

Физическая аппаратура и её элементы

УДК 536.521

Промышленные низкотемпературные пирометры спектрального отношения

Н. П. Анисимова, В. Б. Кулагов, Ю. М. Луганский

Рассмотрено использование фотогальванических приемников излучения на основе PbSe и его твердых растворов с целью создания пирометров спектрального отношения (цветовых) для измерения температур в диапазоне +50...+600 °С. Предложены два конструктивных варианта исполнения фотоприемников, обеспечивающих необходимые спектральные и угловые характеристики чувствительности.

PACS: 07.20.Ka

Ключевые слова: пирометры спектрального отношения, средний инфракрасный диапазон, конструкция и характеристики фотоприемников.

Введение

Бесконтактное измерение температуры в промышленности имеет важное значение — информация о тепловых режимах обработки материала позволяет оптимизировать процесс производства как по качеству продукции, так и по энергозатратам. В частности, в металлургии на различных этапах технологического процесса используется нагрев в диапазоне температур от +50 до +3000 °С, определяющий основные физические свойства металлопродукции. Бесконтактное измерение в производственных условиях представляет сложную техническую проблему, особенно при низких значениях измеряемой температуры.

В настоящее время выпускается большой ассортимент приборов дистанционного измерения температуры — пирометров. По принципу действия пирометры подразделяются на два качественно различающихся типа. Первые — измеряют по-

ток инфракрасного излучения нагретого объекта с помощью одного фотоприемника и рассчитывают температуру с учетом закона Стефана-Больцмана. Вторые — измеряют потоки в разных участках спектра двумя фотоприемниками, определяют отношение потоков излучения и рассчитывают температуру с учетом закона смещения Вина. По классификации в ГОСТ 28243-96 [1], к первой группе относятся пирометры частичного и полного излучения, ко второй — пирометры спектрального отношения.

В промышленном производстве пирометры спектрального отношения имеют неоспоримое преимущество, обусловленное их низкой чувствительностью к таким производственным факторам, как дым, пыль, неконтролируемое изменение коэффициента теплового излучения объекта, расстояния до объекта, частичное перекрытие или изменение эффективной площади объекта. Для пирометров первого типа указанные нежелательные факторы приводят к изменению величины потока излучения от объекта, т. е. к искажению показаний пирометра. Заметим, что при этом спектральное распределение излучения и, следовательно, отношение потоков в двух разных спектральных диапазонах остается практически неизменным и определяется только температурой объекта, что говорит в пользу пирометров спектрального отношения.

Среди пирометров спектрального отношения на отечественном рынке известны такие пирометры как С-3000.4, Дизлтест-ТЦ2С, Спектропир 11-М, IMPAC ISQ 5, предназначенные для

Анисимова Наталья Петровна, начальник производственного участка.

Кулагов Вадим Борисович, старший научный сотрудник.
АО «НИИ «ГИРИКОНД».

Россия, 194223, Санкт-Петербург, ул. Курчатова, 10.

Тел. (812) 552-94-35.

E-mail: v-info@yandex.ru ; 21@giricond.ru

Луганский Юрий Михайлович, технический консультант.

Череповецкий металлургический комбинат.

Россия, 162608, Череповец, ул. Мира, 30.

E-mail: y_lug@mail.ru

Статья поступила в редакцию 2 октября 2015 г.

© Анисимова Н. П., Кулагов В. Б., Луганский Ю. М., 2015

измерения температур в диапазоне обычно от +600 до +2500 °С. Диапазон измеряемых температур определяется спектральными характеристиками применяемых фоточувствительных сенсоров. Так, перечисленные пирометры используют кремниевые фотоприемники с двумя спектральными диапазонами, а именно, 0,6—0,9 мкм и 0,9—1,1 мкм. Пирометр IMPAC IGAR12-LO использует фотоприемники на основе твердых растворов InGaAs с чувствительностью на длинах волн 1,28 и 1,65 мкм — его диапазон измерения составляет +300...+2500 °С. В то же время в ряде практических задач существует необходимость дистанционного измерения температур ниже +300 °С, что предполагает использование фотоприемников среднего инфракрасного диапазона с чувствительностью на длинах волн более 2 мкм [2]. Однако в настоящее время можно констатировать недостаточное обеспечение неохлаждаемыми фотоприемниками среднего инфракрасного диапазона, разработанными и предназначенными специально для особо низкотемпературных пирометров спектрального отношения промышленного назначения.

