



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **77670** (13) **U**
(51) МПК
G01R 31/26 (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2012 09080</p> <p>(22) Дата подання заявки: 23.07.2012</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.02.2013</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.02.2013, Бюл.№ 4</p>	<p>(72) Винахідник(и): Стребков Дмитро Семенович (UA), Поляков Володимир Іванович (UA), Копач Володимир Романович (UA), Хрипунов Геннадій Семенович (UA), Зайцев Роман Валентинович (UA), Кіріченко Михайло Валерійович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 2, 61002 (UA)</p>
---	---

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ККД КРЕМНІЄВОГО ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ВЕРТИКАЛЬНИМИ ДІОДНИМИ КОМІРКАМИ

(57) Реферат:

Спосіб підвищення ККД багатоперехідного кремнієвого фотоелектричного перетворювача з послідовно з'єднаними вертикальними діодними комірками і сонячного модуля з таких приладів включає їх розміщення у однорідному стаціонарному магнітному полі з вектором магнітної індукції.

UA 77670 U

Корисна модель належить до напівпровідникових приладів, зокрема до кристалічних багатоперехідних (БП) кремнієвих фотоелектричних перетворювачів (Si-ФЕП) [1] (або ще - матричних сонячних елементів [2]) з послідовно з'єднаними вертикальними діодними комірками (ВДК) й сонячних модулів з таких приладів [2-4] та ініційована необхідністю подальшого економічно доцільного підвищення їх ККД.

З цією метою в попередніх розробках було запропоновано і реалізовано ряд способів їх удосконалення, спрямованих на зменшення втрат енергії сонячного випромінювання на фотоприймальній поверхні й усередині ВДК завдяки:

1) текстуруванню, пасивації та прояснюванню фотоприймальної поверхні [3-5];

2) оптимальному насиченню пасивуючого або прояснюючого шарів розрізненими металевими наночастинками [3];

3) створенню з боку фронтальної фотоприймальної і протилежної тильної поверхонь додаткових горизонтальних анізотипних гомопереходів [3, 4];

4) оптимізації концентрації основної легуючої домішки в об'ємі базових кристалів ВДК та концентраційних профілів усередині високолегованих шарів вертикальних анізотипного і ізотипного гомопереходів [3-5];

5) створенню вздовж границь базових кристалів ВДК і металевих прошарків, послідовно з'єднуючих сусідні ВДК, вертикальних оптичних рефлекторів з сильнолегованого оловом оксиду індію [6, 7].

За винятком останнього, а також текстурування і прояснювання фотоприймальної поверхні, решта перелічених способів удосконалення спрямовано на зменшення втрат енергії сонячного випромінювання завдяки зниженню кількості поверхневих й об'ємних рекомбінаційних центрів у базових кристалах ВДК поряд з підвищенням внеску не дифузійної складової (у даному випадку дрейфу під дією вбудованого електричного поля) в транспорт фотогенерованих носіїв заряду при їх прямуванні до сильнолегованих шарів ВДК, а саме, електронів до n^+ -шару (у напрямку проти фотоструму) і дірок до p^+ -шару (у напрямку фотоструму). Це у свою чергу забезпечує зростання ефективного значення часу життя τ фотогенерованих неосновних носіїв заряду (ННЗ) у ВДК, що згідно, наприклад, з [8, 9] є одним з найважливіших чинників для підвищення ККД фотоелектричних перетворювачів.

Суттєвою особливістю перелічених способів удосконалення БП Si-ФЕП з ВДК, спрямованих на зменшення втрат енергії сонячного випромінювання, а тим самим - на підвищення ККД, завдяки зниженню кількості поверхневих й об'ємних рекомбінаційних центрів у базових кристалах ВДК та підвищенню внеску недифузійної складової в транспорт фотогенерованих носіїв заряду, є їх реалізація безпосередньо при виготовленні таких приладів. Тому природно, що після виготовлення цих приладів ККД останніх, а також сонячних модулів з ними, має визначатися лише електронними і структурними процесами усередині ВДК, ініційованими зовнішніми факторами.

