

ЗАХИРИДДИН
МУҲАММАД БОБУР
НОМИДАГИ АНДИЖОН
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ANDIJAN STATE
UNIVERSITY NAMED
AFTER ZAKHIRIDDIN
MUKHAMMAD BABUR

ИЛМИЙ ХАБАРНОМА
Физика-математика
Тадқиқотлари
(Махсус сон)

SCIENTIFIC BULLETIN
Physical and
Mathematical Research
(Special Issue)

Андижон
2023 йил

Муассис

Захириддин Мухаммад Бобур номидаги Андижон давлат университети

**ИЛМИЙ ХАБАРНОМА.
ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
ТАДҚИҚОТЛАРИ**

Журнал бир йилда 2 марта чоп этилади.

Андижон вилояти ахборот ва оммавий коммуникациялар бошқармаси
томонидан 2019-йил 26 декабря
0452 рақам билан рўйхатга олинган.

Нашр индекси: 344

Нашр учун масъул:
А.Й.Бобоев

Босишига руҳсат этилди:
27.12.2019.
Қоғоз бичими: 60x81 1/8
Босма табоғи: 13,5
Офсет босма. Офсет қоғози.
Адади: 110 дона.
Баҳоси келишилган нарҳда.
Буюртъя №: 165.
“Муҳаррир” нашриёти манбаа бўлимида чоп этилди.
Тошкент шаҳри, Сўгалли ота кўчаси 7-уй

Таҳририят манзили:

170100, Андижон шаҳри, Университет кўчаси, 129. Телефон: +998911602043.
Факс: (374) 223-88-30

E-mail: adu_xabarnoma@mail.ru Расмий сайт: uzjournals.edu.uz/adu

**Сборник статей международной научно-практической конференции по
«Полупроводниковая опто- и наноэлектроника, альтернативные
источники энергии и их перспективы» Андижан, 12-13 октября 2023 года**

ОГЛАВЛЕНИЕ

С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, А.Й. БОБОЕВ, Б.М. ЭРГАШЕВ

Механизмы формирования квантово-размерных нанообъектов в многокомпонентных структурах GaAs/Ge/ZnSe и GaAs/Si/ZnSe 7

**М.Х.АШУРОВ, Б.Л.ОКСЕНГЕНДЛЕР, С.Х.СУЛЕЙМАНОВ, С.Е.МАКСИМОВ,
З.И.КАРИМОВ, Н.Н.НИКИФОРОВА, Ф.А.ИСКАНДАРОВА**

Современные аспекты радиационной деградации твердых тел и биообъектов 10

**М.Т.НОРМУРАДОВ, Е.Н. ВЛАСОВА, К.Т.ДОВРАНОВ, Д.А. НОРМУРОДОВ,
Х.Т. ДАВРАНОВ**

Измерение оптических параметров, диэлектрических материалов, созданных низкоэнергетическим ионно-плазменным методом 15

Е.С. РЕМБЕЗА, Т.В. СВИСТОВА, Н.Н. КОШЕЛЕВА, М.Б. РАСУЛОВА

Гетероструктуры металлооксид-кремний, как перспективные структуры для создания солнечных элементов 24

**О.О. МАМАТКАРИМОВ, В.Х. QUHQAROV, М.А. ERGASHEV, А.А.
ХОЛМИРЗАЕВ**

Yarimo'tkazgich moddalariga asoslangan konvertorlarni ishlab chiqishda va uning asl parametrlarini saqlanishini o'rganish xossalari 28

S.Z. ZAINABIDINOV, Н.Ж. MANSUROV, Н.Ю. YUNUSALIEV

Photoelectric Properties of n-ZnO/p-Si Heterostructures 34

**Х.Б.АШУРОВ, А.А. ЗАРИПОВ, А.А.РАХИМОВ, У.Ф.БЕРИДЕВ, И.Ж.
АБДИСАИДОВ, М.М.АДИЛОВ**

Методы синтеза никелевого нанокатализатора для получения углеродных нанотрубок 39

Н.Ф. ЗИКРИЛЛАЕВ, М.М.ШОАБДУРАХИМОВА

Особенности автоколебаний тока в компенсированном кремнии и их применение в электронике 46

**Ш.Б.УТАМУРАДОВА, Ж.Ж.ХАМДАМОВ, В.Ф.ГРЕМЕНОК, К.А.ИСМАЙЛОВ,
Х.Ж.МАТЧОНОВ, Х.Ю.УТЕМУРАТОВА**

Комбинационное рассеяние света в монокристаллическом Si, легированного атомами Gd 54

N.N. ABDURAZAKOV, R. ALIEV

Power load forecasting using linear regression method of machine learning: Andijan regional case 58

