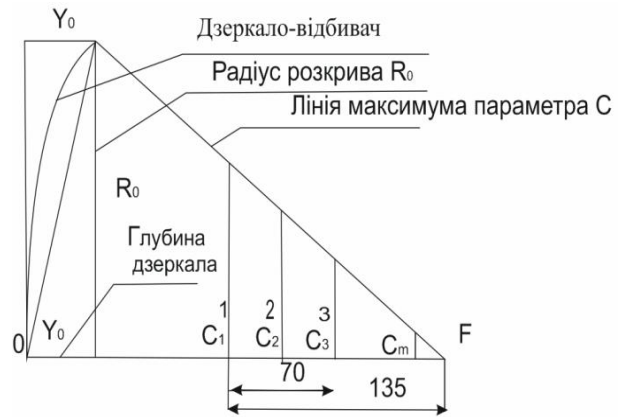


Рис. 4. Залежність коефіцієнту концентрації C від положення регулятора розфокусування

Перші випробування сонячного модуля були проведені 14 березня 2017 року при температурі навколишнього середовища 12°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°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 , мВт	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.

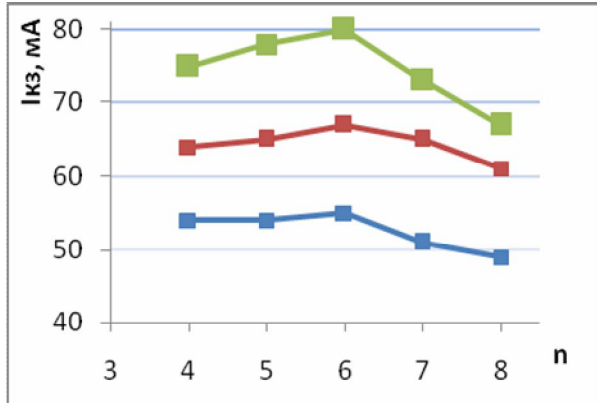


Рис. 5. Часові залежності струму короткого замикання $I_{кз}$ при різних коефіцієнтах концентрації C

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.

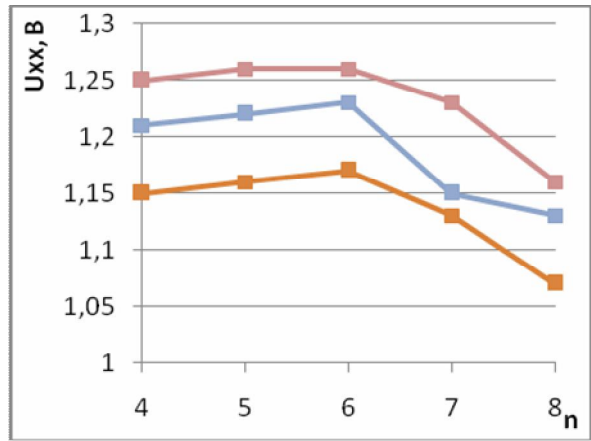
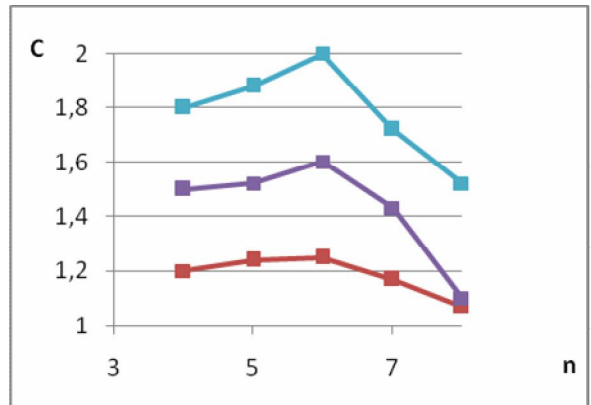


Рис. 6. Часові залежності напруги холостого ходу U_{xx} при різних коефіцієнтах концентрації C



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

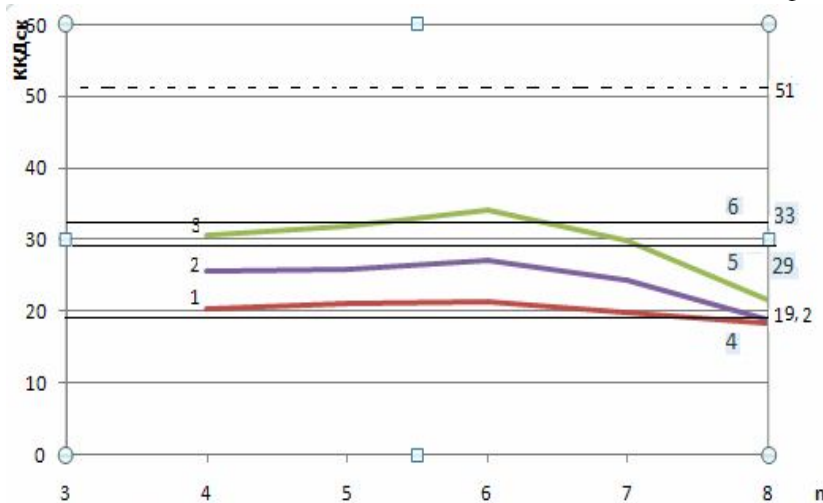
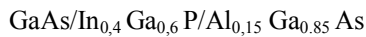


Рис. 8. Порівняльний аналіз концентраторних кремнієвих ФП на одному р-п переході та GaAs ФП з 1, 2, 3 р-п переходами

Зазначені часові залежності ККДск. для трьох значень параметра C (1,25 1,6 2) позначені цифрами

1, 2, 3. Горизонтальними лініями 4, 5, 6 позначено значення ККД_{ФП} 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 концентраторного сонячного модуля 34% при ККД кристалу фотоперетворювача 17% з одним р-п переходом, що підтверджує ефективність використання параболоциліндричного концентратора.

2. Показано конкурентоздатність концентраторного 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 покрову, 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 *cheapsol@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.