

ПИРОМЕТР СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВОГО ФОТОДИОДА

В.А. Захаренко, Д.Б. Пономарёв
Омский государственный технический университет
E-mail: dimi3i@mail.ru

Алгоритмы бесконтактного измерения температуры на основе метода спектрального отношения обеспечивают перед методами измерений путем регистрации полной или частичной энергии излучения нагретых тел такие очевидные преимущества как независимость показаний от поля зрения пирометра, от температуры окружающего воздуха в пределах эксплуатационного диапазона температур. На показания таких приборов, как правило, не оказывает влияние поглощение излучения промежуточной средой и защитными стеклами. Существенно удается снизить неопределенность измерений, связанную с отсутствием информации о коэффициентах черноты излучающих поверхностей и их изменениями от температуры контроля.

Показания пирометра на одном фотодиоде, предлагаемого в данной работе, не будут также зависеть от температурного и временного дрейфа чувствительности фотоприемника.

В работе приведены результаты исследований пирометра спектрального отношения, реализованного на основе одного кремниевого фотодиода без применения оптических элементов для выделения спектральных интервалов регистрируемого излучения.

Измерение излучений в двух спектральных диапазонах при помощи одного фотодиода обеспечивается за счет изменения спектральной чувствительности фотодиода при его переключении из фотодиодного режима (с большим обратным напряжением) к фотогальваническому режиму (режиму короткого замыкания). Согласно физике работы р-п – перехода фотодиода, по данным [1] при увеличении обратного напряжения, приложенного к р-п – переходу (фотодиодный режим-ФД), растут ширина области объемного заряда, высота потенциального барьера и увеличивается ширина р-п – перехода, что приводит к увеличению коэффициента собирания неосновных носителей заряда и, как следствие, к увеличению максимума спектральной чувствительности и ее сдвигу в длинноволновую область.

В этой связи предлагается в одном измерении последовательно использовать включение фотодиода с максимально допустимым обратным напряжением и с напряжением равным нулю (режим КЗ). При этом выходной сигнал пирометра формировать как отношение выходных сигналов полученных при разных режимах включения.

Теоретические расчеты проходных характеристик пирометра для каждого из режимов работы фотодиода базируются на уравнении Планка и экспериментальных функциях изменений спектральной чувствительности фотоприёмника.

Для двух спектральных интервалов $\lambda_1 - \lambda_2$ и $\lambda_3 - \lambda_4$ функций спектральных чувствительностей фотоприёмников отношение выходных сигналов пирометра в соответствии с функцией Планка представляется как

$$K = \frac{I_1}{I_2} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_1(\lambda)r(\lambda,T)d\lambda}{\int_{\lambda_3}^{\lambda_4} S_2(\lambda)r(\lambda,T)d\lambda}, \quad (1)$$

где $r(\lambda, T)$ - функция Планка; I_1 и I_2 - фототоки для разных включений фотодиода; $S_1(\lambda)$ и $S_2(\lambda)$ - функции спектральной чувствительности фотоприёмника.

Изменение характеристик спектральной чувствительности кремниевого фотодиода от приложенного напряжения, приведенные в [1], представлены на рис. 1.

