

К. т. н. Ю. Г. ДОБРОВОЛЬСКИЙ, Б. Г. ШАБАШКЕВИЧ

Украина, г. Черновцы, НПФ «Тензор»
E-mail: td_tenzor@mail.ru

Дата поступления в редакцию
15.09 2008 г.

Оппонент д. т. н. А. А. АЩЕУЛОВ
(Ин-т термоэлектричества НАНУ, г. Черновцы)

АНИЗОТРОПНЫЙ ПРИЕМНИК ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНТИМОНИДА КАДМИЯ

Разработан неселективный анизотропный приемник теплового излучения с диапазоном измерения энергетической освещенности от 10 до 20000 Вт/м², который рекомендован для контроля санитарных норм при аттестации рабочих мест.

Регистрация и измерение неселективных потоков теплового излучения широкого спектра, разнообразной плотности и интенсивности является актуальной задачей твердотельной электроники. Решению этого вопроса способствует создание измерительных средств для оперативной диагностики и регулирования процессов радиационного теплообмена.

Для измерения параметров тепловых потоков широко используются термопарные датчики [1], полостные и плоские преобразователи тепловых потоков [2], однако они отличаются невысокой чувствительностью, большой постоянной времени и недостаточной надежностью.

Широкое применение в качестве датчиков теплового излучения получают приборы и устройства с термоэлектрическим преобразованием, которые превращают тепловую энергию в электрическую [3, 4]. На основе особенностей термоэлектрических явлений в анизотропных средах был предложен принципиально новый тип полупроводникового термоэлемента, названный анизотропным термоэлементом (АТ) [5]. Принцип его работы основан на том, что продольный градиент температуры обуславливает возникновение в нем поперечного термоэлектрического поля, а пропускание электрического тока вызывает поперечный поток тепла.

В настоящее время в технике используются разнообразные приемники тепловых потоков, которые обладают как достоинствами, так и недостатками. В качестве примера можно рассмотреть преобразователь плотности теплового потока ПТП 03 [6], работающий в диапазоне потоков от 0 до 500 Вт/м². Узкий диапазон измерений ограничивает область его применения, так как, например, для контроля интенсивности тепловых потоков на рабочих местах на соответствие санитарным нормам необходимо обеспечивать измерение потоков до 2000 Вт/м².

Одним из лучших отечественных приемников излучения является тонкопленочный термоэлектричес-

кий приемник [7], чувствительным элементом которого служит пленочная термобатарея на подложке и теплоотводе, размещенная в корпусе с входным окном из CaF₂. Приемник регистрирует потоки лучистой энергии с энергетической освещенностью до 1500 Вт/м². К сожалению, сегодня такие приборы в Украине не производятся.

Таким образом, актуальной является задача создания новых и усовершенствования имеющихся неселективных датчиков тепловых потоков, которые смогут удовлетворить требования массовости измерений.

Целью данной статьи является описание результатов разработки и исследования неселективного приемника тепловых потоков, обладающего расширенным диапазоном измерения энергетической освещенности (интенсивности).

Анизотропные термоэлементы используются в качестве датчиков для прямого превращения тепловой энергии в электрическую или наоборот. В первом случае необходимы материалы с высокой термоэлектрической добротностью. Во втором случае высокая термоэлектрическая добротность не всегда обязательна. Это, в частности, подтверждается широким и разнообразным применением металлических термопар в измерительной технике, хотя материалы для них характеризуются чрезвычайно низкой термоэлектрической добротностью.

Эффективным является применение АТ в качестве датчика приемника тепловых потоков, генерируемых разнообразными источниками тепла.

Одним из основных параметров приемника теплового излучения на основе АТ является вольт-ваттная чувствительность S , зависящая как от электро-теплофизических свойств материала АТ, так и от геометрических размеров термоэлементов, из которых складывается приемник — высоты a , длины b и ширины c [8]. Если пренебречь потерями тепла в окружающую среду и считать, что все поглощенное тепло проходит через термоэлемент, получаем

$$S = \gamma \Delta\alpha / (2kc), \quad (1)$$

где γ — интегральный коэффициент поглощения фронтальной поверхности приемника;

$\Delta\alpha$ — коэффициент термо-эдс;

k — удельная теплопроводность материала АТ.