И. Н. КАРИМОВ. М. ФОЗИЛЖОНОВ. А.Э.АБДИКАРИМОВ

Вольт-фарадный характеристики SOI FINFET структуры 63

О.А. АБДУЛХАЕВ, А.З. РАХМАТОВ

Низковольтные ограничители напряжения на основе структур с эффектом смыкания 67

SH.X. YO'LCHIYEV, B.D. G'ULOMOV, J.A. O'RINBOYEV

ZnO va ZnO:Al yurqa plynokalarini sintez qilish va ularni fizik xossalari o'rganish 75

**Ш.Т.ХОЖИЕВ, С.Ф.КОВАЛЕНКО, С.Е.МАКСИМОВ, В.М.РОТШТЕЙН,
О.Ф.ТУКФАТУЛЛИН, Б.Л.ОКСЕНГЕНДЛЕР. Ш.К.КУЧКАНОВ**

Кластеры Y_n^+ и $Y_nO_m^+$, распыленные ионной бомбардировкой: эксперимент и теоретические аспекты 79

M. RASULOVA	
Application of Solution of the Quantum Kinetic Equations for Renewable Energy problem.....	85
A.А.МИРЗААЛИМОВ, Р.АЛИЕВ, Н.А.МИРЗААЛИМОВ	
разработка высокоеффективных и ресурсосберегающих конструкций кремниевых высоковольтных фотоэлектрических устройств.....	89
D.G. КНАЖИВАЕВ, B.Ya. YAVIDOV	
On correlation of T_c and Cu-O _{apex} distance in single layered cuprates.....	97
А. АБДУЛВАХИДОВ, С.ОТАЖОНОВ, Р.ЭРГАШЕВ	
Фоточувствительность солнечных элементов гетероструктуры p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe с глубокими примесными уровнями.....	102
М.К. КУРБАНОВ, К.У. ОТАБАЕВА, Д.У. ХУДОЙНАЗАРОВА	
Распыление пленок льда при бомбардировке ионами Ar+.....	107
Н.О. QO'CHQAROV S.B. FAZLIIDDINOV B.B.BURXONJANOV	
Simmetrik bo'lgan silikon diodning statik parametrlarini hisoblash p-n-uch nuqtali zaryadlangan nuqsonlarning δ-qatlami o'tish.....	113
N.Yu. SHARIBAYEV, B.M. BAXROMOV R.M. JALALOV A.A. YUSUFJONOV	
Study of electrophysical properties of semiconductor materials based on lead-selenium.....	120
Ш.К.КУЧКАНОВ, Х.Б.АШУРОВ, Б.М.АБДУРАХМАНОВ, С.Е.МАКСИМОВ, О. Э. КИМИЗБАЕВА, Ш.А.МАХМУДОВ	
О роли структурных дефектов в процессах генерации при нагреве эдс и носителей заряда в эпитаксиальных плёночных кремниевых p-n-структурах.....	125
S.Z. ZAYNABIDINOV, I.M. SOLIYEV, SH.K. AKBAROV	
Kremniy monokristallarida elektro noaktiv nikel va kislorod atomlarining o'zaro tasirlashuvi.	128
М.А.МУЙДИНОВА, G.J. MAMATOVA	
Yarimo'tkazgich plastinalar sirti va p-n strukturalarning optik xususiyatlari va ularni takomillashtirish usullari.....	132
L.O.OLIMOV, I.I. ANARBOYEV	
Kremniy granulalari asosida termoelektrik material samaradorligini oshirish mexanizimi.....	136

Разработка высокоэффективных и ресурсосберегающих конструкций кремниевых высоковольтных фотоэлектрических устройств

А.А.Мирзаалимов, Р.Алиев, Н.А.Мирзаалимов

Андижанский государственный университет им. З.М. Бабура, Андижан 170100 Узбекистан .

Аннотация: Повышение коэффициента полезного действия солнечных элементов и уменьшение объема расходуемого материала при его изготовлении-одна из важнейших задач сегодняшнего дня. Для этого был разработан 3-х сторонний чувствительный солнечный элемент. Его коэффициент полезного действия увеличился в 2,81 раза при освещении трех поверхностей и в 1,72 раза при освещении двух поверхностей по сравнению с освещением одной поверхности. Одним из основных параметров среды является температура. Суточная температура меняется в зависимости от времени года. Поэтому важно изучить влияние температуры на солнечные элементы. В этой научной работе изучалось влияние температуры на фотоэлектрические параметры солнечного элемента на основе кремния с тройной чувствительностью. Установлено, что температурные коэффициенты фотоэлектрических параметров трехстороннего чувствительного солнечного элемента не изменяются при освещении различных его областей. Экспериментально рассмотрено промышленное применение концепции создания многосторонне чувствительных кремниевых фотоэлектрических структур за счет эффективного фокусирования света, падающего на кристалл в широком спектральном диапазоне, что позволяет при разработке фотоэлектрических энергогенерирующих конструкций утроить их энергию или в три раза снизить расход дорогостоящего кремниевого материала.

