

Научная статья  
УДК 539.231  
DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-3-53-59

## Разработка теплопреобразователя на основе аномального фотовольтаического эффекта

Каримберди Эгамбердиевич Онаркулов<sup>1</sup>, Разияхон Абдихаликовна Нурдинова<sup>2</sup>,  
Шохжахон Аброрович Юлдашев<sup>3</sup>, Аброр Абдувоситович Юлдашев<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Ферганский государственный университет  
Фергана, Узбекистан

<sup>2</sup>Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий  
Фергана, Узбекистан

<sup>1</sup>konarqulov58@mail.ru

<sup>2</sup>nurdinovar2016@mail.ru

<sup>3</sup>shohjahon6566@mail.ru

<sup>4</sup>abror.yuldashev.70@mail.ru

### Аннотация

В данной статье разработана оптоэлектронная методика, техника и технология получения стабилизированного электрического поля, в основе которого лежат внешние естественные возобновляемые источники различных типов. Предложено устройство, действующее на основе аномального фотовольтаического эффекта (АФН-эффект), когда тепло человеческого тела преобразуется в электрическое поле. Показано, что используя потенциал такого электрического поля, можно разработать индивидуальные, автономно работающие микроминиатюрные оптоэлектронные приборы различного назначения.

### Ключевые слова

АФН-эффект, термоэлектрическое ЭДС, термоэлемент, микроэлектроника, тонкая пленка, теплоноситель, оптоэлектронное устройства, неоднородная поглощения, светоизлучающий диод.

### Для цитирования

Онаркулов К. Э., Нурдинова Р. А., Юлдашев Ш. А., Юлдашев А. А. Разработка теплопреобразователя на основе аномального фотовольтаического эффекта // Сибирский физический журнал. 2022. Т. 17, № 3. С. 53–59.  
DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-3-53-59

## Development of a Heat Converter Based on the Anomalous Photovoltaic Effect

Karimberdi E. Onarkulov<sup>1</sup>, Raziyaikhon A. Nurdinova<sup>2</sup>, Shokhazhon A. Yuldashev<sup>3</sup>,  
Abror A. Yuldashev<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Fergana State University  
Fergana, Uzbekistan

<sup>2</sup>Fergana Branch of the Tashkent University of Information Technologies  
Fergana, Uzbekistan

<sup>1</sup>konarqulov58@mail.ru

<sup>2</sup>nurdinovar2016@mail.ru

<sup>3</sup>shohjahon6566@mail.ru

<sup>4</sup>abror.yuldashev.70@mail.ru

### Abstract

In this article, an optoelectronic method, technique and technology for obtaining a stabilized electric field using external, natural renewable sources of various types has been developed. The proposed device operates on the basis of the

© Онаркулов К. Э., Нурдинова Р. А., Юлдашев Ш. А., Юлдашев А. А., 2022

anomalous photovoltaic effect (AFN effect) where the heat of human body is converted into an electric field. It is shown that using the potential of an electric field it is possible to develop individual, autonomously operating micro-miniature optoelectronic devices for various purposes.

*Keywords*

APV effect, thermoelectric EDS, thermo element, microelectronics, thin film, coolant, optoelectronic device, inhomogeneous absorption, light emitting diode

*For citation*

Onarkulov K. E., Nurdinova R. A., Yuldashev Sh. A., Yuldashev A. A. Development of a Heat Converter Based on the Anomalous Photovoltaic Effect. *Siberian Journal of Physics*, 2022, vol. 17, no. 3, pp. 53–59. DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-3-53-59

## Введение

Использование тепла человеческого тела является очень актуальной задачей. Один из вариантов решения этой задачи предложено в данной работе.

Разработанное нами устройство относится к области теплотехники и оптоэлектронной техники и может быть использовано для получения больших стабилизированных электрических полей. Как известно, человеческое тело для поддержания стабильной температуры каждую секунду излучает определенное количество теплоты. С ее помощью можно получить электрическое поле. Используя такие поля, можно разработать индивидуальные, автономно работающие микроминиатюрные оптоэлектронные приборы бытового и технического назначения. Принцип работы такого прибора связан с возникновением аномально фотовольтаического напряжения в пленках, изготовленных на основе полупроводниковых структур. В настоящее время для производства таких приборов используют следующие материалы: CdTe, GaAs, CuInSe<sub>2</sub> и т. п.