У зв'язку з цим раніше з'явився безконтактний непошкоджуючий спосіб підвищення ККД вже виготовлених монокристалічних Si-ФЕП у 1,2-1,4 рази за рахунок зростання часу життя ННЗ у їх базових кристалах у 1,2-1,7 разу, заснований на перебудові структури комплексів точкових дефектів при обробці таких Si-ФЕП протягом 7 діб у однорідному стаціонарному магнітному полі (СМП) з індукцією $B \approx 0,2$ Тл [10]. Між тим, недоліком цього способу є релаксація зазначеного підвищення ККД протягом обмеженого часу після обробки монокристалічних Si-ФЕП у СМП, що не дає змоги його широкому практичному використанню.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб, який включає обробку монокристалічних Si-ФЕП у однорідному СМП з $B > 0,1$ Тл, після чого на тильну поверхню монокристалічного Si-ФЕП наноситься магнітний вініл [11]. Згідно з [11] після витримки таких Si-ФЕП у однорідному СМП з B до 0,2 Тл протягом 7-14 діб було зафіксовано зростання часу життя ННЗ з 36-40 мкс до 51-56 мкс і зростання ККД на 1-2 %, а після наклеювання на тильну поверхню Si-ФЕП завтовшки не більше 500 мкм магнітного вінілу завтовшки 1,5 мм з $0,05 \leq B \leq 0,1$ Тл у зовнішньому просторі завтовшки 3-4 мм було зафіксоване довготривале утримання часу життя ННЗ у межах 49-52 мкс і доданку до ККД у межах 0,7-1,7 %.

Однак, поряд з перевагами цей спосіб має суттєвий недолік, котрий полягає у нездатності забезпечення за рахунок СМП додаткового підвищення внеску недифузійної складової в транспорт фотогенерованих носіїв заряду при їх прямуванні до сильнолегованих шарів, а саме, електронів до n^+ -шару і дірок до p^+ -шару - тобто в напрямку фотоструму як усередині монокристалічних одноперехідних Si-ФЕП з горизонтальною діодною структурою, так і усередині БП Si-ФЕП з ВДК при їх опромінуванні, що зумовлено суттєвою неоднорідністю СМП в базових кристалах фотоелектричних перетворювачів внаслідок специфічної доменної структури власне магнітного шару вінілу [12]. Природно, що вказаний недолік має автоматично

поширюватись і на сонячні модулі з монокристалічних Si-ФЕП зазначених вище типів при наявності такого магнітного вінілу з боку їх тильних поверхонь.

В основу корисної моделі поставлена задача створення способу підвищення ККД багатоперехідного кремнієвого фотоелектричного перетворювача з послідовно з'єднаними вертикальними діодними комірками і сонячного модуля з таких приладів за рахунок використання однорідного стаціонарного магнітного поля для обробки у ньому вже готового працюючого приладу і сонячного модуля з таких приладів.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі підвищення ККД багатоперехідного кремнієвого фотоелектричного перетворювача з послідовно з'єднаними вертикальними діодними комірками і сонячного модуля з таких приладів, котрий включає їх обробку у стаціонарному магнітному полі з індукцією більше 0,1 Тл, працюючий багатоперехідний кремнієвий фотоелектричний перетворювач з послідовно з'єднаними вертикальними діодними комірками і сонячний модуль з таких приладів розміщують у однорідному стаціонарному магнітному полі з вектором магнітної індукції B , спрямованим паралельно до їх фронтальних фотоприймальних поверхонь та під кутом 90° до вектора густини фотоструму фотоелектричного перетворювача і сонячного модуля з таких приладів при погляді з боку їх фронтальних фотоприймальних поверхонь.