Ключевые слова: трехсторонняя чувствительность, солнечный элемент, кремний, фотоэлектрический генератор, освещения.

Введение. В мире постепенный рост потребности человечества в электрической энергии и глобальное загрязнение окружающей среды ввиду карбонизации атмосферы в результате горения традиционных видов топлива способствуют активному внедрению экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и работам по их рациональному использованию [1]. В связи с этим важную роль играет разработка фотоэлектрического преобразователя концентрированного солнечного света, а также высоковольтных микро-энергетических устройств на небольшой поверхности. Важно найти способы повысить эффективность СЭ на основе кремния и микро-энергетических устройств, снизить потребление СЭ, особенно для разработки высоковольтных матричных СЭ, которые преобразуют концентрированный солнечный свет в электричество, а также повысить эффективность работы [2].

В мире проводится масштабное исследование возможностей разработки и повышения эффективности высоковольтных и эффективных фотоэлектрических энергообменников на основе кремния, а также научные исследования, направленные на создание и совершенствование модели одно- и многосторонних чувствительных кремниевых фотоэлектрических структур с горизонтальным и вертикальным *p-n* переходом, которые позволяют проводить комплексные исследования основных фотоэлектрических свойств. Важными задачами считаются повышение эффективности целенаправленных научных исследований в этой области, включая одно- и многосторонние чувствительные кремниевые фотоэлектрические структуры с горизонтальным и вертикальным *p-n* переходом и высоковольтные микроэнергетические устройства, комплексное определение основных фотоэлектрических свойств, моделирование светоприемных трехнаправленных чувствительных вертикальных *p-n* переходов переходных кремниевых солнечных элементов, оптимизация захвата высокого напряжения на небольшой поверхности, снижение затрат кремния при использовании вертикальных *p-n* переходов солнечных элементов. Поэтому в данной научной работе исследуются новые высоковольтные

фотоэлектрические генераторы на основе кремниевых солнечных элементов с 3-сторонней чувствительностью.

Полупроводниковый фотоэлектрический генератор, состоящий из фотоэлектрической панели с *p-n*-переходами, расположенными параллельно падающему излучению, в котором фотоэлектрических преобразователь выполнены в виде микроминиатюрных параллелепипедов и с коммутированы в твердотельную матрицу, в отличие от солнечный элемент планарной конструкции, вследствие параллельного расположения *p-n*-переходов относительно падающего излучения обладает повышенной чувствительностью в красной части спектра и радиационной стойкостью. За счет последовательного соединения фотоэлектрических преобразователь генерирует высокое напряжение и малый ток при той же мощности, имеет небольшие световые потери на площадь контактов [3].

Однако данный фотоэлектрический генератор имеет низкий КПД вследствие существенных рекомбинационных потерь генерированных светом носителей заряда, при этом недостаточно полно используется возможность вертикального *p-n*-перехода по эффективному сбору носителей заряда, что приводит к высокому расходу дорогостоящего полупроводникового материала на единицу преобразуемой энергии.

Известен солнечной генератор с концентрацией, содержащий панель сотовой ячеистой структуры, имеющую передний лицевой лист, задний лицевой лист и расположенную между ними сотовую ячеистую решетку. На переднем листе установлены чередующиеся ряды солнечный элемент и клиновидные отражатели, отражающие дополнительное излучение на солнечный элемент. Вариант конструкции данного солнечный элемент содержит предварительно отформованный лист из полимера, имеющий плоские участки, на которых установлены указанные ряды солнечный элемент, чередующиеся с клиновидными участками, покрытыми отражающим слоем, с образованием клиновидных отражателей [6]. Недостатком этого солнечный генератор является повышенная тепловая нагрузка на солнечный элемент из-за поглощения КСИ, в связи с чем возникает необходимость обеспечения эффективного теплоотвода, который в данном устройстве обеспечивается посредством использования сотовой ячеистой структуры солнечной панели. Кроме того, вследствие острого угла падения отраженного излучения на поверхность солнечный элемент эффективность преобразования дополнительного отраженного излучения ниже, чем в случае прямо падающего излучения [8]. Данный солнечный генератор предназначен для использования в космических летательных аппаратах и обладает достаточно сложной конструкцией значительных размеров [9].