Работа теплопреобразователя (термопреобразователя) основана на использовании термоэлектрических и фотоэлектрических явлений. Электронная теория металлов (полупроводников) объясняет образование термоэлектрического ЭДС при нагреве двух спаянных вместе различных металлов или полупроводников изменением концентрации свободных электронов вследствие разности температур: электроны из более нагретых участков перемещаются к менее нагретым. Согласно этой теории, величина термо-ЭДС определяется по формуле:

$$E_T = \frac{k}{q} \ln \frac{N_A}{N_B} (T_2 - T_1),$$

где  $k$  – постоянная Больцмана, равная  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Джоуль/градус,  $N_A$  и  $N_B$  – число свободных электронов в см<sup>3</sup> материалов, из которых составлен термоэлемент;  $T_1$ ,  $T_2$  – температуры спаев (контактов).

При малых разностях температуры спаев можно считать, что  $E_T = \alpha(T_1 - T_2)$ , где  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий свойство спая двух материалов, который называется коэффициентом термо-ЭДС (мкВ/град). Два спаянных разнородных полупроводника (металла) образуют термоэлемент или термопару. Направление тока в термоэлементе зависит от сочетания материалов, образующих его. Принято считать более положительным тот материал, по направлению к которому идет ток в нагретом слое. Для получения максимального КПД термоэлемента необходимы:

- 1) высокое термо-ЭДС  $\alpha$  для образования в цепи термоэлемента максимального напряжения;
- 2) большая электропроводность  $\sigma$  для уменьшения потерь;
- 3) малая теплопроводность  $\chi$  для сохранения максимальной стабильности температур между холодным и горячим спаями.

С помощью вышеперечисленных параметров определяется эффективность термоэлемента:

$$Z = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)^2}{\left(\sqrt{\frac{\chi_1}{\sigma_1}} - \sqrt{\frac{\chi_2}{\sigma_2}}\right)^2}$$

Если  $\chi_1 = \chi_2$ ,  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ , тогда эффективность термоэлемента определяется по формуле

$$Z = \frac{\sigma \cdot \alpha^2}{\chi}$$

С развитием микроэлектроники стали появляться элементы, рассеивающие значительно меньшие мощности – порядка милливатт, микроватт и нановатт. В связи с этим разработана технология вакуумного испарения различных тонкопленочных термоэлементов [1; 2] с хорошими характеристиками. Удельная теплопроводность этих элементов значительно меньше, в то время как термо-ЭДС больше, чем у известных эффективных элементов, а удельное электрическое сопротивление меньше. Тонкие пленки этих материалов наносились путем испарения в вакууме из танталовых лодочек на хорошо очищенную стеклянную подложку при давлении около  $10^{-3}$  мм. рт. ст. Тщательная регулировка условий напыления и последующий отжиг дали возможность получить тонкие пленки типов *n* и *p* с хорошими термоэлектрическими свойствами. На основе этой технологии были изготовлены тонкопленочные термоэлектрические элементы для теплопреобразователя. В качестве подложки использовано тонкопленочное стекло (или слюда) толщиной 20–25 мкм. Ценность материалов, применяемых при конструировании теплопреобразователя, который основан на использовании термоэлектрического эффекта, определяется величиной эффективности  $Z = \sigma \cdot \alpha^2 / \chi$ . Соединения теллура и селена с различными металлами (например, селениды и теллуриды), обладая почти металлической электропроводностью, дают сравнительно высокую термо-ЭДС.

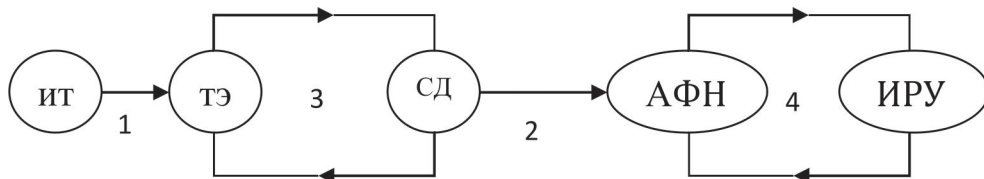
При изготовлении теплопреобразователя подложки из тонкорасщепленной слюды или пленочного стекла тщательно отбирают, нарезают, предварительно обезгаживают и покрывают по краям серебрянными контактами. Тонкопленочные термоэлементы преобразователя можно наносить одновременно или последовательно. Одновременное нанесение элементов удобно, когда температуры испарения обоих материалов преобразователя примерно одинаковы. Готовый теплопреобразователь покрывается защитным лаком.