Суть корисної моделі полягає у підвищенні ККД приладу і сонячного модуля з таких приладів завдяки збільшенню їх фотоструму, а отже і струму короткого замикання $I_{кз}$ [8, 9], із-за того, що при вказаній вище орієнтації вектора B однорідне СМП поряд з підвищенням ефективного часу τ життя ННЗ у ВДК забезпечує підвищення внеску не дифузійної складової в транспорт фотогенерованих носіїв заряду при їх прямуванні до сильнолегованих шарів ВДК, а саме електронів до n^+ -шару (у напрямку проти фотоструму) і дірок до p^+ -шару (у напрямку фотоструму) внаслідок дії на них сили Лоренца у відповідних напрямках. Останнє пов'язане з реалізацією в освітлюваних ВДК непарного фотоелектромагнітного (ФЕМ) ефекту Кікоіна-Носкова, який стосовно напівпровідникових структур ґрунтовно описано у [13]. Суть запропонованої корисної моделі пояснюється кресленнями:

на Фіг. 1 наведено ілюстрації до методики експерименту;

на Фіг. 2 зображено навантажувальні світлові вольт-амперні характеристики $BnSi$ -ФЕП з ВДК, виміряні при $24 \pm 1^\circ C$ і $K_B=1$ зі спектральним складом випромінювання, що відповідає режиму АМО: 1 - у відсутності СМП ($B=0$); 2 - за наявністю однорідного СМП з $B=0,2$ Тл;

на Фіг. 3 наведено навантажувальні світлові вольт-амперні характеристики БП Si-ФЕП з ВДК, виміряні при $24 \pm 1^\circ C$ і $K_B=56$ зі спектральним складом випромінювання, що відповідає режиму АМО: 1 - у відсутності СМП ($B=0$); 2 - за наявністю однорідного СМП з $B=0,2$ Тл;

на Фіг. 4 зображено навантажувальні світлові вольт-амперні характеристики БП Si-ФЕП з ВДК, виміряні при $24 \pm 1^\circ C$ і $K_B=100$ зі спектральним складом випромінювання, що відповідає режиму АМО: 1 - у відсутності СМП ($B=0$); 2 - за наявністю однорідного СМП з $B=0,2$ Тл;

на Фіг. 5 наведено якісно типові у випадках двох різних значень λ експериментальні залежності U_{xx} від t для дослідженого БП Si-ФЕП з ВДК при: 1- $B=0$; 2- $B=0,2$ Тл.

Приклад способу, запропонованого у корисній моделі.

Для виготовленого раніше (у Державній науковій установі "Всеросійський інститут електрифікації сільського господарства", м. Москва) приладу - БП Si-ФЕП з ВДК - при $24 \pm 1^\circ C$, опромінюванні з боку тільки однієї фронтальної фотоприймальної поверхні і ступенях концентрації $1 \leq K_B \leq 100$ імітованого сонячного випромінювання, за спектральним складом наближеного до режиму АМО, в умовах $B=0$ та однорідного СМП з $B=0,2$ Тл при оптимальній орієнтації вектора B відносно приладу і напрямку фотоструму (вектор B спрямовано паралельно до фронтальної фотоприймальної поверхні та під кутом 90° до вектора густини фотоструму фотоелектричного перетворювача при погляді з боку його фронтальної фотоприймальної поверхні) методом, подібним до описаного у [14], були виміряні навантажувальні світлові вольт-амперні характеристики (НС ВАХ).

На Фіг. 1 (а-д) наведено: а - загальний вигляд вимірювального апаратурного комплексу з імпульсним імітатором концентрованого сонячного випромінювання (у правому верхньому куті); б - досліджуваний прямокутний БП Si-ФЕП з ВДК (вигляд з боку фронтальної фотоприймальної поверхні) в захисній скляній касеті з кремнієвим гелем у контактному пристрої (з боку тилової поверхні приладу розташовано поглинаючий світло чорний екран); в - досліджуваний зразок під апертурним отвором імітатора у відсутності стаціонарного магнітного поля ($B=0$); г - досліджуваний зразок під апертурним отвором імітатора в однорідному стаціонарному магнітному полі ($B=0,2$ Тл), створеному системою постійних магнітів, котрі розташовано з протилежних торцевих боків зразка у двох чорних пластмасових контейнерах; д - вигляд системи постійних магнітів при розчинених контейнерах.