Предстояла задача по разработке солнечный генератор миниатюрной конструкции с улучшенными фотоэлектрическими и энерго-экономическими показателями [4][5]. Решение поставленной задачи достигалось тем, что в солнечный генератор, содержащем ряды солнечный элемент, установленные на основание из полимерного материала и чередующиеся с клиновидными отражателями, расположенными вдоль указанных рядов солнечный элемент, закрепленными на указанном основании или выполненными заодно с последним в виде клиновидных участков, покрытых отражающим слоем, указанные ряды солнечный элемент выполнены в виде прямоугольных блоков с коммутированных микро-фотопреобразователей с *p-n*-переходами, расположенными параллельно падающему излучению, обладающих трехсторонней рабочей поверхностью по фронтальной и двум боковым граням, а указанные клиновидные отражатели выполнены в виде прямой треугольной призмы, имеющей поперечное сечение в форме равнобедренного прямоугольного треугольника с гипотенузой, принадлежащей плоскости установки солнечный элемент [9]. Кроме того, для решения поставленной задачи высота указанных клиновидных отражателей равна высоте указанного блока микро-фотопреобразователей, а шаг чередования указанных рядов солнечный элемент и клиновидных отражателей *d*

определяется соотношением $d = a + 2h$, где a и h - соответственно ширина и высота указанного блока микро-фотопреобразователей.

В предложенной конструкции солнечный генератор за счет выполнения рядов солнечный элемент в виде прямоугольных блоков с коммутированными микро-фотопреобразователей с $p-n$ -переходами, расположенными параллельно падающему излучению, обеспечивается микро-миниатюрность предложенной конструкции. Каждый блок является фотоэлектрический генератор, обладающим высокой чувствительностью, и может служить источником высокого напряжения, при этом выполнение его с трехсторонней рабочей поверхностью по лицевой - верхней грани и по двум боковым граням обеспечивает значительное увеличение значения фототока по сравнению с аналогом, имеющим одностороннюю рабочую поверхность по лицевой - верхней грани. Это происходит за счет увеличения количества, падающего на блок солнечного излучения вследствие увеличения рабочей поверхности, а также за счет более полного использования возможности вертикальных $p-n$ -переходов по эффективному сбору носителей заряда во всем объеме полупроводникового материала при облучении боковых граней. Выполнение клиновидных отражателей в виде прямой треугольной призмы, имеющей поперечное сечение в форме равнобедренного прямоугольного треугольника с гипотенузой, принадлежащей плоскости установки солнечный элемент, обеспечивает падение отраженного излучения на боковые грани блоков под прямым углом, соответствующим наибольшей эффективности преобразования падающей энергии. Таким образом, предложенная конструкция обеспечивает существенное снижение расхода дорогостоящего кремния на единицу преобразуемой энергии, при этом облученность рабочей поверхности на всех гранях блока микро-фотопреобразователей, в отличие от ближайшего аналога, не превышает однократную, т. е. отсутствует концентрация падающего излучения, и нет необходимости в применении дополнительного теплоотвода. Высота клиновидных отражателей не превышает высоты блоков, а шаг чередования блоков и отражателей определяется их размещением вплотную, что способствует компактности конструкции.

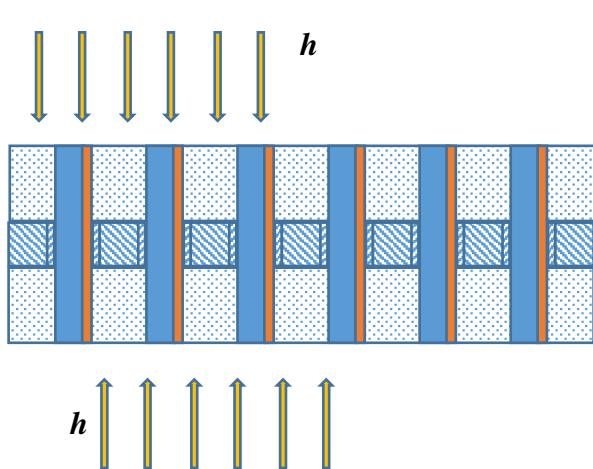


Рис. 1. Частные конструкции матричного ФП, двухсторонне-освещаемых источников фотоэлектрической энергии с вертикальным $p-n$ -переходом

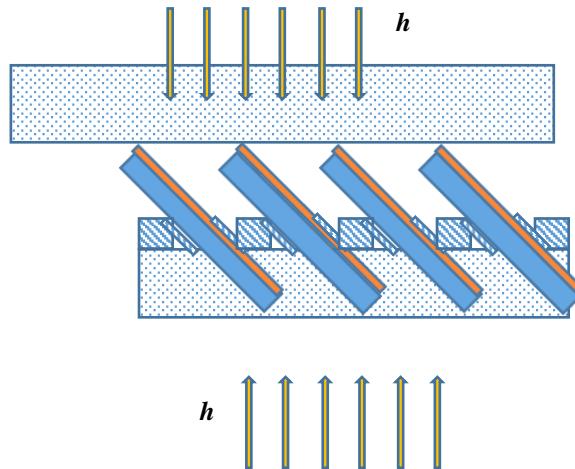


Рис. 1. Двухсторонне-освещаемых источников фотоэлектрической энергии на 45 градусам расположена.