Для реализации предлагаемого устройства помимо термоэлемента нужен так называемый АФН-элемент, представляющий собой специальную АФН-структуру, обладающую АФН-эффектом [1]. При освещении неоднородного полупроводника могут возникать аномально высокие фотонапряжения (АФН-эффект), превышающие ширину запрещенной зоны соответствующего полупроводника. Эффект объясняется сложением элементарных фотонапряжений при последовательном включении ряда барьеров (или для микрообластей). Этот эффект наблюдается и в квазиоднокристаллических, и в полукристаллических, и в аморфных неоднородных структурах различных полупроводников и диэлектриков. Для всех АФН-структур характерны высокоомность, неоднородность, оптикоанизатропность, супермногослойность и высокая аномальность фотовольтаических свойств. В тонкопленочных структурах АФН-элементов наблюдается неоднородное поглощение света, связанное с неоднородным освещением поверхности пленки.

Для предлагаемого устройства АФН-структура изготавливается в виде тонкой пленки. Технологический режим ее получения зависит от большого числа параметров, таких как: температура испарителя и подложки, угол напыления, толщина пленки, состав и давление остаточных газов в вакуумной камере, условия термической обработки пленок после напыления.

Отметим, что АФН-пленки получаются только при косом напылении на подложку. Между испарителем и подложками в вакуумной камере была установлена шторка, перемещаемая с помощью электромагнитного привода параллельно поверхности источника. Изменяя скорость перемещения шторки и наклон подложки по отношению к оси молекулярного пучка, можно независимо управлять угловой анизотропией напыления и градиентом толщины пленок, получая, в частности, пленки постоянной толщины. При анизотропном напылении достигается оптикоанизотропность поверхности пленки, которая необходима неоднородной освещаемой поверхностной области пленки. В связи с этим наблюдается поверхностно неоднородное поглощение света, вследствие которого мы наблюдаем АФН-эффект [2]. Для создания предлагаемого нами устройства, помимо основных элементов (термо- и АФН-элементы), нужны еще и вспомогательные. Так как устройство работает по оптоэлектронному принципу, в блок схеме преобразователя задействован тепловой блок, электрически связанные блоки и основной оптический блок, работающий за счет фотонного контура (канал). Тепловой блок состоит из источника тепла, среды с высокой теплопроводностью (теплоносителя) и высокочувствительного термоэлемента (термобатареи). Термоэлемент и светодиод составляют электрический контур. На этом электрическом контуре в качестве вспомогательного элемента при необходимости используется согласующее звено. Оптический блок устройства представляет собой элементарный оптрон, состоящий из светодиода и цветоведа АФН-элемента (приемник ОИ), между которыми имеется оптическая связь (при помощи фотона), обеспечивающий электрическую изоляцию между элементами оптоэлектронного устройства.

На рисунке представлена принципиальная блок схема оптоэлектронного теплопреобразователя.



Блок-схема оптоэлектронного теплопреобразователя. ИТ – источник тепла (человеческое тело); 1 – теплоноситель; ТЭ – термоэлемент; СД – светоизлучающий диод; 2 – световод; АФН – фотоприемник генераторного типа; ИРУ – исполнительное рабочее устройство; 3, 4 – соответствующие вспомогательные (согласующие) элементы электрических контуров устройства  
Block diagram of an optoelectronic heat converter. ИТ—heat source (human body); 1—coolant; ТЭ—thermoelement; СД—light emitting diode; 2—light guide; АФН—generator-type photodetector; ИРУ—executive working device; 3, 4—the corresponding auxiliary (matching) elements of the electrical circuits of the device

