

05;06.2

Фототермоэлектрические преобразователи концентрированного излучения

© А.М. Касымахунова, М. Набиев

Ферганский политехнический институт, Фергана, Республика Узбекистан
Ферганский государственный университет

Поступило в Редакцию 15 октября 2002 г.

Рассмотрены фототермоэлектрические преобразователи (ФТП), предназначенные для энергоснабжения маломощных потребителей электрической энергии.

В фототермоэлектрических преобразователях в качестве фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) использованы высокоэффективные фотоэлементы на основе гетеросистемы $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}-n\text{-GaAs}$ и термоэлектрические материалы на основе тройного сплава $n\text{-BiTeSe}-p\text{-BiTeSb}$. Разработан эффективный ФТП с двухкаскадным ФЭП по сравнению с фототермопреобразователем с однокаскадным ФЭП.

Бурное развитие фотоэлектрической энергетики позволило создать автономные источники электрической энергии, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к первичным преобразователям: высокая чувствительность, быстроедействие, надежность, компактность, экологическая безопасность и неограниченность срока эксплуатации.

Как теоретически, так и экспериментально интересно комбинирование преобразователей световой энергии, с другими устройствами [1,2]. Это объясняется стремлением к эффективному использованию энергии излучения и улучшению коэффициента преобразования.

Действующий фототермоэлектрический преобразователь (ФТП) состоит из следующих основных частей [3]: фотопреобразователь (ФЭП), термопреобразователь (ТЭП) и прокладка, вмонтированная между тыльной стороной ФЭП и горячими спаями ТЭП. ФЭП, предназначенный для работы в условиях концентрированного излучения, дополнительно снабжается охлаждающей системой (холодильником). На практике в конструкции холодильника роль хладагента играет вода. Принцип его работы заключается в следующем: свет падает на

ФЭП и преобразуется в электроэнергию с коэффициентом полезного действия (η_{ph}). Остальная часть световой энергии превращается в тепло и через электроизолирующую, хорошо теплопроводящую керамическую пластинку поступает на горячие спаи термопреобразователя. За счет перепада температур между горячими (T_1) и холодными (T_2) спаями ТЭП тепло, поступающее на T_1 , дополнительно превращается в электроэнергию также с определенным значением к.п.д. (η_{th}).

С целью улучшения эффективности работы ФТП были использованы высокоэффективные гетерофотопреобразователи на основе $Al_xGa_{1-x}As-GaAs$ [4] и кремниевые солнечные элементы. Наиболее эффективный фототермопреобразователь был получен на основе двухкаскадных ФЭП [5].

Разработанный нами прибор, предназначенный для зарядки аккумуляторов легковых автомобилей, именуемый автономным зарядным устройством (АЗУ), состоящим из фототермобатареи (ФТБ), позволяет получать ток вплоть до 8 А. В настоящем приборе предусмотрено использование фотоэлектрического преобразователя на основе гетероперехода $p-Al_xGa_{1-x}As-n-GaAs$.

Эти ФЭП были изготовлены по технологии [4] на основе структур, полученных методом жидкостной эпитаксии. В качестве материала подложки использовался $n-GaAs$, легированный теллуром $(4 \div 5) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Слой твердого раствора $p-Al_xGa_{1-x}As$ легировался цинком и имел толщину $1.5 \mu\text{m}$. В p -слое концентрация носителей тока составляла $\sim 5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, содержание $AlAs$ в твердом растворе $\sim 50 \text{ mol.}\%$. В зависимости от составляющих раствора ширина запрещенной зоны была равна $1.87 \div 2.1 \text{ eV}$. На подложку $n-GaAs$ был нанесен сплошной омический контакт, а освещаемая сторона $p-Al_xGa_{1-x}As$ имела полосковые омические контакты шириной $\sim 1 \mu\text{m}$. Площадь использованных ФЭП лежала в пределах от 1.0 до 2.0 cm^2 .

Аналогично, как в [4], свет с энергией, меньшей ширины запрещенной зоны твердого раствора (E_{g_2}), проходил почти без поглощения до узкозонного полупроводника $n-GaAs$ (E_{g_1}). По-видимому, часть этого излучения с энергией, большей ширины запрещенной зоны $GaAs$, поглощалась в нем и образовывала электронно-дырочные пары, которые разделялись полем $p-n$ -гетероперехода. Эффективная работа этих фотопреобразователей объясняется расширением области максимальной спектральной чувствительности в результате генерации носителей непосредственно в области $p-n$ -перехода. Значение коэффи-

циента разделения Q в интервале энергий $1.5 \div 2.0$ eV близко к единице, что свидетельствует о пренебрежимо малой величине потерь, связанных с рекомбинацией фотоносителей на границе раздела гетероперехода и в объеме до разделения полем перехода. Благодаря этому в интервале энергий $1.5 \div 2.0$ eV наблюдается лишь незначительное уменьшение спектральной чувствительности.