На рис. 1. изображен общий вид солнечный генератор; на рис. 2 – поперечное сечение солнечный генератор и схема прохождения солнечного излучения; на рис. 3а и 3б – электрические схемы параллельного и последовательного включения блоков микро-фотопреобразователей. солнечный генератор (Рис.3) содержит основание 1 из полимерного материала, на котором установлены ряды солнечный элемент 2, чередующиеся с клиновидными

отражателями 3, выполненными в виде клиновидных участков основания 1, покрытых отражающим слоем 4. Каждый ряд 2 выполнен в виде прямоугольного блока, состоящего из микро-фотопреобразователей, содержащих слои кремния *p*-типа 5 и *n*-типа 6 с плоским *p-n*-переходом 7, последовательно с коммутированных посредством контактных слоев 8. Блоки 2 выполнены с трехсторонней рабочей поверхностью по фронтальной грани 9 и двум боковым граням 10, перпендикулярным плоскости *p-n*-перехода 7. Клиновидные отражатели 3 выполнены в виде прямой треугольной призмы, имеющей поперечное сечение в форме равнобедренного прямоугольного треугольника с гипотенузой *c*, принадлежащей плоскости установки солнечный элемент (Рис. 3). Высота отражателей 3 равна высоте *h* блоков микро-фотопреобразователей 2, т.е. гипотенуза *c* равнобедренного прямоугольного треугольника равна его удвоенной высоте *h*. Клиновидные отражатели 3 расположены вплотную к блокам 2, таким образом, шаг чередования *d* блоков 2 и клиновидных отражателей 3 определяется соотношением $d = a + 2h$, где *a*-ширина блоков 2.

Блок с коммутированных микро-фотопреобразователей 2 может быть изготовлен из обычного солнечного элемента в виде кремниевых пластин с *p-n*-структурой, в которых *p*-и *n*-стороны покрываются сплошным контактным слоем, облучиваются, составляется стопка из большого количества пластин и производится пайка среднеплавким припоеем в печи, далее проводится резка алмазным диском на прямоугольные блоки по нормали к плоскостям *p-n*-перехода. Наружный слой с нарушенной в результате резки кристаллической структурой удаляется последовательной шлифовкой, механической полировкой и кислотным травлением, затем на фронтальную грань 9 и боковые грани 10 блоков наносится просветляющее покрытие. Основание 1 может быть отформовано из полимерного материала, например, поливинилхлорида, с нанесением отражающего слоя алюминия на поверхность клиновидных участков. Блоки 2 закрепляются на основании 1 приклейванием [[6]]. Коммутация блоков 2 в электрическую схему осуществляется посредством присоединения контактных слоев 8 на торцах блоков к проводникам навесного монтажа или элементам печатного монтажа 11, которые могут быть выполнены на основании 1. На рис. 3 a и 3 b приведены электрические схемы соответственно параллельного и последовательного соединения блоков 2.

Солнечный генератор работает следующим образом. Лицевая поверхность солнечный генератор облучается солнечным излучением $h\nu$ под прямым углом к плоскости фронтальных граней 9 блоков 2, т.е. параллельно плоскости *p-n* переходов 7. Часть потока солнечного излучения отражается от клиновидных отражателей 3 и попадает на боковые грани 10 блоков 2 также под прямым углом, соответствующим наибольшей эффективности преобразования падающей энергии. Блоки микро-фотопреобразователей 2 преобразуют солнечное излучение в электрический ток, при этом электрическая мощность, снимаемая с каждого блока с трехсторонней рабочей поверхностью $N_{\text{блока}}$, определяется суммой электрической мощности от преобразования солнечной энергии, падающей на на фронтальную грань $N_{\phi p}$ и две боковые грани $N_{\text{бок}}$:

$$N_{\text{блока}} = N_{\phi p} + 2N_{\text{бок}}.$$

Примеры исполнения, предлагаемого солнечный генератор: Пример 1. солнечный генератор содержит три блока размерами $10 \times 1 \times 1 \text{ mm}^2$, включающих по 26 последовательно с коммутированных микро-фотопреобразователей из моно-Si типа КДВ-10 с *p-n*-переходами, сформированными диффузией фосфора при температуре 1000 °C. Блоки установлены на основании из поливинилхлорида и соединены параллельно (4.а). Пример 2. В солнечный генератор по примеру 1 блоки имеют размеры $5 \times 1 \times 1$ и включают по 12 микро-фотопреобразователей. Пример 3. В солнечный генератор по примеру 2 блоки микро-фотопреобразователей соединены последовательно (рис. 5. б).