Значення струму короткого замикання і ККД, отриманні при аналітичному опрацюванні НС ВАХ (показаних на Фіг. 2-4) за методом, подібним до описаного у [15], наведено у Таблиці 1.

У Таблиці 2 наведено величини ефективного часу життя τ фотогенерованих ННЗ, визначенні відповідно до [16] при $V=0$ і $V=0,2$ Тл методом загасання напруги холостого ходу U_{xx} приладу з часом t після раптового припинення його опромінювання монохроматичним світлом з різною довжиною хвилі λ .

Експериментальні залежності U_{xx} від t при $V=0$ і $V=0,2$ Тл для цього приладу, за якими визначались вказані у Таблиці 2 величини τ , наведено на Фіг. 5.

Як впливає з наведених у Таблиці 1 результатів, обробка однорідним СМП з $V>0,1$ Тл і оптимальним напрямком вектора V відносно працюючого БП Si-ФЕП з ВДК забезпечує збільшення ККД дослідженого приладу на 0,6-1,4 % в залежності від ступеня концентрації сонячного випромінювання на його фронтальній фотоприймальній поверхні. Згідно з результатами, наведеними у Таблиці 2, цьому сприяє підвищення не менш ніж на 5 %, ефективного часу життя фотогенерованих ННЗ в базових кремнієвих кристалах цих приладів при їх експлуатації у вказаному магнітному полі.

Таким чином, позитивний ефект полягає у збільшенні ККД БП Si-ФЕП з ВДК на 0,6-1,4 % в залежності від ступеня концентрації сонячного випромінювання на його фронтальній фотоприймальній поверхні за рахунок обробки та безпосередньої роботи БП Si-ФЕП з ВДК у однорідному стаціонарному магнітному полі.

Таблиця 1

Значення струму короткого замикання $I_{кз}$ і ККД, отримані при аналітичному опрацюванні НС ВАХ

K_B , відн. од.	1		56		100	
V , Тл	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2
$I_{кз}$, МА	1,3	1,4	75	81	132	143
ККД, %	15,4	16,1	18,6	20,0	19,1	19,7

Таблиця 2

Величини τ фотогенерованих ННЗ, визначенні при $V=0$ і $V=0,2$ Тл методом загасання напруги холостого ходу U_{xx} приладу з часом t після раптового припинення його опромінювання монохроматичним світлом з різною довжиною хвилі λ

λ , нм	525		630	
V , Тл	0,0	0,2	0,0	0,2
τ , МКС	251	264	258	272
$\Delta\tau/\tau$, %	5,2		5,4	

Джерела інформації:

1. Удосконалення та застосування багатоперехідних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів з вертикальними діодними комітками/ Копач В.Р., Зайцев Р.В., Кіриченко М.В., Куца Н.В., Лук'янова Г.О., Хрипунов Г.С.// Технічна електродинаміка: Тематичний випуск "Силова електроніка та енергоефективність" - 2010. - 4.2. - С. 289-292.
2. Стребков Д.С. Матричные солнечные элементы. В 3-х томах. Том 1. - М: ГНУ ВИЭСХ, 2009. - 120 с.
3. Стребков Д.С. Матричные солнечные элементы. В 3-х томах. Том 2. - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2009. - 228 с.
4. Стребков Д.С. Матричные солнечные элементы. В 3-х томах. Том 3. - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. - 312 с.
5. Sater B.L. Photovoltaic cells with processed surfaces and related applications. International Patent, 18.02.2010, No WO 2010/019685 A1.
6. New approach to the efficiency increase problem for multi-junction silicon photo-voltaic converters with vertical diode cells/ Kopyach V.R., Kirichenko M.V., Shramko S.V., Zaitsev R.V., Bondarenko S.A.// Functional Materials. - 2008. - Vol. 15. - No. 2. - P. 253-258.
7. Применение рефлекторов из ИТО/Al для повышения эффективности монокристаллических кремниевых фотопреобразователей/ Копач В.Р., Кириченко М.В., Хрипунов Г.С., Зайцев Р.В.// ФТП. - 2010. - Т. 44. - Вып. 6. - С. 801-806.

8. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент. - М.: Энергоатомиздат, 1987.

9. Графф К., Фишер Г. Время жизни носителей в кремнии и его влияние на характеристики солнечных элементов// В кн. Преобразование солнечной энергии. Вопросы физики твердого тела/ Под ред. Б. Серафина. -М: Энергоиздат, 1982. - С. 151-189.

10. Зайцев Р.В., Копач В.Р., Кіріченко М.В. Влияние обработки стационарным магнитным полем на КПД кремниевых фотоэлектрических преобразователей// IX Харківська конференція молодих науковців "Радіофізика, Електроніка, Фотоніка та Біофізика" 1-3 грудня 2009 р., Збірник анотацій. - ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України: Харків, 2009 р. - С. 48.

11. Зайцев Р.В., Копач В.Р., Кіріченко М.В., Хрипунов Г.С., Лісачук Г.В. Спосіб підвищення ККД монокристалічного кремнієвого фотоелектричного перетворювача// Патент на корисну модель № 60406. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.06.2011. Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня 25.06.2011, Бюл. № 12.

12. Zaitsev R.V., Kopach V.R., Kirichenko M.V., Lukyanov E.O., Khrypunov G.S., Samofalov V.N. Single-crystal silicon solar cells efficiency increase under the influence of magnetic field// Functional Materials. - 2010. - Vol. 17. - No. 4. - P. 554-557.

13. Кикоин И.К., Лазарев С.Д. Фотоэлектромагнитный эффект// Успехи физических наук. - 1978. - Т. 124. - Вып. 4. - С. 597-617.

