

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 13086

(13) U

(46) 2022.12.30

(51) МПК

H 01L 31/04 (2014.01)

(54) ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ДВУСТОРОННЕЙ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

(21) Номер заявки: u 20220101

(22) 2022.04.29

(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный уни-
верситет информатики и радиоэлек-
троники" (ВУ)

(72) Авторы: Василевич Владимир Павлович;
Збышинская Мария Евгеньевна (ВУ)

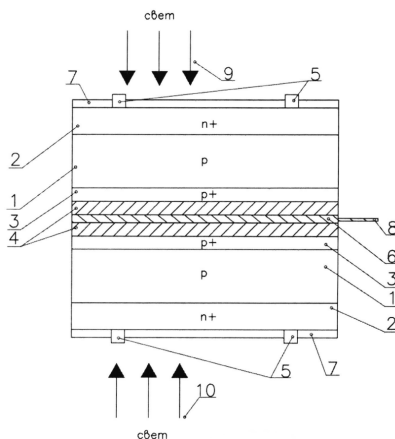
(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Белорусский государствен-
ный университет информатики и
радиоэлектроники" (ВУ)

(57)

1. Фотоэлектрический преобразователь с двусторонней светочувствительностью, содержащий два идентичных солнечных элемента, освещаемые стороны которых ориентированы в противоположных направлениях, при этом оба солнечных элемента смонтированы на общем проводящем тыльном контакте, имеющем внешний металлический вывод, **отличающийся** тем, что базовые области солнечных элементов выполнены на основе кристаллического кремния р-типа проводимости, содержат гомогенные n^+ -р-переходы, просветляющие пленки из оксида тантала Ta_2O_5 и металлические контактные сетки на освещаемых сторонах, изотипные p - p^+ -переходы и сплошные металлические контакты на тыльных сторонах.

2. Фотоэлектрический преобразователь с двусторонней светочувствительностью по п. 1, **отличающийся** тем, что металлические контактные сетки на освещаемых сторонах и сплошные металлические контакты на тыльных сторонах выполнены из химически осажденного на кремний никеля, покрытого слоем припоя.

3. Фотоэлектрический преобразователь с двусторонней светочувствительностью по п. 1, **отличающийся** тем, что тыльные стороны элементов совмещены, а их металлические контакты припаяны друг к другу и к внешнему металлическому выводу.



Фиг. 1

ВУ 13086 U 2022.12.30

(56)

1. CUEVAS A. The early history of bifacial solar cells. Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, June 6, 2005, p. 801-805, ISBN: 3936338191.

2. © SANYO Energy (U.S.A.) Corp. All Rights Reserved. 9/1/2008. Найдено на [https://www.nahbclassic.org/fileUpload-details.aspx?fromIBS=1&contentTypeID=3&contentID=106787&subContentID=641319].

3. Bifacial solar photovoltaic modules, Program on Technology Innovation. PrismSolarTechnologies, Inc. September 2016. Найдено на [https://static1.squarespace.com/static/57a12f5729687f4a21ab938d/t/5903c8f9d482e95dce5900f3/1493420284912/EPRI.pdf].

4. PHOTON International 2008-05 May, p. 83.

5. RU 2432639, 2011.

6. RU 2531768, 2014.

Полезная модель относится к конструкции оптоэлектронных приборов, а именно полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей энергии оптического излучения в электрическую энергию, и может быть использована для производства высокоэффективных солнечных батарей, а также в качестве датчика для мониторинга интенсивности суммарного солнечного оптического излучения, включая его прямую, рассеянную и отраженную (альбедо) составляющие.

Фотоэлектрические преобразователи с двусторонней светочувствительностью (двусторонние ФЭП), то есть устройства, которые могут принимать солнечный свет с обеих поверхностей и эффективно преобразовывать его в электроэнергию, были изобретены в 1960 г., а их промышленный образец был представлен в 1977 г. на первой Европейской конференции по фотовольтаике (PV-индустрии) в Люксембурге и обладал КПД около 7 % [1].