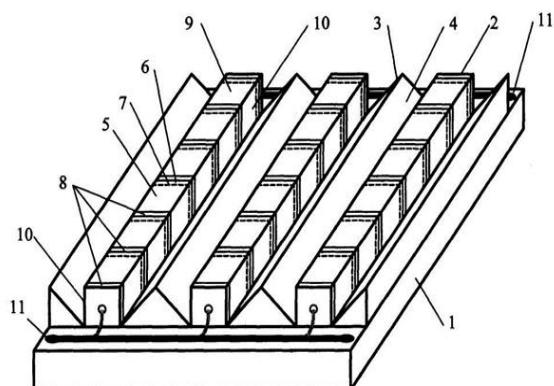


Рис.3. Общий вид солнечного генератора. 1-основание, из полимерного материала, ряды солнечный элемент, 3-клиновидные отражатели, 4- отражающий слой, 5- кремний p-типа и 6-p-типа, 7-p-n-переход, 8-контактные слои, 9-фронтальная грань, 10-боковые грани, 11-элемент печатного монтажа.

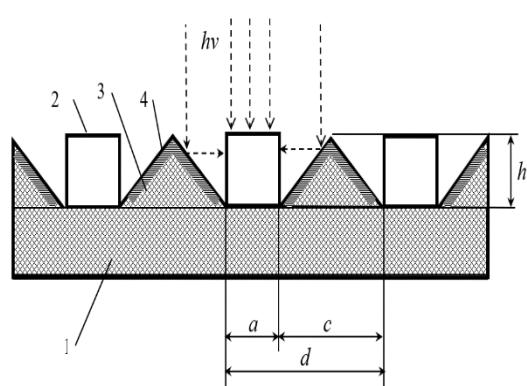
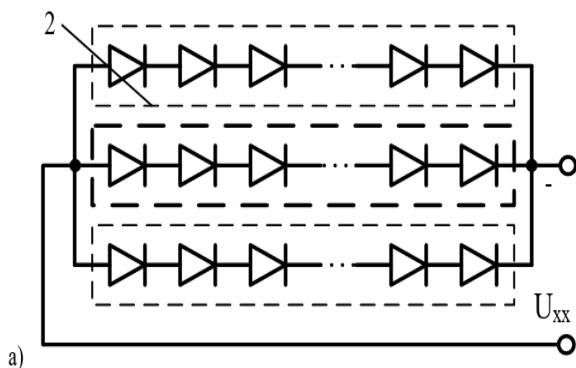


Рис. Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.. Боковой сторона солнечного генератора



a)

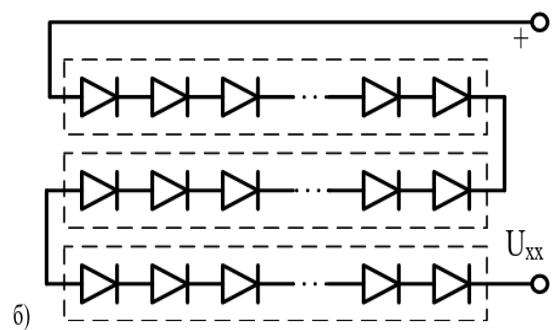


Рис. 5. Электрических схем соответственно параллельного и последовательного соединения блоков.

Результаты и их обсуждение. Параметры образцов солнечный генератор по примерам 1-3, а также результаты измерений фотоэлектрических параметров при облучении белым светом от имитатора солнечного излучения с плотностью 100 мВт/см² приведены в таблице, строки 1÷3. В строке 4 для сравнения приведены параметры одного блока микро-фотопреобразователей, входящего в образец примера 2, выполненного с односторонней рабочей поверхностью по фронтальной грани, в строке 5 – параметры солнечный генератор, состоящего из одного блока микро-фотопреобразователей в виде пластины с односторонней рабочей поверхностью, равной по площади образцу примера 2.

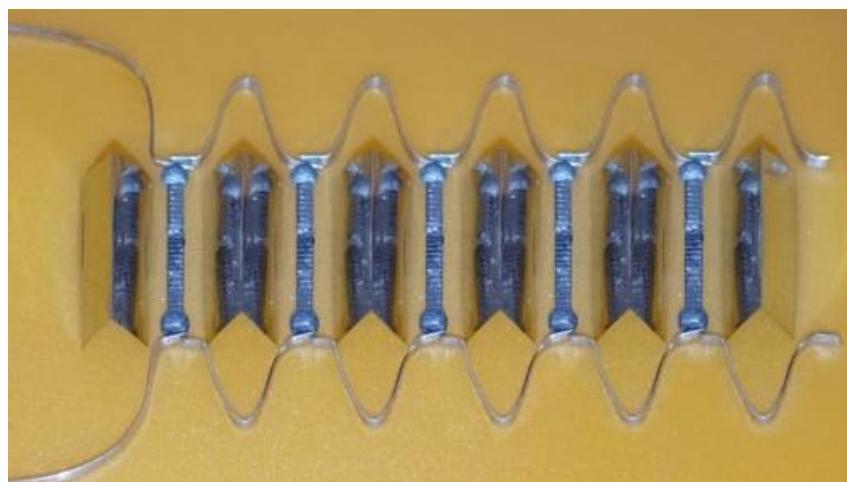
Таблица 1.