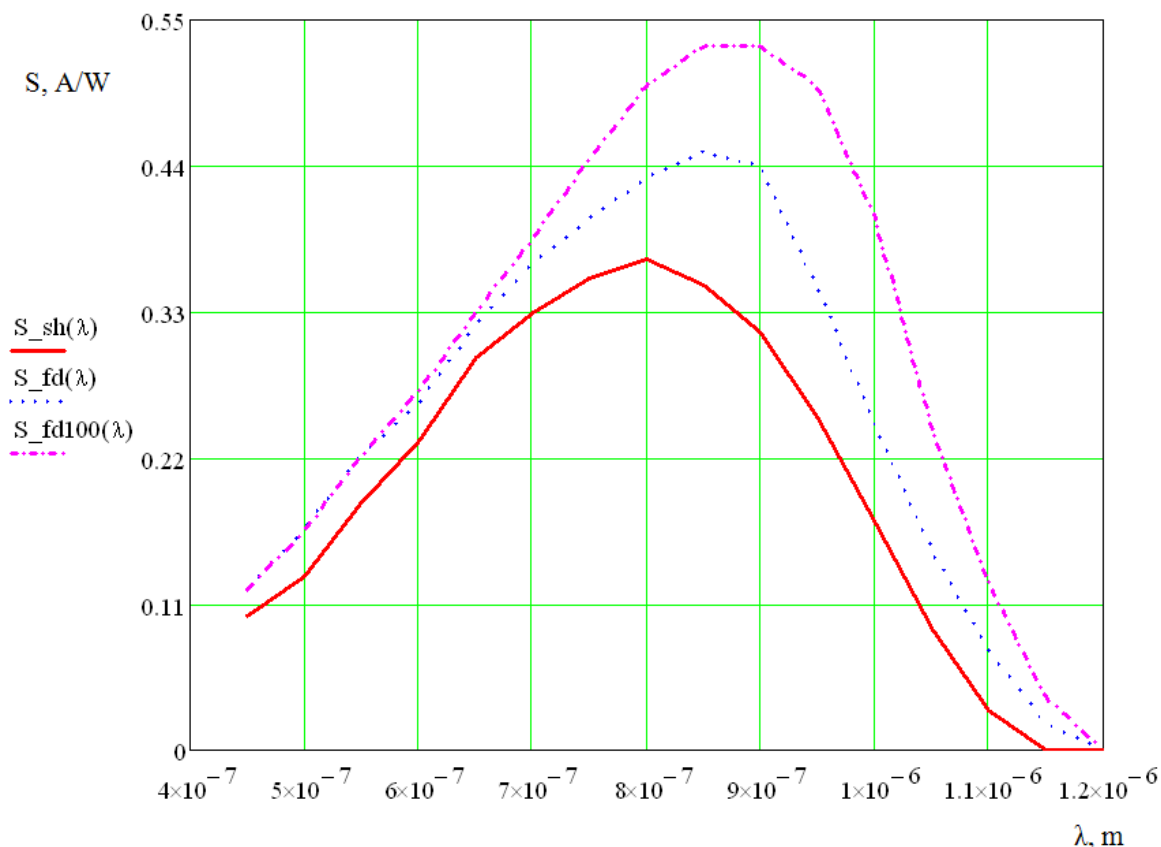


Рис. 1. Изменения спектральной чувствительности кремниевого фотодиода ФД-256:

S_{sh} – при напряжении на фотодиоде $U_{pn}=0$ В; S_{fd} – при $U_{pn}= 10$ В, S_{fd100} – при $U_{pn}= 100$ В.

Проинтегрировав произведение функций спектральной чувствительности фотоприемников в различных режимах включения (рис.1) на функцию Планка для заданной температуры излучателя в этом же спектральном интервале, можно получить долю полной энергетической светимости преобразуемую фотоприемником в электрический сигнал – фототок в режимах ФД и КЗ:

$$I_{\phi}(T) = A \cdot \int_{0.45 \cdot 10^{-6}}^{1.2 \cdot 10^{-6}} S(\lambda) \cdot r(\lambda, T) d\lambda, \quad (2)$$

где $S(\lambda)$ – спектральная чувствительность фотоприемника; A – коэффициент, учитывающий соотношение геометрических параметров приемника и излучателя.

В соответствии с выражением (2) получены расчетные зависимости фототока от температуры излучающей полости АЧТ для кремниевого фотодиода ФД-256.

Расчетная зависимость отношения выходных сигналов, полученная как $K(T) = \frac{I_{kz}(T)}{I_{fd}(T)}$

приведена на рис. 2.