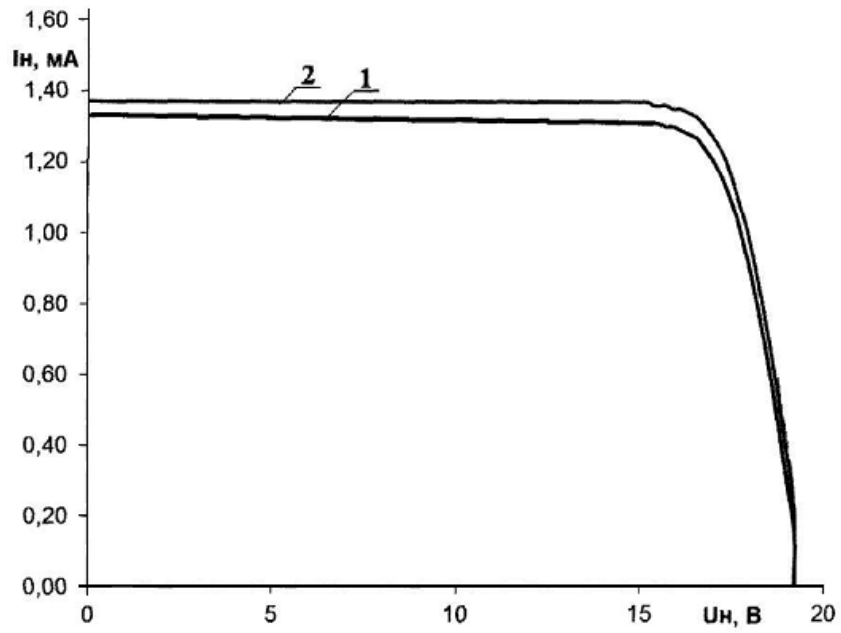
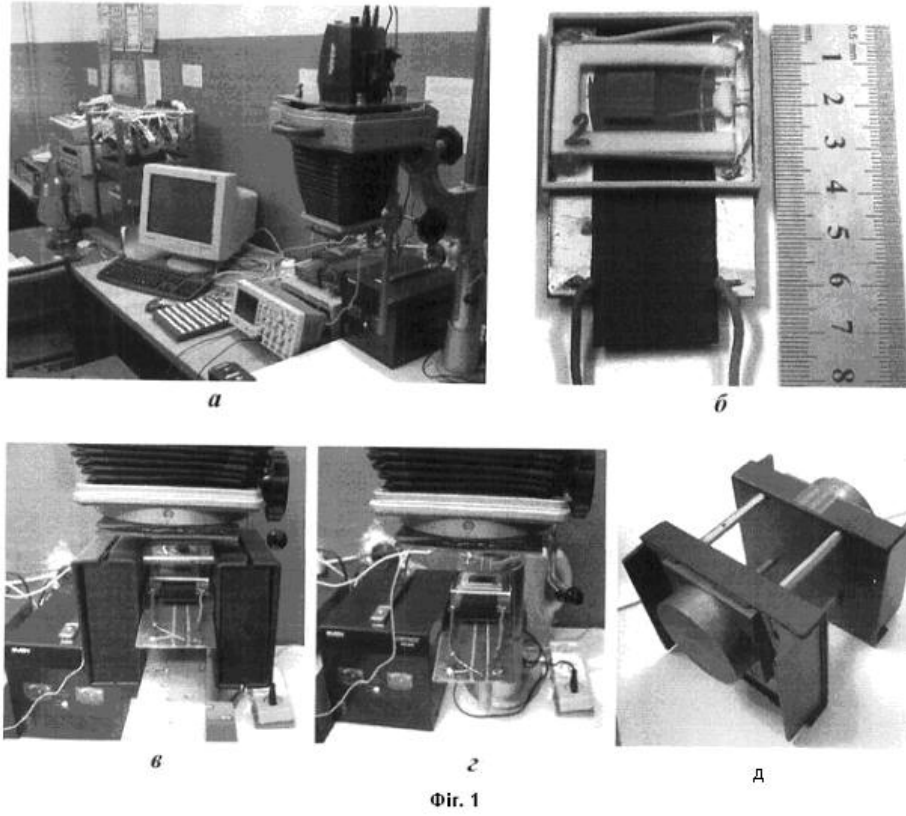
14. Кіріченко М.В. Удосконалення кремнієвих фотоелектричних перетворювачів широкомасштабного застосування та методів їх атестації// Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла. - Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України, Харків, 2011.

15. Khrypunov G.S., Meriuts A.V. Analysis of the Diode Characteristics of Thin Film Solar Cells Based on CdTe// Ukrainian Journal of Physics. - 2004. - Vol. 49. - No. 12. - P. 1188-1191.