Термоэлектрическая часть ФТБ была изготовлена на основе полупроводниковых материалов тройного состава p -BiTeSb и n -BiTeSe, полученных методом зонного переplava [6]. Эти сплавы обладают высокой термоэлектрической добротностью $Z \sim 3 \cdot 10^{-3} \text{ grad}^{-1}$. Высота ветвей термоэлементов составляла 1.4 mm. Разрезание на полуэлементы осуществлялось на электроэрозионной установке.

На рис. 1 приведены термоэлектрические свойства BiTeSe, использованного в качестве отрицательной ветви, и BiTeSb — в качестве положительной ветви термоэлементов (ТЭ) термопреобразователя. В температурном интервале $20 \div 150^\circ\text{C}$ этот сплав обеспечивает среднее значение добротности $\sim 2.7 \cdot 10^{-3} \text{ grad}^{-1}$.

Экспериментальное исследование электрических и тепловых характеристик ветвей ТЭ фототермопреобразователя с геометрическими размерами: $4 \times 4 \times 0.14$ cm показали, что малая высота ветвей ТЭ приводит к увеличению рабочего тока. Так же растет тепловой поток, поступающий от горячих спаев ТЭП. Поскольку прибор был предназначен для работы в условиях концентрированного излучения, в настоящем техническом решении был предусмотрен интенсивный теплоотвод.

Световое поле концентрированного излучения, падающего на поверхность ФТП, было предварительно профотометрировано. Размер этого поля практически равен размеру фотоприемной площади ($\sim 240 \text{ cm}^2$) фототермопреобразователя. Кратность светового излучения равнялась 20.

В результате лабораторных и натурных испытаний АЗУ установлены следующие технические характеристики устройства:

Напряжение, V	12
Рабочий ток, A	до 8
Габариты, mm	$160 \times 15 \times 160$
Масса, kg, не более	0.5

Помимо этого, разработан фототермопреобразователь [5] с наиболее высокими значениями коэффициента полезного действия (рис. 2). Эта конструкция ФТП отличается от предыдущего наличием двухкаскадного

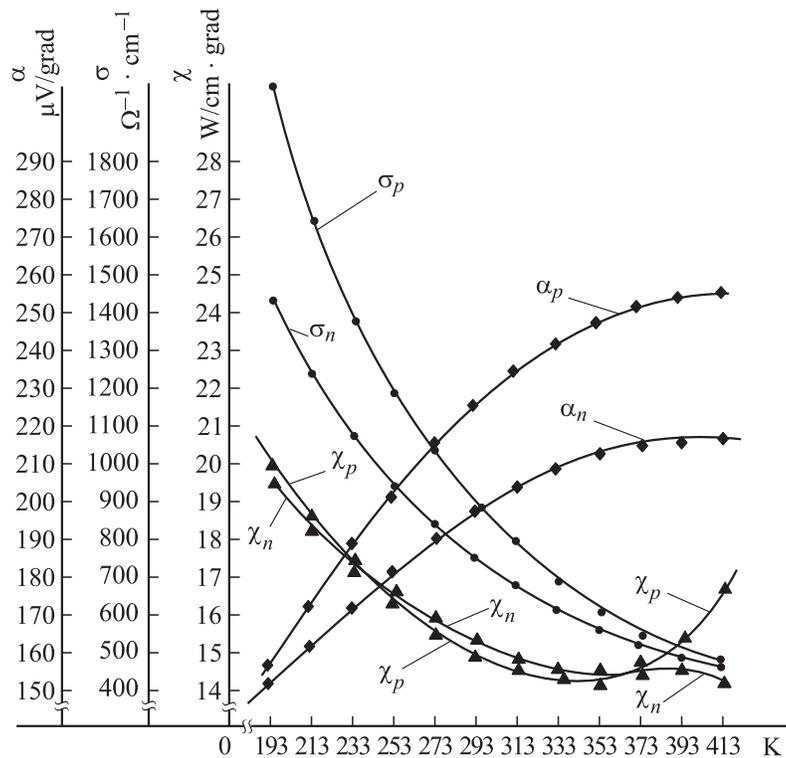


Рис. 1. Температурная зависимость основных электрофизических параметров ветвей термопреобразователя.

