

**Раренко И.М.¹, Шайко-Шайковский А.Г.², Раренко А.И.¹,
Дремлюженко С.Г.¹, Белов М.Е.³**

¹Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,
ул. Науки, 1, г. Черновцы, 58029, Украина;

²Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича,
ул. Коцюбинского, 2, Черновцы, 58012, Украина;

³VAMP-AT Corporation, ул. Кармелюка, 99, Черновцы, Украина

ПРИБОРЫ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АНИЗОТРОПНЫХ ТЕРМОЭЛЕМЕНТОВ CdSb

Представлены конструкция, принцип работы, физические и технические параметры датчиков для неконтактного измерения температуры различных объектов на основе анизотропных термоэлементов CdSb. Разработан метод синтеза и выращивания чистых и структурно совершенных монокристаллов CdSb для создания анизотропных термоэлементов.

Ключевые слова: измеренная температура, датчики, анизотропные элементы.

The design, functioning principle, physical and technical parameters of the sensors of non-contact temperature measurement of various objects based on CdSb anisotropic thermoelements, are presented. The method of synthesis and growth of pure and structurally perfect CdSb single crystals to construct anisotropic thermoelements on them was developed.

Key words: temperature measurement, sensors, anisotropic elements.

Введение

Во многих измерительных системах слежения, измерения тепловых сигналов, освещенности, в технологических процессах, научных исследованиях необходимы и находят широкое применение приборы, позволяющие проводить измерение сигнала в границах, обусловленных достаточно широким телесным углом. Это обстоятельство, связанное с конструкцией прибора, существенно ограничивает возможности аппаратуры, усложняет и удлиняет исследовательский и измерительный процесс, вынуждает вводить в конструкцию поворотные устройства для измерительного блока, устанавливать несколько таких блоков на одном комплексе. Перечисленные требования к изменению и усложнению конструкции делают ее работу менее точной, снижают надежность, увеличивают габариты и стоимость изделия.

Устройство термоэлектрического измерительного блока для регистрации излучательных сигналов со значением телесного угла измерения в 180°

Материалы и методы

Предпринимаются многочисленные попытки усовершенствовать измерительные системы, повышая, в первую очередь их точность и увеличивая телесный угол, увеличивая чувствительность и другие параметры изделий.

В работе представлена модернизированная авторами конструкция прибора, измеряющего энергетическую освещенность объекта, при этом удалось увеличить угол охвата измеряемого сигнала до 180° .

Модернизация прибора, измеряющего энергетическую освещенность [1], привела к увеличению угла обзора теплового приемника, используемого в приборе. Рассмотрены и проанализированы несколько вариантов конструкций с использованием уже известной и применяемой сейчас для этой цели в тепловых приемниках плоской батареи из анизотропных термоэлементов на основе антимонида кадмия [2]. Для экспериментального определения угла обзора разработан и собран измерительный стенд (рис. 1).

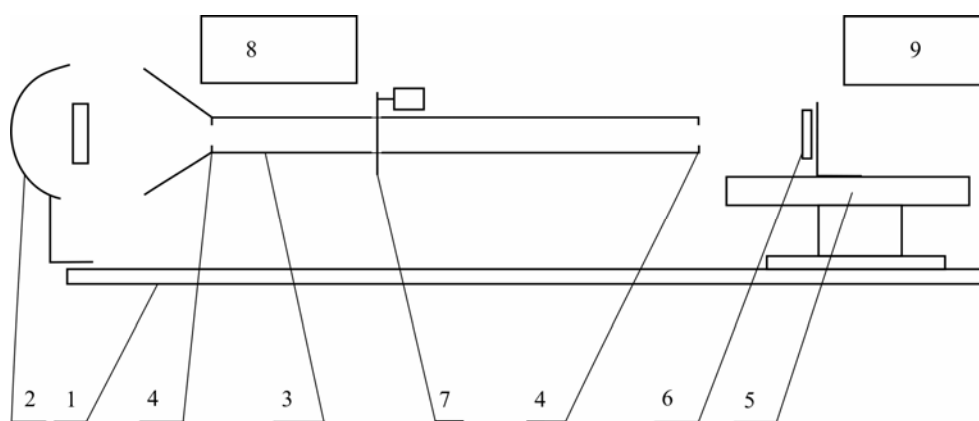


Рис. 1. Измерительный стенд.