Целью данной работы является рассмотрение возможности использования фотогальванических приемников излучения на основе PbSe и его твердых растворов в интересах создания пирометров спектрального отношения (цветовых) для измерения температур в диапазоне +50...+600 °С.

Фотоприемники на основе PbSe для пирометрии

Перспективными фотоприемниками для бесконтактного измерения температуры являются фотогальванические элементы на основе PbSe и его твердых растворов, производимые АО «НИИ «ГИРИКОНД» [3, 4]. Диапазон спектральной чувствительности фотоприемников на основе PbSe

зависит от концентрации примесей и может иметь следующие значения: 0,9—3,5 мкм (ФЭ722), 0,9—4,2 (ФЭ723), 0,9—4,7 мкм (ФЭ724). С помощью разработанной методики и соответствующих программных средств [5] была отобрана пара фотоприемников (ФЭ722 и ФЭ724) со спектральными характеристиками, наиболее оптимальными для низкотемпературных измерений (рис. 1). Чувствительность выбранных фотоприемников в ближней ИК-области 0,9—1,6 мкм была ограничена германиевыми фильтрами с целью уменьшения влияния излучения, не несущего полезную информацию. Теоретическая градуировочная характеристика пирометра, рассчитанная на основе компьютерного моделирования, представлена на рис. 1. Как видно из графика, примерно до 800 °С сигнал пирометра практически линейно зависит от измеряемой температуры объекта. При температурах объекта более 800 °С также возможно измерение, но с меньшей точностью вследствие уменьшения крутизны градуировочной характеристики.

Кроме заданных спектральных характеристик, фотоприемники пирометров спектрального отношения должны иметь необходимые угловые характеристики чувствительности. Основное требование состоит в том, что в пределах угла обзора чувствительность обоих фотоприемников от угла падения излучения должна изменяться идентичным образом. В противном случае при разных углах падения излучения измерение величин потоков и, как следствие, определение температуры произойдет с погрешностью, которая будет зависеть от пространственного расположения объекта. С целью решения вопроса идентичности угловых характеристик предложено два конструктивных исполнения фотомодуля, включающего фоточувствительные элементы двух спектральных диапазонов.

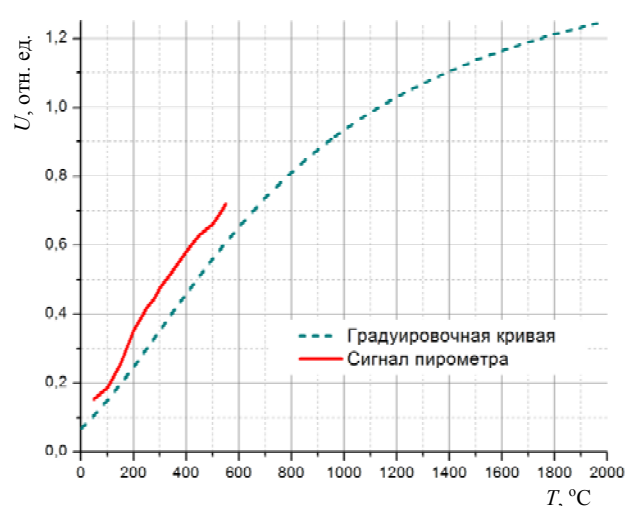
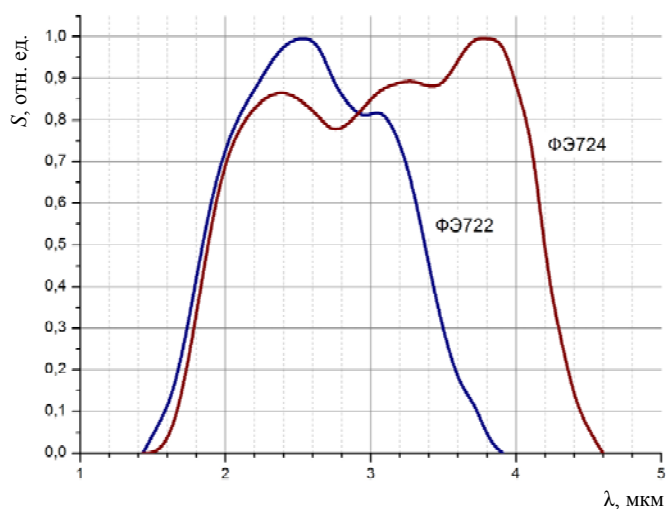