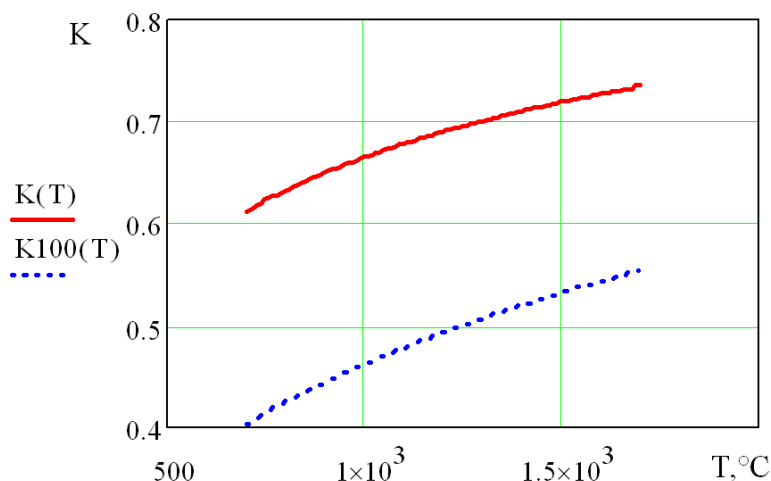
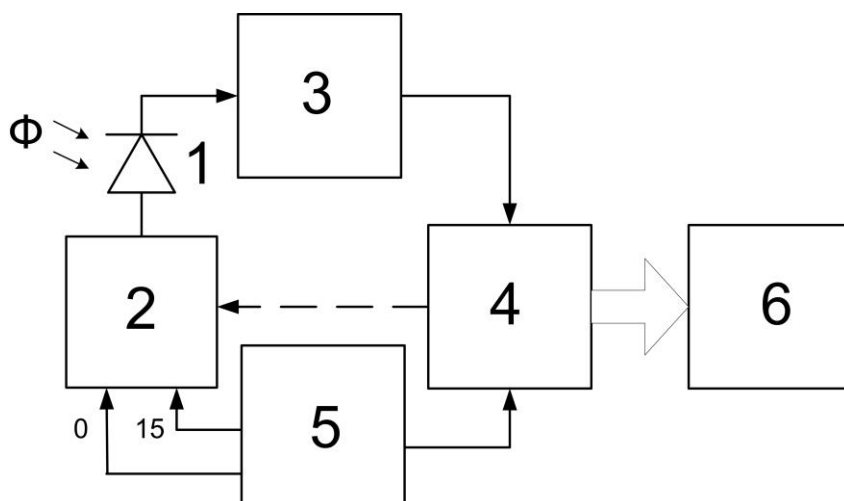


Рис. 2. Расчетные функции зависимости отношения выходных сигналов пирометра от температуры полости АЧТ: $K(T)$ – при $U_{pn} = 10$ В, $K100(T)$ – при $U_{pn} = 100$ В.

На рис. 3 представлена функциональная схема фотодиодного пирометра спектрального отношения в соответствии с патентом [2].



Функциональная схема такого пирометра в соответствии с патентом [2] приведена на рис.3.

Рис.3. Функциональная схема пирометра спектрального отношения на одном фотодиоде: 1 – фотодиод; 2 – ключ; 3 – усилитель-преобразователь ток-напряжение; 4 – микропроцессор со встроенным АЦП; 5 - источник питания; 6 – индикатор.

На рис. 4 приведена экспериментальная нормированная градуировочная зависимость выходного сигнала пирометра на основе кремниевого фотодиода ФД-256 от температуры полости излучателя типа модели АЧТ. При проведении эксперимента был использован излучатель типа модели черного тела МТП-2М-50-500 производства ОАО НПП «Эталон», оптическая скамья и линзовая оптическая система. Выходной сигнал пирометра сформирован как:

$$K(T) = \frac{I_1(\lambda_1, T)}{I_2(\lambda_2, T)}$$

где I_1 – ток фотодиода в режиме короткого замыкания; I_2 – ток фотодиода с обратным напряжением 15 В.

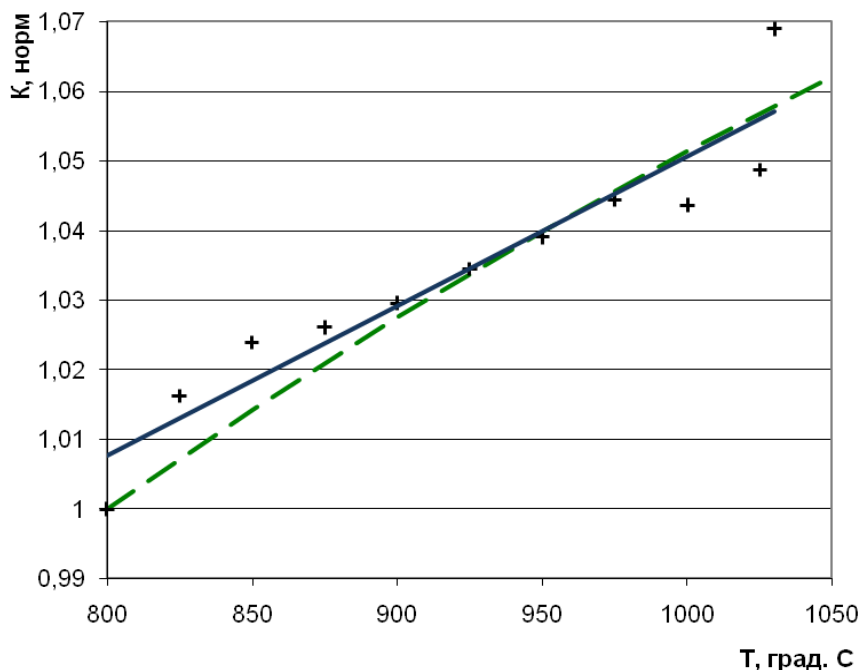


Рис. 4. Экспериментальная зависимость выходного сигнала пирометра на основе кремниевого фотодиода ФД-256 от температуры: расчет (---), эксперимент (—).