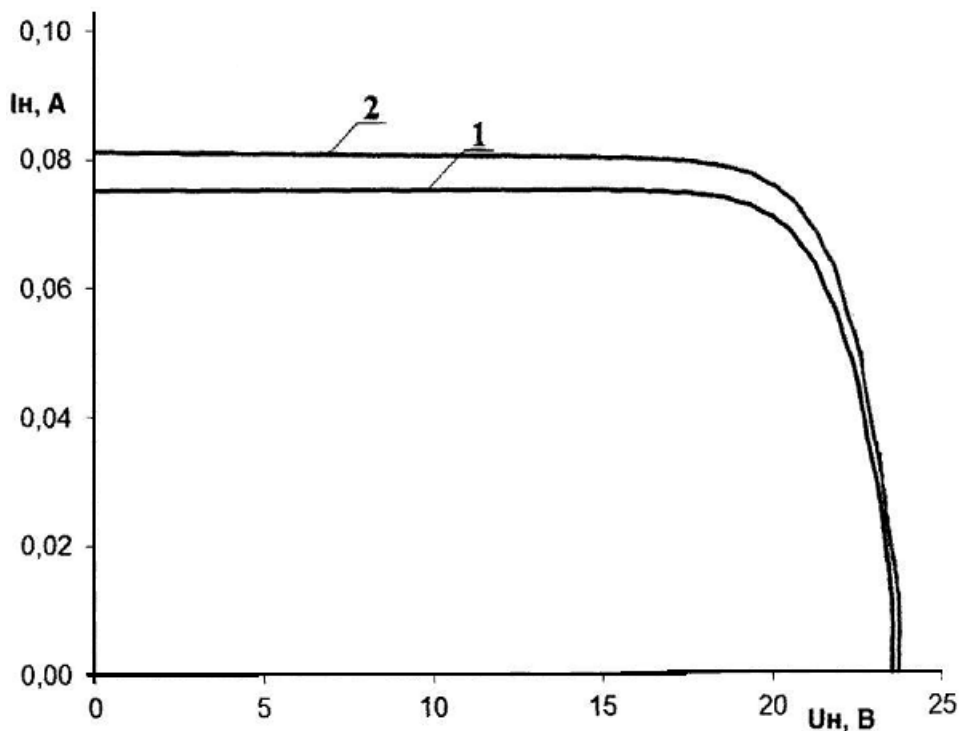
16. Mahan J. Measurement of minority carrier lifetime in solar cells from photo-induced open-circuit voltage decay/ J. Mahan, T. Ekstedt, R. Frank, R. Kaplow// IEEE Trans. Electron Dev. - 1979. - Vol. ED-26. - No. 5. - P. 1357-1364.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

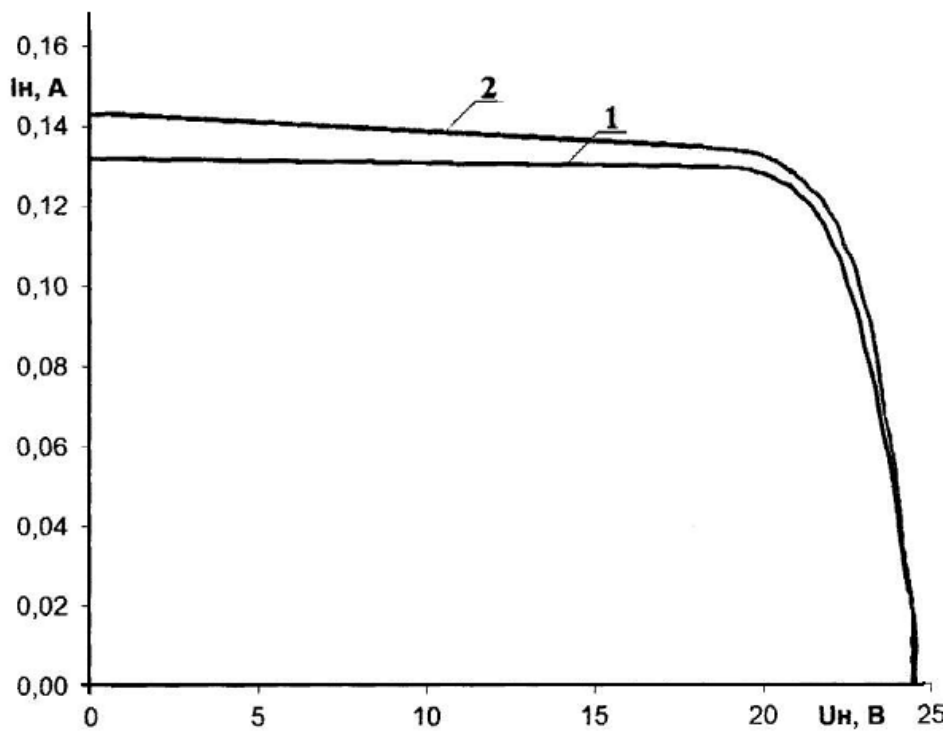
Спосіб підвищення ККД багатоперехідного кремнієвого фотоелектричного перетворювача з послідовно з'єднаними вертикальними діодними комірками і сонячного модуля з таких приладів, котрий включає їх обробку у стаціонарному магнітному полі з індукцією більше 0,1 Тл, який **відрізняється** тим, що працюючий багатоперехідний кремнієвий фотоелектричний перетворювач з послідовно з'єднаними вертикальними діодними комірками і сонячний модуль з таких приладів розміщують у однорідному стаціонарному магнітному полі з вектором магнітної індукції, спрямованим паралельно до їх фронтальних фотоприймальних поверхонь та під кутом 90° до вектора густини фотоструму фотоелектричного перетворювача і сонячного модуля з таких приладів при погляді з боку їх фронтальних фотоприймальних поверхонь.