№	Размеры образца, мм ²	Размеры блока микро-фотопреобразователей, мм ²	Колич. микро-фото-преобразователей в блоке	Фото-ток к.з., J _{кз} , мкА/см ²	Напряжение х.х., U _{хх} , В	Выход-ная мощн. мВт/см ²	Относи-тельный расход Si, кг/Вт
1	12×10×2	10×1×1	26	2824	13,5	37,8	1,9
2	7×10×2	5×1×1	12	2702	6,7	36,2	1,9
3	7×10×2	5×1×1	12	890	19,9	35,4	2,6
4	5×1×1	5×1×1	12	232	6,2	14,4	14,9
5	5×10×1	5×10×1	12	1190	6,2	14,9	15,4

Как видно из таблицы 1., значения фотоэлектрических параметров образцов предложенного солнечный генератор существенно выше, чем в конструкциях аналогов с односторонней рабочей поверхностью ФП, при значительном снижении расхода кремния на единицу площади или выходной мощности.

Предложенная миниатюрная конструкция солнечный генератор может быть использована в качестве источника питания для маломощных электронных и оптоэлектронных приборов различного назначения.

С целью оценки экономической эффективности внедрения кремниевого высоковольтного солнечного генератора с вертикальным *p-n*-переходом выполнены сопоставление экспериментально определенных технических и известных по открытым интернет данным экономических параметров. Для этого рассмотрен опытный образец кремниевого высоковольтного солнечного генератора с вертикальным *p-n*-переходом, фотография которой приведена на рис. 6.



*Рис. 6. Фотография сверху кремниевого высоковольтного солнечного генератора с вертикальным *p-n*-переходом и параллельным соединением отдельных блоков.*

На рис. 6 приведена фотография образца для случая параллельного соединения отдельных блоков кремниевых структур с вертикальным *p-n*-переходом. Но при исследовании также рассмотрены конструкции при их последовательном соединении. Приняты технические параметры опытных элементов как для случая одно- и трехстороннего освещения. Результаты сопоставления приведены в табл. 2. Технические и экономические параметры различных конструкций фотоэлектрических устройств, изготовленных из промышленных солнечных элементов с геометрическими размерами (156×156×1) мм.

Таблица 2.

№	Структура ФП, условие освещения, размеры, количество	Напряжение х. х. (В)	Ток к.з. (А)	Мощность (Вт)	Себестоимость мощности, \$/Вт	Расход кремния ×10 ⁻³ кг/Вт
1	Горизонтальный <i>p-n</i> переход, одностороннее осв., 156×156×1 мм, 1 шт	0,5	9	4,5	0,14	12,4
2	Горизонтальный <i>p-n</i> переход, односторонн. освещ., 156×156×0,175 мм 5 шт, последов. соединение	2,5	9	22,5	0,028×5	2,48
3	Горизонтальный <i>p-n</i> переход, одностор. освещ., 156×156×0,175 мм 5 шт, параллель. соединение	0,5	45	22,5	0,028×5	2,48

4	Вертикальный <i>p-n</i> переход, одностор. осв., 156×1×1 мм 156 шт, последов. соединение	78	0,057	4,5	0,14	12,4
5	Вертикальный <i>p-n</i> переход, одностор. осв., 156×1×1мм 156 шт, параллель. Соединение	0,5	9	4,5	0,14	12,4
6	Вертикальный <i>p-n</i> переход, трехстор. освещ., 156×1×1 мм, 156 шт, последов. Соединение	78	0,15	12	0,05	4,66
7	Вертикальный <i>p-n</i> переход, трехстор. осв., параллель. Соединение	0,5	24,3	12	0,05	4,66

Из данных табл. 2 следует что если принять для сопоставления кремниевого фотоэлектрического преобразователь с горизонтальным *p-n*-переходом и размерами 156×156×1 мм (ряд 1, табл. 2) для случая одностороннего освещения и фотоэлектрических преобразователь с вертикальным *p-n*-переходом, состоящего из последовательно соединенного 156 шт микро фотоэлектрических преобразователь размерами каждого 156×1×1 мм, для случая трехстороннего освещения (ряд 6, табл. 2) можно увидеть следующее состояние:

- себестоимость полученной мощности для первого случая составляет 0,14 \$/Вт (предпоследняя колонка) или удельный расход кремния составляет $12,4 \times 10^{-3}$ кг/Вт (последняя колонка);
- себестоимость полученной мощности для первого случая составляет 0,05 \$/Вт (предпоследняя колонка) или удельный расход кремния составляет $4,66 \times 10^{-3}$ кг/Вт (последняя колонка).