Представляющий собой оптическую скамью – 1 на которой расположены: стабилизированный источник теплового излучения – 2; штора, отсекающая излучение – 7; бленды – 4 и световод – 3, ограничивающие диаметр пучка теплового излучения; поворотный столик с угломером – 5, на котором установлен держатель теплового приемника и приемник теплового излучения (ТП) – 6; а так же стабилизатор напряжения теплового излучателя 8, и регистрирующее устройство – 9.

Испытуемый приемник помещался в держатель таким образом, чтобы его приемная площадка располагалась на оптической оси теплового пучка параллельно лучу. В качестве источника теплового излучения применялась открытая нихромовая спираль, навитая в форме конуса. Измерения проводились в естественной среде теплообмена при нормальных условиях следующим способом: после включения и прогрева в течение 2-х минут установки, фиксировали установившееся показание сигнала регистратора, соответствующее фоновому

значению сигнала ТП, затем открывали шторку на время экспозиции, равное 10 секундам, фиксировали установившееся показание регистратора сигнала ТП, соответствующее измеряемому значению теплового потока, после чего шторка закрывалась. Процедура повторялась семь раз. Затем столик с ТП поворачивали на угол 10° , и серия измерений повторялась для вновь установленного угла положения приемной площадки ТП по отношению к падающему тепловому пучку. Полученные результаты приводили к среднему для каждого углового значения и строили соответствующую индикатрису.

Для дальнейшего сопоставления и анализа в качестве испытуемых рассматривали следующие конструкции тепловых приемников.

1. Неселективный приемник теплового излучения (ТП) [3], который представляет собой плоскую батарею из анизотропных термоэлементов (АТ) на основе антимонида кадмия, размещённую в корпусе с плоской крышкой. Входное окно, находящееся в крышке, ограничено диафрагмой, которая расположена на расстоянии 0.5 мм от приемной площадки.
2. Неселективный приемник теплового излучения, аналогичный первому и отличающийся тем, что крышка в этом случае выполнена в виде зеркальной полусферы. Входное окно конструкции закрыто ИК фильтром из монокристалла теллурид кадмия, обеспечивающего полосу пропускания от 0.8 до 20 микрон. Геометрия фильтра соответствовала геометрии косинусной насадки, а приемная площадка теплового приемника была расположена в диаметральной плоскости зеркальной полусферы.
3. Неселективный приемник теплового излучения аналогичный первому, отличающийся тем, что у приемника отсутствует ИК фильтр и внесены определённые конструктивные изменения.

Все тепловые приемники излучения, подвергшиеся испытаниям, имеют вольт-ваттную чувствительность не хуже 0.4 В/Вт. Размер приемной площадки у всех приемников одинаковый и составляет $6 \times 6 \text{ мм}^2$. Геометрические размеры термоэлементов и их число во всех случаях были одинаковыми. В табл. 1 приведены значения выходного сигнала плоского приемника из анизотропных термоэлементов в зависимости от интенсивности падающего на приемную площадку теплового потока.

Таблица 1

*Значения выходного сигнала плоского приёмника в зависимости от
интенсивности теплового потока*

Интенсивность теплового потока, [Вт/мм ²]	0.015	0.084	0.179	0.340	0.612	0.787	0.982	1.187
Выходной сигнал, В	0.0026	0.0210	0.0646	0.1159	0.1802	0.2256	0.2118	0.3058

На рис. 2 показан внешний вид одного из образцов приемников на анизотропных термоэлементах для измерения интенсивности теплового потока, представленных для проведения испытаний.



Рис. 2. Внешний вид приёмника на анизотропных термоэлементах (габаритные размеры 16×16 мм).

Результаты сравнительных испытаний занесены в табл. 2. Для удобства анализа и сравнения характеристик результаты измерений представлены в нормированном виде, (в виде процентного соотношения электрического сигнала в зависимости от угла направления теплового пучка и максимального сигнала, соответствующего нормали к приемной площадке).