Рис. 1. Спектральная (слева) и градуировочная (справа) характеристики пирометра

Первый вариант фотомодуля представляет собой 10-элементную матричную структуру, в которой 5 пар фотоприемников расположены в виде звезды (рис. 2). С целью увеличения эффективной площади фотоприемник встроен в оптическую систему, концентрирующую излучение. В данном варианте фотомодуля формируются одинаковые, т. е. симметричные относительно оси угловые характеристики чувствительности для двух спектральных диапазонов, причем угол обзора составляет порядка 70 угловых градусов по уровню 0,5.

Второй вариант фотомодуля выполнен в виде сэндвич-структуры и фокусирующей излучение германиевой линзы (рис. 3). Материалом оптической системы может служить кремний, в этом случае градуировочная характеристика пирометра

претерпит небольшие изменения. Фоточувствительный элемент на основе PbSe представляет собой частично прозрачную тонкопленочную структуру на оптическом стекле, поэтому часть излучения проходит через первый элемент практически без искажения спектра и может быть детектирована вторым фоточувствительным элементом, расположенным за первым. Опытные данные показывают, что на второй фотоэлемент проходит до 12 % энергии излучения.

Так же как и в первом конструктивном исполнении, данный фотомодуль обеспечивает идентичность угловых характеристик чувствительности для обоих фотоприемников, причем угол обзора составляет около 3 угловых градусов по уровню 0,5.

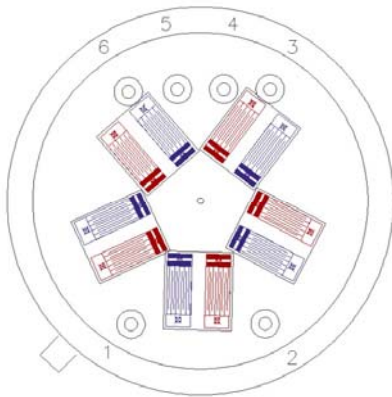


Рис. 2. Первое конструктивное исполнение фотоприемника пирометра

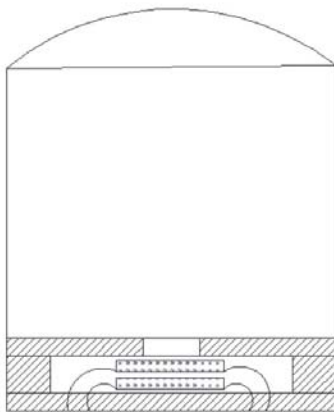


Рис. 3. Второе конструктивное исполнение фотоприемника пирометра

Экспериментальные образцы пирометров

В соответствии с принципом действия пирометра спектрального отношения, схемотехническая обработка должна включать усиление фотосигнала двух фотоприемников, вычисление отношения полученных сигналов, преобразование величины отношения в значение температуры и передача вычисленного значения на устройство индикации и на внешний интерфейс. При этом схемотехническое решение должно учитывать большой динамический диапазон принимаемого сигнала. Это связано с двумя факторами: общая мощность излучения нагретого тела пропорциональна четвертой степени температуры и мощность падающего на фотоприемник излучения обратно пропорциональна второй степени расстояния до источника излучения. Электрический сигнал фотоприемников может изменяться от долей микроампер до десятков миллиампер, поэтому при обработке необходимо использовать автоматическую регулировку усиления, которая также может быть одновременно использована для вычисления отношения двух сигналов [6].

