

Д. т. н. А. А. АЩЕУЛОВ, к. ф.-м. н. В. Г. ОХРЕМ

Украина, г. Черновцы, Институт термоэлектричества
E-mail: anatyshuk@ite.cv.ua

Дата поступления в редакцию
20.10 2003 г.

Оппонент д. т. н. А. А. ДРУЖИНИН
(НУ "Львовская политехника")

РАДИАЦИОННЫЙ АНИЗОТРОПНЫЙ ОПТИКОТЕРМОЭЛЕМЕНТ С БОКОВЫМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЕМ

Предложены выражения для расчета характеристик и конструкция приемника, не искажающего амплитудно-фазовые характеристики проходящего лучистого потока.

В настоящее время для регистрации лучистых потоков используются анизотропные оптикотермоэлементы (АОТ) [1—3]. На их основе созданы приемники лучистой энергии проходящего типа, содержащие оптически прозрачные теплоотводы, к которым с помощью клеевой диэлектрической прослойки прикреплается АОТ [4—7]. Такой теплоотвод, обеспечивая надежный съем отработанного в термоэлементе тепла, приводит, тем не менее, к значительному искажению амплитудно-фазовых характеристик проходящего лучистого потока, ограничивая тем самым энергетические и временные характеристики приемников. Поэтому задача создания такой конструкции приемника, которая была бы лишена указанных недостатков, является актуальной.

В настоящей статье предлагается конструкция радиационного приемника лучистой энергии на основе АОТ с боковым теплообменом и приведены его основные характеристики.

Рассмотрим АОТ, который выполнен из оптически прозрачного в заданном спектре частот термоэлектрически-анизотропного материала в виде круглого цилиндра радиусом a и высотой b с термостатированной при температуре T_0 боковой поверхностью (рис. 1). Кристаллографические оси с максимальной и минимальной термо-эдс расположены в плоскости (x, y) . Направление кристаллографической оси (на рис. 1 показано штриховкой) выбирается так, чтобы величина поперечной термо-эдс была максимальной [7].

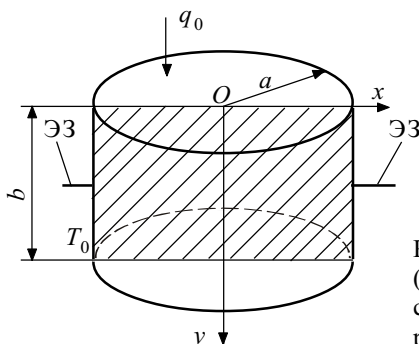


Рис. 1. Схема АОТ (ЭЗ — электрические зонды для измерения термо-эдс)

Пренебрегая отражением падающего монохроматического лучистого потока q_0 на границах АОТ ($y=0$ и $y=b$), представим обобщенное уравнение теплопроводности с учетом закона Бугера—Ламберта в следующем виде:

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{q_0\gamma}{\chi} e^{-\gamma y} = 0, \quad (1)$$

где χ, γ — коэффициенты теплопроводности и поглощения, соответственно, которые считаются постоянными.

Это уравнение справедливо для любого сечения (x, y) , поскольку χ изотропно. В такой постановке изотермические линии для каждой из плоскостей $y=\text{const}$ — концентрические окружности. Третий член в (1) отражает наличие источника тепла [1, 2].

Уравнение (1) необходимо рассматривать совместно с граничными условиями

$$T(-a, y) = T(a, y) = T_0; \quad (2)$$

$$\frac{dT(x, 0)}{dy} = \frac{dT(x, b)}{dy} = 0. \quad (3)$$

Условия (3) вытекают из требований непрерывности теплового потока на границах ($y=0$ и $y=b$).

Запишем решение уравнения (1) в виде разложения в ряд Фурье:

$$T(x, y) = T_0 + f_0(x) + \sum_{n=1}^{\infty} f_n(x) \cos(\delta_n y), \quad (4)$$

где $\delta_n = n\pi/b, f_0$ — нулевой член разложения.

Подставив (4) в (1), получим:

$$f_0''(x) + C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (f_n''(x) - \delta_n^2 f_n(x) + C_n) \cos(\delta_n y) = 0, \quad (5)$$

где C_0, C_n — коэффициенты разложения в ряд Фурье по косинусам функции $(q_0\gamma/\chi)\exp(-\gamma y)$, которые имеют вид:

$$C_0 = \frac{2q_0\gamma}{\gamma b} (1 - e^{-\gamma b});$$

$$C_n = \frac{2q_0\gamma}{\chi b} \frac{1}{\gamma^2 + \delta_n^2} [\gamma - e^{-\gamma b} (\gamma \cos(\delta_n b) - \delta_n \sin(\delta_n b))], \quad n \geq 1.$$