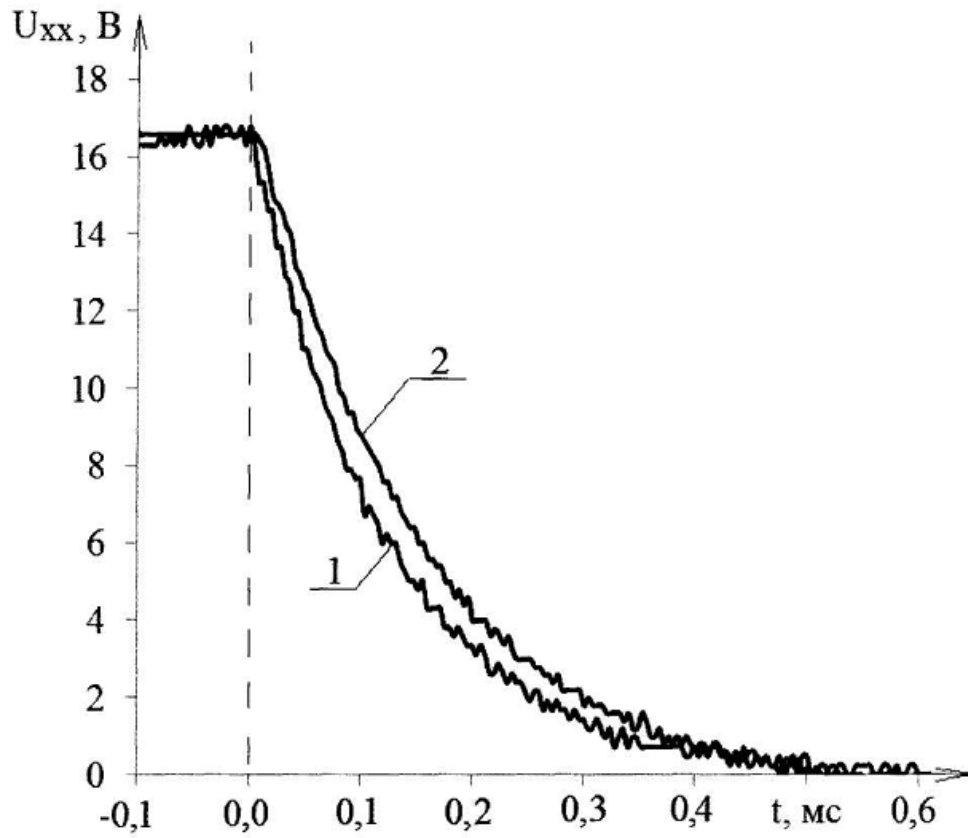
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фіг. 5

Комп'ютерна верстка М. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601