Первый вариант фотомодуля был использован для создания пирометра спектрального отношения, предназначенного для измерения температуры агломерата в производственном цехе в ОАО «Северсталь» (г. Череповец). Диапазон измеряемых температур: от +100 до +600 °С. В ходе разработки проведены лабораторные испытания по дистанционному измерению температуры источника излучения в виде модели абсолютно черного тела. Полученные результаты представлены на рис. 1. Как видно из графика, характер изменения экспериментальной зависимости полностью соответствует изменению теоретической зависимости. Дополнительно проведены эксперименты с изме-

рением пирометром температуры нагретой воды в диапазоне температур от +50...+100 °С, которые показали хорошее соответствие результатов с показаниями термометра. В настоящее время ведутся работы по созданию и испытанию пирометра с использованием фотомодуля второго типа. Предполагается, что разрабатываемый пирометр может использоваться как в стационарном, так и в переносном варианте исполнения.

Заключение

В ходе исследований проработаны конструктивные исполнения фотоприемников среднего инфракрасного диапазона на основе PbSe, предназначенные для особо низкотемпературных пирометров спектрального отношения. Результаты испытаний предложенных конструкций фотоприемников в лабораторных условиях и на производстве позволяют сделать выводы о практической возможности бесконтактного измерения температуры в заданном низкотемпературном диапазоне (от +50 до +600 °С) и целесообразности разработки промышленного образца пирометра.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 28243-96 Пирометры. Общие технические требования.
2. *Sotnikova G. Yu., Aleksandrov S. E. and Gavrilov G. A.* // Proc. SPIE. V. 8073. P. 80731A-2.
3. *Горбунов Н. И., Варфоломеев С. П., Дийков Л. К. и др.* Патент РФ на изобретение № 2261502.
4. *Дийков Л. К., Луганский Ю. М., Варфоломеев С. П. и др.* / 15-ая Российская научно-техническая конференция "Неразрушающий контроль и диагностика", РОНКТД, май 1999.
5. *Кулагов В. Б.* // Датчики и системы. 2001. № 2. С. 13.
6. *Кулагов В. Б.* // Схемотехника. 2001. № 8. С. 10.

Industrial especially low-temperature color pyrometers

N. P. Anisimova¹, V. B. Kulagov¹, and Y. M. Luganskii²

¹GIRICOND Research Institute, Inc.
10 Kurchatova str., St. Petersburg, 194223, Russia
E-mail: v-info@yandex.ru; 21@giricond.ru

²Cherepovets Metallurgical Integrated Works, Inc.
30 Mira str., Cherepovets, 162608, Russia
E-mail: y_lug@mail.ru

Received October 2, 2015

This article deals with the problems of using the PbSe photovoltaic receivers for especially low-temperature color pyrometer designed to measure in the temperature range of +50...+600 °C. Two structural embodiments of a photodetector were proposed that provide the necessary spectral and angular characteristics of sensitivity.

PACS: 07.20.Ka

Keywords: color pyrometers, mid-infrared range, design, characteristics, photodetector.

REFERENCES

1. GOST 28243-96. Pyrometers. General Operating Specification [in Russian].
2. G. Yu. Sotnikova, S. E. Aleksandrov and G. A. Gavrilov, Proc. SPIE **8073**, 80731A-2.
3. N. I. Gorbunov, S. P. Varfolomeev, L. K. Diykov, et al., RF Patent. No. 2261502.
4. L. K. Diykov, Yu. M. Luganskii, S. P. Varfolomeev, et al., in Proc. 15-th All-Russian Conf. "Nondestructive Check and Diagnostics" (RONKTD, May, 1999) [in Russian].
5. V. B. Kulagov, Datchiki Sistemy No. 2, 13 (2001).
6. V. B. Kulagov, Skhemotekhnika No. 8, 10 (2001).