Из формулы видно, что чем уже термоэлемент, тем выше его вольт-ваттная чувствительность. Тогда, учи-

тывая, что S незначительно, но все же зависит от длины АТ и практически не зависит от его высоты, можно считать, что наибольшую чувствительность будет иметь АТ с минимальными размерами b и c при любых значениях a .

Анализ других параметров анизотропных приемников излучения [9] показывает, что они также существенно зависят от геометрических размеров использующихся в них термоэлементов. Например, для регистрации минимальной мощности теплового потока наиболее приемлемым будет АТ, у которого длина b максимальна при минимальных a и c . С увеличением количества термоэлементов в батарее АТ растет вольт-ваттная чувствительность, но растут и тепловые потери через боковые грани. Оптимальной является батарея с количеством термоэлементов от 8 до 10 и высотой 0,5 мм. При этом необходимая термо-эдс на выходе приемника обеспечивается при теплопотерях в пределах 5—6%, определяющих систематическую погрешность радиометра на основе АТ.

Одним из основных материалов для приемников тепловых потоков на основе анизотропных термоэлементов в настоящее время являются монокристаллы антимонида кадмия [10]. Значительные успехи, достигнутые в технологии их производства [11, 12], позволили получать кристаллы с существенной анизотропией коэффициента термо-эдс, которая и определяет чувствительность АТ. Благодаря их использованию диапазон измерений энергетической освещенности (интенсивности) тепловых потоков такими приемниками ограничивается лишь рабочими температурными интервалами измерений.

На рис. 1 приведено схематическое изображение конструкции АТ, разработанного на основе исследований [13], проведенных НПФ «Тензор». Приемник

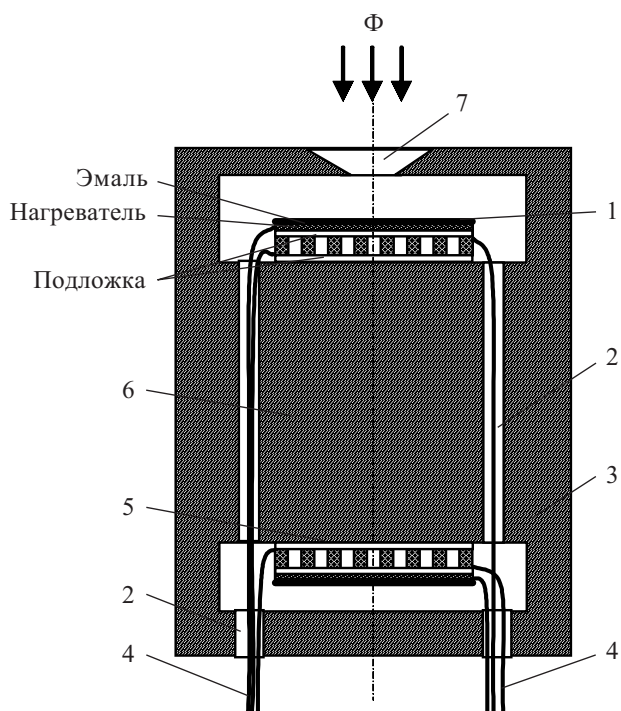


Рис. 1. Схематический разрез приемника теплового потока на основе анизотропного антимонида кадмия

состоит из двух одинаковых батарей 1, 5 на основе АТ, которые включены дифференциально и расположены на общем теплоотводе 6. Приемная площадка верхней батареи покрыта матовой черной эмалью с коэффициентом отражения не более 5%, под которой расположен нагреватель замещения с сопротивлением 50 Ом, напыленный на ситалловую подложку толщиной 0,3 мм. Конструкция нижней батареи АТ аналогична. Обе батареи с помощью электроизолирующего теплопроводного клея закреплены на теплоотводе 6, имеющем тепловой контакт как с корпусом датчика 3, так и с холодными гранями обеих батарей. Поток излучения Φ попадает на приемную площадку через диафрагму 7. Соединение нагревателя замещения и батарей АТ 1, 5 с источником питания и измерительным устройством осуществляется с помощью выводов 4 через отверстия 2 в корпусе и теплоотводе.

В качестве чувствительного элемента в модуле используются батареи из десяти последовательно соединенных термоэлементов на основе CdSb с размерами 6,0×0,5×0,3 мм, что обеспечивает вольт-ваттную чувствительность S до 0,52 В/Вт и угол полного раскрытия до 140°. При этом систематическая погрешность составляет ±6,3%.