### Принцип работы устройства

Из источника тепла (ИТ) посредством теплоносителя (1) тепловой поток поступает на термоэлемент (ТЭ). На термоэлементе возникает термоток. Он проходит через электрический контур согласующего звена (3) и через светоизлучающий диод (СД). Последний представляет собой световой генератор с электрическим питанием. В светодиоде электрическая энергия термотока превращается в энергию светового потока. Он в свою очередь при помощи цветоведа (4) поступает на фотоприемник генераторного типа (АФН). Фотоприемник АФН – электрический генератор со световым питанием. При освещении АФН фотоприемник генерирует anomalously высокое фотонапряжение. Такие фотоприемники изготавливаются из оптикоанизотропного полупроводникового материала. Для промышленной реализации проекта можно использовать тонкопленочную вакуумную технологию. Эпитаксиальное выращивание тонкопленочных структур это одностадийный, полностью автоматический процесс. Anomalously вы-

сокое фотонапряжение через электрическую цепь вспомогательных элементов (4) поступает на исполнительное рабочее устройство (ИРУ).

Известны оптоэлектронные устройства для получения электрического поля [3; 4], действующие на основе внешнего источника питания. Основным недостатком таких устройств в цепях ИС и ФП становится сам источник электрического питания. Подобные устройства на основе ИС предложены в работах [5; 6], однако и в них энергонезависимость не обеспечена. Устройства не могут работать автономно.

В работе [7] предложен механизм фотоэлектрического разделения зарядов, который работает на расстояниях 1–2 нм и создает напряжения, значительно превышающие ширину запрещенной зоны. Разделение происходит на не наблюдавшихся ранее наноразмерных ступенях электростатического потенциала, которые естественным образом возникают на стенках сегнетоэлектрических доменов в сложном оксиде  $\text{BiFeO}_3$ . Управление электрическим полем над доменной структурой позволяет изменить полярность фотогальванического эффекта или отключить его. Эта новая степень контроля и создаваемые высокие напряжения могут найти применение в оптоэлектронных устройствах. Предложенные устройства схожи с нашей разработкой, но, согласно работе [7], их автономность так же не обеспечена.

В работе [8] предложен способ изготовления фотогенератора, работающего за счет аномального фотовольтаического эффекта. Однако в этой работе закономерность поглощения, отражения и пропускания света посредством полупроводника не учтено. Поэтому, согласно современной теории фотоэффекта, результаты, предложенные в работе, на практике не реализуются, теория АФН-эффекта отрицает результаты, предложенные в [8].

Основное достоинство и отличие нашего устройства от остальных – использование в качестве источника энергии тепла человеческого тела. С его помощью создаются большие электрические поля. Используя такие устройства можно создать различные миниатюрные приборы индивидуального пользования, не требующие источников электрической энергии.

### Выводы

В спроектированном нами устройстве для получения больших электрических полей через теплоноситель тепло человеческого тела поступает на термоэлектрический элемент, в котором возникает термоэлектрический ток. Этот ток через электрический контур поступает в светоизлучающий диод. Он представляет собой световой генератор с электрическим питанием. Световой поток через оптический канал передается на специальный АФН-фотоприемник, где световой сигнал преобразуется в большой электрический потенциал. АФН-фотоприемник представляет собой электрический генератор с оптическим питанием. В АФН-фотоприемнике первичным процессом является фототок: он проходит через высокоомное сопротивление АФН-фотоприемника из аномально высокого фотонапряжения. Поэтому АФН-фотоприемник как источник высокого напряжения работает только на высокоомную диэлектрическую нагрузку. Соответственно, она является источником больших электрических полей. Сила тока в АФН-фотоприемниках составляет порядка  $< 10^{-10}$  А.

### Список литературы

1. **Найманбоев Р., Собиров С. С., Нурдинова Р. А., Тохиров М.** О природе АФН-эффекта в полупроводниковых пленках теллурида меди и индия // *Uzbek Journal of Physics*, 2012. Т. 14, № 5, 6. С. 311–315.
2. **Касимахунова А. М., Найманбаев Р., Нурдинова Р. А., Мамадалиева Л. К., Олимов Ш. А.** Исследования некоторых явлений в АФН-структурах с изовалентными примесями для разработки приборов и устройств для неразрушающего контроля и измерения // *Computational nanotechnology*, 2018. № 2. С. 72–76.