Таблица 2

Результаты измерений значения сигнала в зависимости от угла измерения

Нормированное значение электрического сигнала приемника										
Угол °	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Образец 1	0	0	0	1.2	6.6	19.2	41.4	68.9	94.8	100.0
Образец 2	0.1	0.8	1.3	3.9	7.0	21.7	35.9	67.6	83.8	100.0
Образец 3	2.7	12.2	24.0	37.2	48.7	64.5	78.1	88.1	96.8	100.0

Разработанная и предложенная авторами конструкция измерительной головки показала свои высокие эксплуатационные характеристики, возможность осуществлять измерения в широком телесном угле охвата в 180°, чего не обеспечивают первые две конструкции приемников. Конструкция достаточно малогабаритна и в промышленном варианте может быть существенно уменьшена.

Приборы для дистанционного измерения температуры различных объектов на основе анизотропных термоэлементов CdSb

Датчики тепловых потоков на основе анизотропных термоэлементов, аналоги которых использовали для проведения экспериментальных исследований апертурного угла, послужили основой для создания целого ряда контрольно-измерительных приборов и

систем автоматического регулирования технологических процессов. Ниже приведены примеры некоторых из таких устройств.

На рис. 3 представлена измерительная головка специализированного информационно-диагностического комплекса для медицинской диагностики, работа которого базируется на использовании метода динамической теплотрии: бесконтактного дистанционного наблюдения изменения теплового излучения в течение определенного периода времени. В табл. 3 представлены основные технические характеристики разработанной измерительной аппаратуры.



Рис.3. Измерительная головка специализированного информационно-диагностического комплекса для медицинской диагностики.

Таблица 3

Технические характеристики информационно-измерительной аппаратуры

№ п/п	Параметр	Единицы измерения	Значение
1	Приёмник ИК излучения, неохлаждаемый, на основе анизотропных термоэлементов, разрешение, не хуже	В/Вт	0.2 – 0.4
2	Цена деления цифровой шкалы, не хуже	°С	0.05
3	Температура исследуемого объекта	°С	20 – 42
4	Время одной экспозиции	сек	1
5	Время выхода на режим, не более	мин	30
6	Время непрерывной работы, не менее	час	8
7	Температура окружающей среды	°С	10 – 35
8	Относительная влажность воздуха при 25 °С, не более	%	80
9	Рабочая область спектра	мкм	2 ÷ 16

Разработанная аппаратура и методика ее использования предназначены для инструментального обеспечения метода динамической теплотрии. Разработанная аппаратура позволяет бесконтактно получить информацию с каждой точки на исследуемом объекте. С ее помощью, например, можно получить информацию о нарушениях функций какого-либо органа еще до того, как произойдут морфологические изменения, то есть, на самой ранней стадии.



Рис. 4. Радиометр переносной.

Радиометр переносной, рис. 4, для определения температуры на различных участках угледобывающих выработок. Радиометр предназначен для измерения плотности энергии ИК-излучения в диапазоне длин волн $1 \div 25$ мкм, для определения температуры и разности температур в широком интервале:

- температура объекта: $-30 \div + 700$ °С;
- температура окружающего воздуха: от 5 до 60 °С;
- относительная влажность воздуха: не более 90 %;
- атмосферное давление: от 96 до 104 кПа (720 – 780 мм рт.ст.).

Точность определения разности температур: не менее ± 0.1 °С.

Применение прибора в горнодобывающей промышленности позволяет определять возможные и реальные места выхода углекислого газа и газообразных углеводородов, места геологических неоднородностей в забое при проходке, а также определять локализацию эндогенных пожаров в шахтах.

Таблица 4

Технические характеристики радиометра

1	Диапазон измерений плотности теплового излучения объектов	10 – 25000 Вт/м ²
2	Предел допускаемой основной относительной погрешности при отклонении температуры окружающей среды от фиксированной в пределах рабочего диапазона температур	± 0.1 %.
3	Ток потребления радиометра	не более 50 мА.
4	Напряжение электропитания радиометра	9 В
5	Время установления показаний: – в дискретном режиме	10 с
6	Время установления показаний в режиме слежения	1 с
7	Масса прибора	не более 0.6 кг
8	Габаритные размеры	не более 190 × 90 × 50 мм ³ .