Следует отметить, что работа фотоприемника пирометра в широких спектральных участках и близость спектральных максимумов чувствительности кремниевого фотодиода при различных режимах включения, как показывают расчеты, уменьшает относительную методическую погрешность измерений данного метода. При этом инструментальная погрешность сопоставима с пирометрами, использующими оптические узкополосные фильтры или приемники излучения с различными спектральными диапазонами чувствительности, «сэндвичного» и мозаичного типов.

Относительная инструментальная погрешность пирометра спектрального отношения увеличивается по мере уменьшения крутизны преобразования. Крутизна преобразования определяется частной производной по T отношения пирометрических сигналов $K=I_1/I_2$, а коэффициент погрешности k_p при измерении температуры «серых» тел соответственно выражением, приведенным в [3]:

$$k_p(T) = \frac{K(T)}{T \cdot \left(\frac{d}{dT} K(T) \right)} \quad (3)$$

В соответствии с выражениями (1), (3) на рис. 5 представлена расчетная зависимость коэффициента погрешности k_p от температуры АЧТ пирометра спектрального отношения на основе кремниевого фотодиода ФД-256.

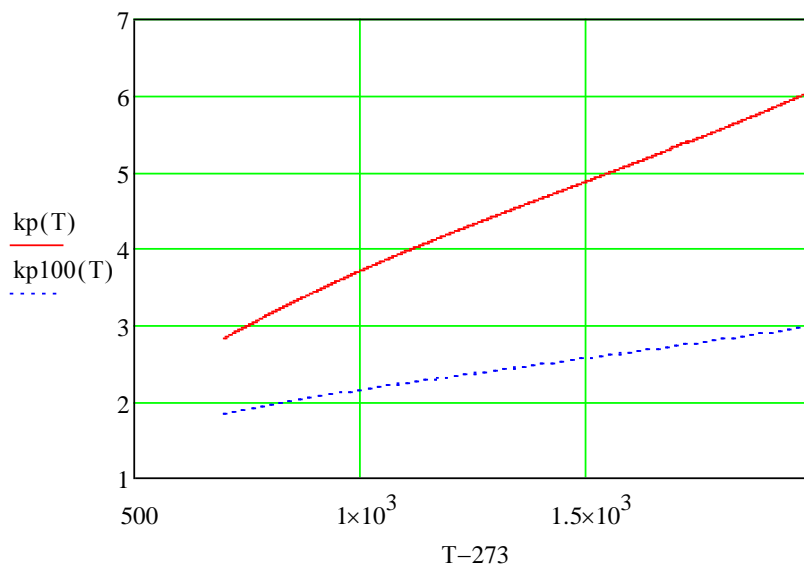


Рис. 5. Расчетная функция зависимости коэффициента погрешности k_p от температуры полости АЧТ: $k_p(T)$ – при $U_{pn}= 10$ В, $k_{p100}(T)$ – при $U_{pn}= 100$ В.

Полученные результаты являются предпосылкой для разработчиков не только нового типа пирометров, но и специализированных фотодиодов, обеспечивающих максимальную разность функций спектральной чувствительности при изменениях приложенных к р-п – переходу напряжений, для задач пирометрии спектральных отношений.

Список литературы

1. Ишанин Г.Г. Источники и приемники излучения: Учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов/ Ишанин Г. Г. [и др.] – СПб.: Политехника, 1991 – 240 с.
2. Патент РФ №2485458, МКИ G 01 J 05/60. Пирометр спектрального отношения/В.А. Захаренко, Д.Г. Лобов, Д.Б. Пономарев, А.Г. Шкаев, заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет». № 2011149297/28; заявл. 02.12.2011; опубл. 20.06.2013 г, Бюл. №17.-4с.: ил.
3. Сеньков А .Г., Фираго В.А. // Вестн. БГУ. Сер. 1. 2009. № 1. С. 47.