3. **Касимахунова А. М., Найманбаев Р., Нурдинова Р. А., Мамадалиева Л. К., Олимов Ш. А.** Квантовый генератор с оптическим питанием. Авторское свидетельство № ЕС-01-001725. Германия, 2018.
4. **Матбабаева Ш. М. и др.** Фотопроводимость пленок из CdTe:V:Ag с аномальным фотовольтаическим свойством // ФерПИ, НТЖ, 2002. № 4. С. 7–14.
5. **Мирзаева З. И., Набиев Г. А., Эргашов К. М.** Фотоэлектрическое состояние без внешнего поляризующего поля в однородных полупроводниках // ФИП, 2008. Т. 6, № 1–2. С. 65–69.
6. **Козлов В. Л.** Оптоэлектронные датчики. Минск, БГУ, 2005.
7. **Yang J., Seidel S., Byrnes J., Shafer P., Yang C.-H., Rossell M. D., Yu P., Chu Y.-H.** Above-bandgap voltages from ferroelectric photovoltaic devices. 2009. P. 451. doi: 10.1038/nnano
8. **Рахимов Н.Р.** Способ получения фотогенераторов. Патент Республики Узбекистан № IAR 02610, 2005.

#### References

1. **Najmanboev R., Sobirov S. S., Nurdinova R. A., Tohirov M.** On the Nature of the APV Effect in Copper and Indium Telluride Semiconductor Films. *Uzbek Journal of Physics*, 2012, vol. 14, no. 5, 6, pp. 311–315. (in Russ.)
2. **Kasimahunova A. M., Najmanbaev R., Mamadalieva L. K., Nurdinova R. A., Olimov Sh. A.** Investigations of some phenomena in APV-structures with isovalent impurities for the development of instruments and devices for non-destructive testing and measurement. *Computational nanotechnology*, 2018, no. 2, pp. 72–75. (in Russ.)
3. **Kasimahunova A. M., Najmanbaev R., Nurdinova R. A., Mamadalieva L. K., Olimov Sh. A.** Optical powered quantum generator. License no. ES-01-001725. Germany, 2018.
4. **Matbabaeva Sh. M. et al.** Photoconductivity of films made of CdTe: B: Ar with anomalous photovoltaic property. *FerPI*, 2002, no. 4. p. 7. (in Russ.)
5. **Mirzaeva Z. I., Nabiev G. A., Ergashov K. M.** Photoelectric state without an external polarizing field in homogeneous semiconductors. *FIP*, 2008, vol. 6, no. 1–2, pp. 65–69 (in Russ.)
6. **Kozlov V. L.** Optoelectronic sensors. Minck, BSU, 2005, p.116. (in Russ.)
7. **Yang J., Seidel S., Byrnes J., Shafer P., Yang C.-H., Rossell M. D., Yu P., Chu Y.-H.** Above-bandgap voltages from ferroelectric photovoltaic devices. 2009, p. 451. doi: 10.1038/nnano.
8. **Rahimov N. R.** Method for obtaining photogenerators. Patent of the Uzbekistan Republic no. IAR 02610, 2005. (in Russ.)

#### Информация об авторах

**Онаркулов Каримберди Эгамбердиевич**, профессор Ферганского государственного университета

**Нурдинова Разияхон Абдихаликовна**, доцент Ферганского филиала Ташкентского университета информационных технологий

**Юлдашев Шохжохон Аброрович**, докторант Ферганского государственного университета

**Юлдашев Аброр Абдуситович**, преподаватель Ферганского государственного университета

#### Information about the Authors

**Karimberdi E. Onarkulov**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Fergana State University

**Raziyakhon A. Nurdinova**, Doctor of Philosophy in Engineering Sciences (PhD), Associate Professor, Fergana branch of Tashkent University of Information Technologies

**Shokhzhakhon A. Yuldashev, doctoral candidate**, Fergana State University  
**Abror A. Yuldashev**, university lecturer, Fergana State University

*Статья поступила в редакцию 05.04.2022; одобрена после рецензирования 01.09.2022;  
принята к публикации 01.09.2022*

*The article was submitted 05.04.2022; approved after reviewing 01.09.2022;  
accepted for publication 01.09.2022*