Рис. 5. Общий вид радиометра.

Радиометр, рис. 5, предназначен для измерения интенсивности энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0.2 до 25 мкм при нормальных климатических условиях:

- относительная влажность воздуха при 25°С: не более 80 %;
- атмосферное давление: от 96 до 104 кПа (720 – 780 мм рт.ст.).

Фильтр, поставляемый с прибором, обеспечивает пропускание инфракрасного (теплового) излучения на уровне 62 % в полосе 0.8 ÷ 25 мкм.

Таблица 5

Технические характеристики радиометра

1	Диапазон измерений энергетической освещенности	10 ÷ 25000 Вт/м ²
2	Предел допускаемой основной относительной погрешности	не более ± 6 %
3	Предел допускаемой основной относительной погрешности при отклонении температуры окружающей среды от 20°С, в пределах рабочего диапазона температур	± 0.3 %
4	Ток потребления радиометра	Не более 50 мА
5	Напряжение питания радиометра	9 В
6	Время установления показаний	1 с
7	Масса прибора	Не более 0.6 кг
8	Габаритные размеры, не более	190 × 90 × 50 мм ³

Как сам радиометр, так и приборы, основанные на этом принципе, могут быть использованы в технике, медицине, сельском хозяйстве и других областях для измерения плотности потока теплового излучения от нагретых объектов; измерения тепловых потерь в теплоэнергетике, машиностроении, строительстве и т.д.

Выводы

1. Применение прибора в горнодобывающей промышленности позволяет определять выход метана в забое при проходке, определять локализацию эндогенных пожаров в шахтах.
2. В технологических процессах прибор может быть использован как бесконтактный регулятор температуры:
 - при закалке технического стекла на уровень температур 600 ÷ 700 °С, с точностью не менее ± 0.5;
 - при упаковке таблеток и капсул в фармакологической промышленности на уровне 90 ÷ 200 °С, с точностью не менее ± 0.2.
3. В контрольно-измерительной и испытательной аппаратуре в качестве датчиков систем автоматического управления в камерах: солнечной радиации, тепла и холода, влаги с разрешением не менее 8 г воды в 1 м³, дождя и капельного воздействия от капель до тропического ливня.
4. В сельском хозяйстве:
 - в животноводстве;
 - в тепличном хозяйстве.
5. В метеорологии:
 - датчики интенсивности дождя;
 - актинометры.

6. В медицине:

- для неинвазивной функциональной диагностики заболеваний почек, щитовидной железы, легких и др.;
- определения функции плаценты, заживления послеоперационных и раневых швов, и т.д.;
- определения локализации воспалительных процессов, и т.д.

7. В строительстве:

- для выявления зон наибольших реальных теплопотерь через внешние стены и измерения величины этих теплопотерь в ваттах с квадратного метра поверхности;
- для контроля качества теплоизоляции теплопроводов и замера величины теплопотерь с единицы поверхности теплопроводов в ваттах с квадратного метра поверхности;
- для контроля качества теплоизоляционных материалов и строительных элементов по их реальным теплоизоляционным свойствам в единицах плотности теплового потока, т.е. в Вт·м⁻², и пр.

Кроме указанных, возможны и другие, специфические области применения, решаемые путем использования сопутствующих процессу или функции тепловых проявлений.

Литература

1. Радиометры энергетической освещенности на анизотропных термоэлементах./ И.М. Пилат, Б.Г. Шабашкевич, С.И. Пироженко [и др.] // Оптический журнал 67(3), 83 – 85 (2000).
2. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства / Л.И. Анатычук // К.: Наукова думка, 1979 – С. 767.
3. Ащеулов А.А. Оптимизированные материалы на основе антимонида кадмия и их применение. / А.А. Ащеулов, И.М. Раренко, Н.К. Воронка // Термоэлектричество № 3, 73 – 82 (1993).

Поступила в редакцию 17.09.2015.