фотоэлектрического преобразователя. Экспериментально полученная в натуральных условиях температурная зависимость этого параметра (η_{ph}) показывает, что с ростом температуры сначала медленно (с температурным коэффициентом $\delta = 0.01\%/grad$), а затем быстрее ($\delta = 0.03\%/grad$) падает к.п.д. каскадного фотопреобразователя. Спад к.п.д. ФЭП компенсируется ростом к.п.д. ТЭП, и чем ниже температура холодного спая термопреобразователя, тем выше общий к.п.д. прибора. Следует отметить, что разница между температурой ФЭП и горячих спаев ТЭП не более $2-3^\circ\text{C}$ (рис. 2).

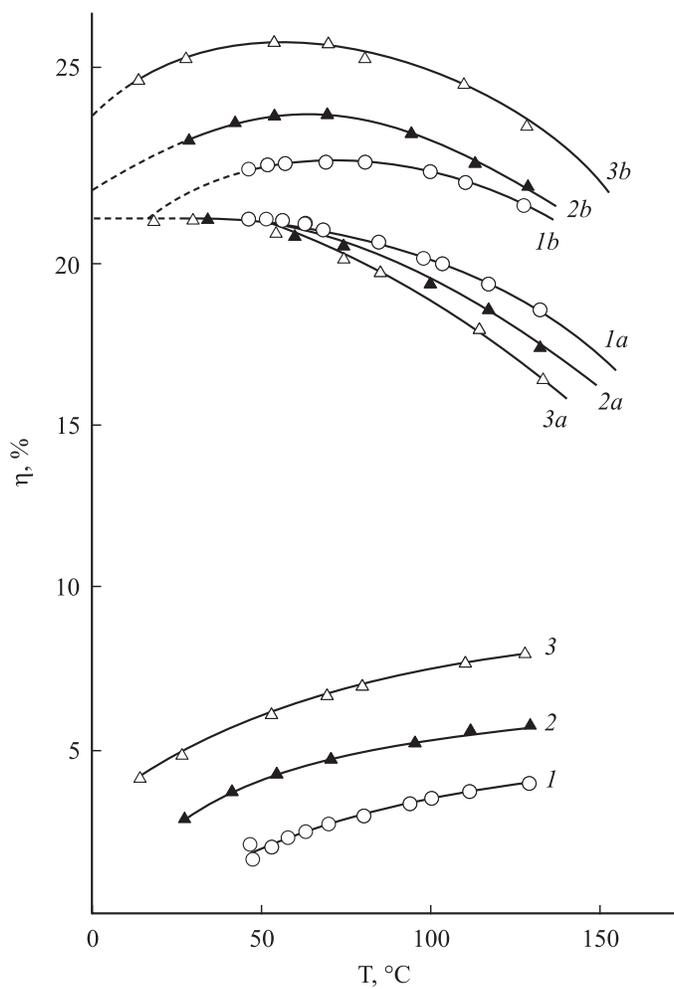


Рис. 2. Зависимость к.п.д. фототермопреобразователя ($1b, 2b, 3b$) с двухкаскадным фотопреобразователем и входящих в нее фото- ($1a, 2a, 3a$) и термопреобразователя ($1, 2, 3$) от температуры ФЭП ($1a, 2a, 3a$) и T_1 . Температура холодного спая соответственно: $+20^\circ\text{C}$ — $1, 1a, 1b$; -20°C — $2, 2a, 2b$ и -60°C — $3, 3a, 3b$.

В целом фототермоэлектрические преобразователи с использованием высокоэффективных фотоэлектрических и термоэлектрических преобразователей можно применять в малой энергетике в качестве автономных источников электрической энергии для энергопитания потребителей, отдаленных от линий электропередачи и традиционных источников электроэнергии. Следует отметить, что применение этих ФТП открывает возможности разработки экономически выгодных по сравнению с фотоэлектрическими преобразователями компактных маломощных источников электрической энергии для потребителей, а также для контроля отдельных физических параметров.

Список литературы

- [1] Колтун М.М., Гаврилова И.П. // Гелиотехника. 1978. С. 3–12.
- [2] Адамович А.Б., Горшенин В.А. Термофотоэлектрический преобразователь. Патент РФ, 95113632. 1997.08.27.
- [3] Иорданишвили Е., Касымахунова А.М., Гафуров Х.У. // Гелиотехника. 1985. № 1. С. 14–18.
- [4] Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Каган М.Б. и др. // ФТП. 1970. Т. 4. В. 12. С. 2378.
- [5] Жабборов Т.К., Касымахунова А.М., Олимов Х., Камолов А. Фото-термоэлектрический преобразователь. Предварительный патент РУз. IDP 2002 04 14 от 04.07.2002.
- [6] Гольцман Б.М., Кудинов В.А., Смирнов И.А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 . М.: Наука, 1972.