Выберем $f_0(x)$ и $f_n(x)$ так (см. (5)):

$$f_0''(x) + C_0 = 0;$$

$$f_n''(x) - \delta_n^2 f_n(x) + C_n = 0.$$

Материал	Область оптического пропускания, λ , мкм	Коэффициент оптического поглощения, γ , см ⁻¹	Коэффициент поперечной термо-эдс, $\Delta\alpha$, мкВ/К	Коэффициент теплопроводности, χ , Вт/(см·К)	Коэффициент электропроводности, σ , (Ом·см) ⁻¹
CdSb	2,6—40,0	0,1—0,3	100—300	$1,5 \cdot 10^{-2}$	0,3
ZnSb	2,4—27,0	0,4—0,8	100—200	$1,1 \cdot 10^{-2}$	1,5
CdAs ₂	1,25—16,0	0,5—1,0	250—450	$3 \cdot 10^{-2}$	0,03
ZnAs ₂	1,36—21,0	0,8—1,2	180—360	$6 \cdot 10^{-2}$	0,01
CdS	0,5—18,0	0,2—0,8	120—220	$2 \cdot 10^{-1}$	0,6

Из этих двух уравнений получим

$$\bar{f}_n(x) = \frac{C_n}{\delta_n^2} + A_n e^{\delta_n x} + B_n e^{-\delta_n x}; \quad (6)$$

$$\bar{f}_0(x) = -\frac{1}{2} C_0 x^2 + Gx + F, \quad (7)$$

где A_n, B_n, G, F — постоянные интегрирования.

Используя граничные условия (2) и выражения (4), (6), (7), запишем:

$$\frac{C_n}{\delta_n^2} + A_n e^{\delta_n a} + B_n e^{-\delta_n a} = 0;$$

$$\frac{C_n}{\delta_n^2} + A_n e^{-\delta_n a} + B_n e^{\delta_n a} = 0;$$

$$-\frac{1}{2} C_0 a^2 - Ga + F = 0;$$

$$-\frac{1}{2} C_0 a^2 + Ga + F = 0.$$

Из первых двух уравнений найдем:

$$A_n = B_n = -\frac{C_n}{\delta_n^2} \frac{1}{2\text{ch}(\delta_n a)},$$

из последних двух —

$$G=0, F=C_0 a^2/2.$$

Таким образом, распределение температуры будет следующим:

$$T(x, y) = T_0 + \frac{1}{2} C_0 (a^2 - x^2) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{C_n}{\delta_n^2} \frac{\text{ch}(\delta_n a) - \text{ch}(\delta_n x)}{\text{ch}(\delta_n a)} \cos(\delta_n y).$$

Разность потенциалов между точками с координатами $(a, b/2)$ и $(-a, b/2)$ (зонды на рис. 1) составляет величину

$$\Delta\phi = 2\alpha_{12} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{C_n}{\delta_n^2} \left(\delta_n a - \frac{\text{sh}(\delta_n a)}{\text{ch}(\delta_n a)} \right) \sin \frac{\delta_n b}{2}.$$

Здесь α_{12} — коэффициент термо-эдс.

Подставив вместо C_n и δ_n их значения, запишем:

$$\Delta\phi = \frac{4\alpha_{12} q_0 \gamma^2 b^2}{\pi^2 \chi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n e^{-\gamma b}}{n^2 (\pi^2 + b^2 \gamma^2)} \frac{\pi a \text{ch} \frac{\pi a}{b} - b \text{sh} \frac{\pi a}{b}}{\text{ch} \frac{\pi a}{b}} \sin \frac{\pi b}{2}.$$

Разность потенциалов $\Delta\phi$ представляет собой термо-эдс, которая обусловлена наличием лучистого теплового потока.

В случае использования рассматриваемого АОТ в качестве датчика приемника проходящей мощности при условиях $a > b, \gamma b \ll 1$ с большой точностью можно записать, что

$$\Delta\phi = \frac{8}{\pi} \frac{\alpha_{12}}{\chi} q_0 a (\gamma b)^2.$$

Теперь можем записать выражения для расчета характеристик данного приемника:

— вольт-ваттная чувствительность

$$S = 8 \cdot 10^{-2} \alpha_{12} \gamma^2 b^2 (\chi a)^{-1};$$

— мощность эквивалентного шума

$$MЭШ = 2,5 \cdot 10^{-2} \chi a (\alpha_{12} \gamma)^{-1} (k_0 T \sigma b);$$

— постоянная времени

$$\tau = 4a^2 (\pi a_0)^{-1};$$

— максимальная плотность контролируемой энергии

$$q_{\max} = 2\Delta T \chi (\gamma a^2)^{-1}.$$

В приведенных выражениях k_0 — постоянная Стефана—Больцмана; $\Delta T, a_0, \sigma$ — допустимая температура перегрева, коэффициенты температуропроводности и электропроводности материала АОТ, соответственно.