Когда тепловой поток Φ через диафрагму попадает на приемную площадку, верхняя батарея 1 генерирует термо-эдс, пропорциональную величине этого потока. С помощью нагревателя замещения величина термо-эдс нижней, затемненной, батареи повышается до величины термо-эдс верхней батареи. При этом величина электрической мощности, выделяемой резистором, соответствует энергетической освещенности, создаваемой потоком Φ , падающим на приемную площадку открытой батареи 1. При диаметре диафрагмы 5 мм приемник потока теплового излучения способен регистрировать интенсивность лучистого потока от 10 до 2000 Вт/м², а при 0,8 мм — до 20000 Вт/м².

Основные параметры и характеристики приемника:

спектральный диапазон чувствительности	0,2—25 мкм;
вольт-ваттная чувствительность	0,3—0,52 В/Вт;
сопротивление	7—20 кОм;
постоянная времени	10—14 с;
коэффициент поглощения эмали (КО-618)	0,97;
диаметр входного окна	5 мм;
апертурный угол	140°.

Определение диапазона измерения энергетической освещенности (интенсивности) анизотропного приемника потока теплового излучения в спектральном диапазоне от 0,2 до 25,0 мкм проводилось с помощью установки поверки средств измерительной техники для измерения энергетической освещенности ИДНМ4.009.00.00, разработанной НПФ «Тензор», схематическое изображение которой приведено на рис. 2 [14]. В качестве рабочих эталонных средств использовались полостные термоэлектрические преобразователи компенсационного типа ПП-1, ПП-2 [15, с. 124—127], предел допустимой относительной погрешности измерения которых при доверительной вероятности 0,95 не превышает 1%.

В ходе работ также были проведены исследования зависимости термо-эдс приемника от температу-

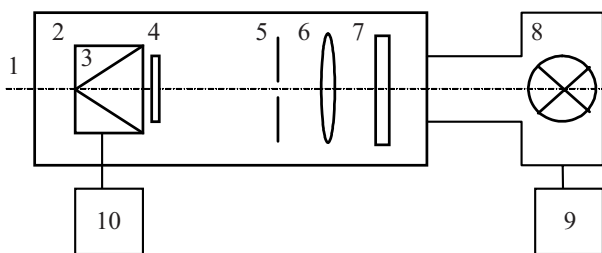


Рис. 2. Блок-схема установки поверки средств измерительной техники для измерения энергетической освещенности: 1 — оптическая ось; 2 — защитная камера; 3 — рабочий эталон (ПП-1, ПП-2 или приемник теплового излучения); 4 — ослабляющий фильтр; 5 — диафрагма; 6 — конденсор; 7 — автоматическая шторка; 8 — блок осветителя с источником типа А (лампа накаливания); 9 — блок питания лампы накаливания; 10 — цифровой вольтметр

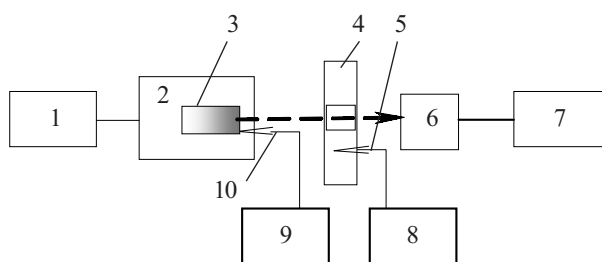


Рис. 3. Блок-схема установки для измерения зависимости энергетической освещенности от температуры: 1 — источник питания излучателя; 2 — печь; 3 — излучатель; 4 — защитный экран с диафрагмой 10 мм; 5, 10 — хромель-алюмелевые термопары; 6 — приемник излучения; 7 — цифровой прибор ЦС 300; 8, 9 — вольтметры В7-35

ры источника излучения. Блок-схема опытной установки приведена на **рис. 3**. Источником теплового потока служила стальная болванка диаметром 30 мм и длиной 40 мм, помещенная в трубную кварцевую печь с резистивным нихромовым нагревателем, температура которого изменялась от 200 до 1000°C. Температура внутри печи контролировалась термопарой, зачеканенной в болванку на глубину 1 мм. Приемник теплового потока (входное окно) размещался на расстоянии 60 мм от болванки, рядом с ним (3 мм от края входного окна) была закреплена термопара для измерения температуры в плоскости приемника. Температура измерялась хромель-алюмелевыми термопарами и пересчитывалась в °C по стандартной методике. Результаты измерений представлены в виде кривой на **рис. 4**, которая характеризуется двумя относительно линейными участками — от 300 до 550—600°C и от 550—600 до 900°C.