Отсюда следует, что внедрение фотоэлектрических преобразователь с вертикальным *p-n*-переходом, состоящего из последовательно соединенных микроэлементов, при их трехсторонне-освещенном случае достигается в 2,7 раз увеличение экономической эффективности. Или, в отношение расхода материала для получения таких энергетических устройств можно достигать сокращение расхода в столько же раз.

Самое важное заключается в том, что именно такой подход позволяет получать высокие напряжения из малой площади. Такой результат недостижим при использовании промышленных фотоэлектрических преобразователь с горизонтальным *p-n*-переходом.

Заключения. Экспериментально показана производственная применимость концепции создания многосторонне чувствительных кремниевых фотоэлектрических структур путем эффективного перенаправления падающего на кристалл света с широким спектральным диапазоном, позволяющая до трех раз увеличить выходную мощность фотоэлектрической энергии или до трех раз сократить расход материала для изготовления структур.

Предложены пути использования поли- и мультикриSTALLических пластин кремния в качестве базового материала для изготовления высоковольтных структур с вертикальным *p-n*-переходом и установлено, что при перпендикулярной ориентации границ зерен к фронту *p-n*-перехода достигается существенное расширение спектральной чувствительности, следовательно, увеличение эффективности в 1,07 ÷ 1,19 раз.

Впервые научно обоснована и разработана новая конструкция трехсторонне-чувствительного высоковольтного кремниевого фотоэлектрического преобразователя энергии с горизонтальным и вертикальным *p-n*-переходом, определены их основные характеристики.

Определены особенности фотоэлектрических характеристик двух- и многосторонне чувствительных кремниевых *p-n*-структур, а также влияния на них вариации температуры

и освещенности, позволяющие рекомендовать условия широкофункционального внедрения разработанных структур для преобразования концентрированного излучения. Количество электроэнергии, выделяемой солнечными элементами на основе кремния, увеличивалось с увеличением их поверхности освещения. За счет этого концентрация фотогенерированных электронов и дырок в нем увеличивается. Когда поверхность освещения увеличивается, это в основном влияет на ток короткого замыкания. Напряжение холостого хода практически не меняется. Желательно изготавливать и использовать в промышленности высоковольтные фотоэлектрические генераторы на основе трехсторонних чувствительных солнечных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. A. Mardani, A. Jusoh, E. K. Zavadskas, F. Cavallaro, and Z. Khalifah, "Sustainable and Renewable Energy: An Overview of the Application of Multiple Criteria Decision Making Techniques and Approaches," *Sustainability* 2015, Vol. 7, Pages 13947-13984, vol. 7, no. 10, pp. 13947–13984, Oct. 2015, doi: 10.3390/SU71013947.
- [2]. P. Fath, S. Keller, P. Winter, W. Jooß, and W. Herbst, "Status and perspective of crystalline silicon solar cell production," Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 002471–002476, 2009, doi: 10.1109/PVSC.2009.5411274.
- [3]. Р.Алиев "Разработка и характеристики кремниевых фотоэлектрических модулей с вертикальными *p-n*-структурами". // Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Труды международной конференции посвященной 70-летию физико-технического института нпо «физика-солнце», 2013, 73-75 стр.
- [4]. Алиев Р., Гуломов Ж., Мирзаалимов Н., Абдувохидов М., Урмонов Б., Мирзаалимов А., Матбобоева С., Абдуазимов В. Полупроводниковый фотоэлектрический преобразователь. Патент РУз № FAP 01806 от 19.11.2020.
- [5]. Алиев Р., Мухтаров Э., Мирзаалимов А. Солнечный генератор. Патент РУз № FAP 00623 от 23.05.2011.
- [6]. Алиев Р., Мирзаалимов А., Алиев С. Разработка и некоторые фотоэлектрические параметры кремниевого солнечного генератора с вертикальными *p-n*-переходами // *Applied Solar Energy - USA*. 2013- Vol.49, №2. - pp. 59-61.
- [7]. Полупроводниковый фотоэлектрический генератор. Авторское свидетельство СССР №288163, МПК H 01 L. 1968.
- [8]. J. Gulomov, R. Aliev, N. Mirzaalimov, B. Rashidov, J. Alieva Study of Mono- and Polycrystalline Silicon Solar Cells with Various Shapes for Photovoltaic Device with 3D Format: Experiment and Simulation // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. Volume 14 (2022 Year), No.5, pp. 05012-1 - 05012-8.
- [9]. Mirzaalimov A., Aliev R., Mirzaalimov N., Gulomov J. Simulation photoelectric parameters of vertical junction solar cells // *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. Volume 10, №.2, March - April 2021. 543-548. (№14).
- [10]. Мирзаалимов А.А., Гуломов Ж.Ж., Абдувохидов М.К. Создание фотоэлектроэнергетических устройств нового поколения с высокоеффективной кремниевой базой // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2020. 6(75), 3-часть. С. 87-89. (№35).