Положительный результат от использования двусторонних ФЭП достигается при особой конструкции PV-модулей и особых условиях их инсталляции. Плоские фотоэлектрические модули, изготовленные из двусторонних ФЭП, могут обеспечить значительно повышенную выходную мощность благодаря сбору отраженного света (альбедо). В перспективе, как следует из рекламного буклета компании Sanyo [2], для двусторонней конструкции HIT Double модулей предполагается увеличить количество производимой электроэнергии до 30 % больше по сравнению с односторонними HIT Power Sanyo в зависимости от конструкции системы инсталляции, их месторасположения и отражающих свойств подстилающей поверхности. Например, модель модуля HIT Double 200 watt является одной из самых производительных по мощности из коммерчески доступных ФЭП в PV-индустрии. КПД такого ФЭП составляет 21,1 %, мощность на 1 фут² - 19,6 Вт (217 Вт/1 м²) [2].

Двусторонние ФЭП компании Prism Solar имеют голографические планарные концентраторы солнечного излучения, что значительно усложняет их конструкцию [3].

Двусторонние ФЭП корпорации Space Energy имеют КПД 14,75 % на лицевой стороне и 12,25 % на тыльной. Известно, что себестоимость их производства на 30 % выше, чем для традиционных ФЭП [4].

В отличие от традиционных односторонних ФЭП, которые могут использовать только солнечный свет, падающий на фронтальную часть, двусторонние ФЭП [1-4] генерируют энергию с обеих сторон, улавливая значительное количество света, рассеянного облаками и окружающими поверхностями, в то время как в односторонних ФЭП этот дополнительный свет не преобразуется в электричество.

Известна конструкция кремниевого двустороннего ФЭП [5], у которого толщина соизмерима с диффузионной длиной неосновных носителей тока в базовой области, содержащего n^+ -р- или p^+ -n-переход на лицевой стороне, изотипный p -р⁺- или n -n⁺-переход в

базовой области на тыльной стороне, просветляющую пленку и металлическую контактную сетку на лицевой и тыльной сторонах, отличающегося тем, что просветляющая пленка содержит плотность встроенного электрического заряда не менее $1 \cdot 10^{11}$ см⁻², знак которого совпадает со знаком заряда основных носителей тока в прилегающем слое кремния, причем изотипный p-p⁺- или n-p⁺-переход под контактной сеткой выполнен из легированных слоев, а в промежутках контактной сетки из слоев с носителями тока, наведенных встроенным электрическим зарядом.

Общим недостатком приведенных конструкций двухсторонних ФЭП является низкий вклад в генерируемую мощность тыльной стороны преобразователя из-за значительного удаления ее от места разделения носителей тока (электронов и дырок) и высокой вероятности их рекомбинации.

В качестве прототипа предлагаемой полезной модели выбран двусторонний солнечный ФЭП [6], содержащий два идентичных солнечных элемента на основе сенсibilизированных металлооксидных мезоструктур, освещаемые поверхности которых ориентированы в противоположных направлениях, при этом оба солнечных элемента смонтированы на общем проводящем тыльном контакте, имеющем внешний металлический вывод. Основными недостатками данного устройства являются значительные технологические сложности при реализации его на практике и невысокий КПД фотоэлектрического преобразования (до 12,5 %) для интенсивности оптического излучения в коммерчески значимом для солнечной энергетики мощностном диапазоне 200-1000 Вт/м².

Задачей данной полезной модели является повышение вырабатываемой мощности и упрощение технологии изготовления ФЭП.

Сущностью предлагаемой полезной модели ФЭП с двусторонней светочувствительностью, содержащего два идентичных солнечных элемента, освещаемые стороны которых ориентированы в противоположных направлениях, при этом оба солнечных элемента смонтированы на общем проводящем тыльном контакте, имеющем внешний металлический вывод, является то, что базовые области солнечных элементов выполнены на основе кристаллического кремния p-типа проводимости, содержат гомогенные n⁺-p-переходы, просветляющие пленки из оксида тантала Ta₂O₅ и металлические контактные сетки на освещаемых сторонах, изотипные p-p⁺-переходы и металлические контакты на совмещенных тыльных сторонах, при этом тыльные стороны элементов совмещены, их металлические контакты припаяны друг к другу и к внешнему металлическому выводу, а металлические контактные сетки на освещаемых сторонах и контакты на тыльных сторонах выполнены из химически осажденного на кремний никеля, покрытого слоем припоя.

На фиг. 1 представлена конструкция полезной модели ФЭП.