В таблице приведены параметры оптически прозрачных материалов, обладающих анизотропией коэффициента термо-эдс при температуре 300 К [4].

На основе этих материалов созданы различные конструкции стабильных во времени анизотропных термоэлектрических приемников проходящего типа с

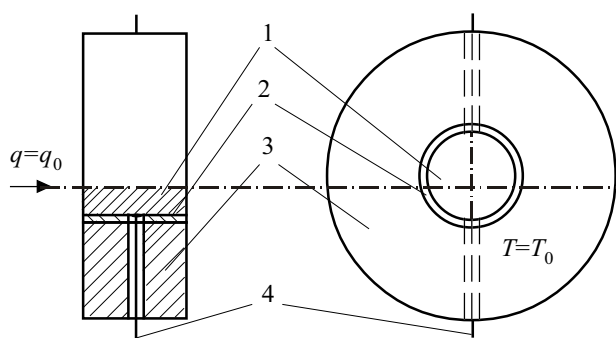


Рис. 2. Приемник теплового излучения на основе АОТ с боковым теплоотводом:

1 — АОТ; 2 — теплопроводящее электроизоляционное кольцо; 3 — термостат; 4 — электровыводы

вольт-ваттной чувствительностью $S=10^{-6}...10^{-3} \text{ В/Вт}$, рабочей площадью $0,1—5,0 \text{ см}^2$ при максимальном значении плотности регистрируемой энергии $q_{\text{max}}=10^{-3}...10^1 \text{ Вт/см}^2$ в широком спектральном диапазоне. Один из вариантов конструкции показан на **рис. 2**. Такой приемник не искажает амплитудно-фазовые характеристики лучистого потока и позволяет одновременно использовать их в качестве фильтра, выходного окна, а при необходимости — в качестве полупрозрачных зеркал оптических резонаторов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ащеулов А. А., Кондратенко В. М., Пилявский Ю. Б., Раренко И. М. Эдс анизотропного термоэлемента в режиме проходной мощности // УФЖ.— 1984.— Т. 29, № 9.— С. 1427—1429.
2. Ащеулов А. А., Кондратенко В. М., Пилявский Ю. Б., Раренко И. М. Эдс анизотропного термоэлемента в режиме оптического пропускания // ФТП.— 1984.— Т. 18, вып. 7.— С. 1330—1331.

3. Ащеулов А. А., Гуцул И. В., Раренко И. М. Анизотропный термоэлемент внутреннего оптического отражения // УФЖ.— 1993.— Т. 38, № 6.— С. 923—927.

4. Ащеулов А. А. Анизотропный радиационный термоэлемент для измерений проходной мощности // Оптико-механическая промышленность.— 1989.— № 12.— С. 48—49.

5. Ащеулов А. А., Гуцул И. В., Раренко И. М. Анизотропный радиационный термоэлемент, действующий в режиме внутреннего отражения // Оптический журнал.— 1993.— № 4.— С. 78—79.

6. Гуцул И. В., Ащеулов А. А., Гуцул В. И. Електроорушійна сила і вольт-ватна чутливість анізотропного оптикотермоелемента при опроміненні бокової грані // Наук. вісник Чернівецького університету.— 2002.— Вип. 132.— С. 70—73.

7. Гуцул І. В., Ащеулов А. А., Гуцул В. І. Особливості розподілу температури, термоелектрорушійної сили і вольт-ватної чутливості анізотропного термоелемента // УФЖ.— 2003.— Т. 48, № 3.— С. 238—243.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ

R L N S 2 0 0 4



ЮБИЛЕЙНАЯ

10-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

РАДИОЛОКАЦИЯ НАВИГАЦИЯ СВЯЗЬ

Общие проблемы передачи и обработки информации.
Цифровая обработка сигналов.
Системы радиосвязи и передачи дискретных сообщений.
Мобильная связь.
Передача изображений.
Радиолокация.
Навигация.
Морская локация и навигация. Гидроакустика.
Методы обработки радиолокационных и навигационных сигналов.
Авиационно-космические радиоэлектронные системы.

Оптические системы и устройства.
Электродинамика, распространение радиоволн, антенны.
Техника СВЧ.
Электромагнитная совместимость.
Радиоэлектронная разведка и радиоэлектронное подавление.
Радиотехнические устройства.
Электроника.
Современные материалы в радиоэлектронике.
Прикладная радиоэлектроника в медицине.
Радиотехнические методы в исследованиях и контроле.

13—15 апреля 2004 г.

Воронеж
РОССИЯ

Osipov@vnicom.comch.ru
rlnc@comch.ru