Наличие излома этой кривой объясняется смещением Вина [16, с. 122] — максимум спектральной характеристики излучения черного тела как идеального излучателя со сплошным спектром излучения с ростом температуры смещается в область более коротких волн, причем при температуре выше 500°C это смещение происходит интенсивнее, чем в диапазоне до 500°C.

Разработанный анизотропный приемник теплового потока на основе антимонида кадмия внедрен в серийное производство и применяется в радиомет-

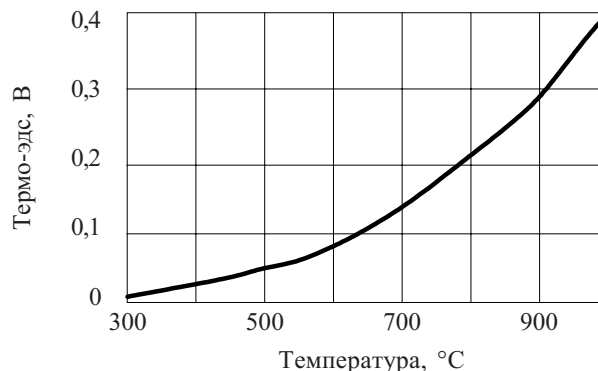


Рис. 4. Зависимость термо-э.д.с. приемника от температуры источника излучения

рах энергетической освещенности типа РАТ-2П [14, 17], который внесен в государственные реестры средств измерительной техники Украины, России, Белоруссии и Казахстана и рекомендован для контроля санитарных норм при аттестации рабочих мест.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Линневег Ф. Измерения температуры в технике. — М.: Металлургия, 1980.
2. Кмито А. А., Скляр Ю. А. Пиргелиометрия. — Л.: Гидрометиздат, 1981.
3. Шоль Ж., Марфан Н., Мюнш М. и др. Приемники инфракрасного излучения. — М.: Мир, 1969.
4. Павлов А. В., Черников А. И. Приемники излучения автоматических устройств. — М.: Энергия, 1974.
5. Анатычук Л. И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник. — Киев.: Наук. думка, 1979.
6. http://www.omsketalon.ru/?action=teplo_potok
7. <http://ite.cv.ukrtel.net>
8. Калюш А. В., Пилат И. М., Шевченко А. Д. Расчет вольт-ваттной чувствительности анизотропных термоэлементов // Тепловые приемники излучения. — Л.: ГОИ, 1984. — С. 37.
9. Пилат И. М., Шабашкевич Б. Г., Деба В. И. Исследования влияния формы на поперечную термо э.д.с. анизотропных термоэлементов // Тепловые приемники излучения. — Л.: ГОИ. — 1980. — С. 65—66.
10. Ащеулов А. А., Воронка Н. К., Маренкин С. Ф., Раренко И. М. Особенности технологии анизотропных термоэлектрических материалов на основе антимонида кадмия // Неорган. мат. — 1996. — Т. 32, № 9. — С. 1049—1060.
11. А. с. 807686 СССР. Способ получения монокристаллов антимонида кадмия / Пилат И. М., Солийчук К. Д., Ветошников В. С., Шевченко А. Д. — 1980. — Бюл. № 10.
12. А. с. 1593301 СССР. Способ получения монокристаллов антимонида кадмия / Ветошников В. С., Гелич А. М., Пилат И. М. — 1990. — Бюл. № 7.
13. Декларационный патент на корисну модель 25458 (Україна). Приймач випромінювання / Шабашкевич Б. Г., Добровольський Ю. Г. — 2007. — Бюл. № 12.
14. Пилат И. М., Шабашкевич Б. Г., Пироженов С. И. и др. Радиометры энергетической освещенности на анизотропных термоэлементах // Оптический журнал. — 2000. — Т. 67, № 3. — С. 83—85.
15. Весельницкий А. П., Игнатъев Ю. Д. Образцовый полостной первичный измерительный преобразователь типа ПП-2 // Фотометрия и ее метрологическое обеспечение. — М.: ВНИИОФИ. — 1991. — С. 124—127.
16. Гессорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. — М.: Мир, 1988.
17. <http://www.tenzor.org.ua>