ФЭП с двусторонней светочувствительностью включает в себя два идентичных солнечных элемента, базовые области (1) которых выполнены из кремния p-типа проводимости, легированного бором; эмиттерные области n⁺-типа (2) солнечных элементов, сформированные диффузией фосфора, образуют с базовыми областями гомогенные n⁺-p-переходы; высоколегированные слои p⁺-типа (3), полученные диффузией бора, образуют с базовой областью изотипные p-p⁺-переходы; расположенные на тыльных сторонах солнечных элементов металлические контакты (4) выполнены из химически осажденного на кремний никеля, покрытого слоем припоя; на освещаемых сторонах солнечных элементов металлические контактные сетки (5) выполнены из химически осажденного на кремний никеля, покрытого слоем припоя; паяное соединение тыльных контактов (6); просветляющие пленки из оксида тантала Ta₂O₅ (7) расположены на эмиттерных областях солнечных элементов; внешний металлический вывод (8) из медной фольги, покрытой слоем припоя; прямую и рассеянную составляющие светового потока (9); отраженную составляющую светового потока (10).

ВУ 13086 U 2022.12.30

Технология изготовления двустороннего ФЭП легко реализуется на практике и не включает использования редких и драгоценных металлов.

Значения ширины запрещенной зоны для кремния при температуре 300 К составляет 1,12 эВ, что является приемлемым для поглощения фотонов в спектральном диапазоне длин волн солнечного излучения.

Внешний вид освещаемой поверхности солнечного элемента приведен на фиг. 2.

Заявляемый ФЭП работает в составе электрической схемы, фиг. 3, следующим образом. Устройства устанавливают в местах с повышенной отражательной способностью естественной или искусственно созданной поверхности, при этом одну из светочувствительных сторон ориентируют по направлению на солнце.

Конструкция ФЭП на электрической схеме представлена эквивалентным электрическим соединением базовых областей двух идентичных солнечных элементов с одинаковыми фил-факторами FF, находящимися в различных условиях освещенности ПС (прямой и рассеянный свет) и ОС (отраженный свет). При параллельном подключении двух светопоглощающих сторон и оптимальном сопротивлении нагрузки (R) ФЭП вырабатывает максимальную мощность.

Электрическая схема макета позволяла измерять электрические параметры ФЭП: ток короткого замыкания $I_{кз}$ и напряжение холостого хода $U_{хх}$ фронтальной стороны и обеих сторон при солнечном освещении одновременно, что снижало ошибку их сравнения. Результаты этих измерений приведены в таблице.

Результаты измерений электрических параметров ФЭП

Параметр ФЭП	Фронтальная сторона	Обе стороны
$I_{кз}, А$	1,9	2,3
$U_{хх}, В$	0,558	0,560

Исходя из полученных данных, рассчитаем и сравним получаемую мощность, а также рассчитаем коэффициент повышения мощности:

$$P_1 = U_{хх1} \times I_{кз1} \times FF = 2,3 \times 0,56 \times FF = 1,288 \times FF \text{ Вт};$$

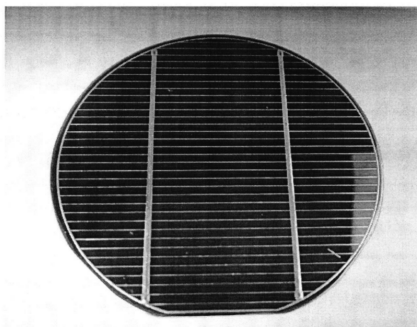
$$P_2 = U_{хх2} \times I_{кз2} \times FF = 1,9 \times 0,588 \times FF = 1,060 \times FF \text{ Вт},$$

где FF - фил-фактор ФЭП.

Коэффициент повышения мощности рассчитывается следующим образом:

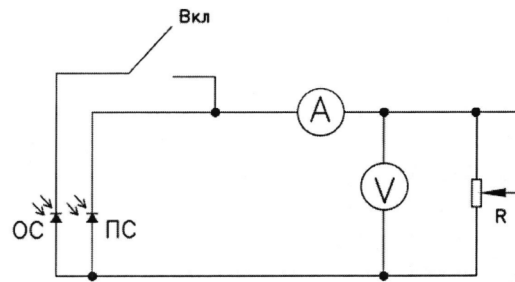
$$K = 100 \% \times FF(P_1 - P_2) / FF \times P_2 = 100 \% \times (1,288 - 1,060) / 1,288 = 100 \% \times 0,215 = 21,5 \%$$

Повышение мощности на 21,5 % доказывает, что предложенная оригинальная конструкция ФЭП с двусторонней светочувствительностью может значительно увеличить продуктивность выработки электроэнергии по сравнению с преобразователем с одной активной стороной.



Фиг. 2

ВУ 13086 U 2022.12.30



Фиг. 3