

(19) **KG** (11) **650** (13) **C1** (46) 31.03.2004

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АГЕНТСТВО ПО НАУКЕ И  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51)<sup>7</sup> **G01J 5/58; H01L 21/66**  
ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ (КЫРГЫЗПАТЕНТ)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя (владельца)

---

(21) 20020082.1

(22) 15.07.2002

(46) 31.03.2004, Бюл.№3

(76) Скубилин М.Д., Чередниченко Д.И., Варзарев Ю.Н. (RU)

(56) Патент RU №2149366, кл. G01J 5/58; H01L 21/66, 2000

(54) **Пирометр**

(57) Изобретение относится к информационно-измерительной и вычислительной технике, а в частности к средствам бесконтактного измерения температуры поверхности нагретых тел, в т.ч. полупроводниковых пластин в технологических установках, изделий из металлов, керамики и пластмасс при их термообработке, расплавов металлов в металлургии и т. д. Пирометр включает вход из вещества прозрачного в диапазоне используемых длин волн теплового излучения, два фотоэлектрических датчика интенсивности излучения с селекцией на разных длинах волн, два аналого-цифровых преобразователя, элемент сравнения, три элемента ИЛИ, элемент И, пять групп элементов И, задатчик коэффициента пропорциональности, два арифметических блока и формирователь переднего фронта импульсов. Пирометр обеспечивает измерение температуры поверхности нагретых тел в широком интервале температур при варьируемых углах визирования и удаления приемников излучений от их источников, исключение опорного источника излучений, повышение точности и надежности в работе, сокращение эксплуатационных затрат. 1 п. ф-лы, 1 ил.

Изобретение относится к информационно-измерительной и вычислительной технике, а в частности к средствам бесконтактного измерения температуры поверхности нагретых тел, в т. ч. полупроводниковых пластин в технологических установках, изделий из металлов, керамики, пластмасс при их термообработке, расплавов металлов в металлургии.

Известен пирометр, содержащий на оптическом входе пирометра поляризатор и датчик интенсивности излучения, усилитель постоянного тока и индикатор. Этим пирометром излучение поверхности регистрируют под углом визирования 80° от нормали к поверхности излучения, в излучении выделяется компонента, поляризованная в плоскости наблюдения, и по интенсивности излучения этой компоненты определяется температура поверхности (см. Pepperhof W., Arch. Eisehuttewes, 1959, В. 30, №3, р. 131-

135).

Недостатки известного пирометра - ограниченность функциональных возможностей, т. к. он применим для измерения температур 1000-2000°C, когда отраженное от образца излучение фона пренебрежимо мало по сравнению с собственным излучением, и невысокие точность и быстродействие за счет влияния субъективного фактора.

Известен пирометр, содержащий поляририд, с углом поворота в 90° относительно оптической оси, *датчик* излучения, усилитель и два индикатора. Этот пирометр по измерению отношения двух ортогонально поляризованных компонент излучения поглощающей поверхности под углом 45° к ней с последующим определением соотношения  $R_q(\lambda) = R_k^2(\lambda)$ , где  $R_q(\lambda)$  и  $R_k^2(\lambda)$  - коэффициенты отражения ортогонально поляризованных компонент теплового излучения при углах визирования  $q = 45^\circ$  и  $k = 90^\circ$  соответственно, позволяет определить (рассчитать) температуру поверхности (см. Pepperhof W., Arch. Eisehüttenwes., 1959, В. 30, №3, р. 131-135).

Недостатки известного пирометра - использование видимого диапазона спектра, в котором анализируемые объекты (например, металлы) непрозрачны и дают достаточно яркое излучение, по сравнению с которым отраженное поверхностью излучение фона пренебрежимо мало, при углах визирования, отличающихся от 45°, допускает нарушение приведенного выше соотношения и, соответственно, оказывается невозможным расчет температуры поверхности, кроме того, из-за субъективного фактора он обеспечивает ограниченную точность измерения в узком диапазоне температур и низкое быстродействие.

В диапазоне температур  $0 \div 650^\circ\text{C}$ , которые используются в технологических установках осаждения и эпитаксии, видимые диапазоны излучений неприменимы из-за недостаточной яркости излучения, а в среднем инфракрасном диапазоне излучение фона (конструкции оборудования, стенок реактора), отраженное поверхностью объекта, сопоставимо с собственным излучением объекта и вносит существенную погрешность в измерения.

Известен пирометр, содержащий расположенные на оси оптического входа *оптический фильтр*, модулятор излучения, *датчик* интенсивности излучения, источник эталонного излучения, усилитель, детектор переменной составляющей сигнала с выхода усилителя. Этим пирометром, по результатам приема излучения объекта оптической системой, спектральной фильтрации этого излучения и модуляции, включающей последовательную коммутацию на датчик, с заданной частотой, двух потоков излучения, от объекта и эталонного источника, преобразования в электрический сигнал, его усиления и выделения в этом сигнале переменной составляющей, пропорциональной разности коммутируемых сигналов, по величине (интенсивности) этого сигнала и известным характеристикам эталонного излучения, оператор определяет условную температуру объекта, а истинную температуру находим по известной калибровочной зависимости с учетом независимо измеренной температуры стенок реактора или конструктивных элементов технологического оборудования (см. Гордов А.Н., Жугалло О.М., Иванова А.Г. Основы температурных измерений. - М.: Наука. - 1992, С. 232-243).

Недостатками известного пирометра, являются необходимость применения эталонного источника теплового излучения, что существенно увеличивает аппаратную избыточность пирометра, повышает его габаритно-весовые и энергетические показатели, усложняет эксплуатацию, снижает точность и быстродействие пирометра.

Наиболее близким аналогом является пирометр (Патент RU №2149366, кл. G01J 5/58; H01L 21/66, 2000), содержащий *вход* (канал из прозрачного в рабочем спектральном диапазоне материала) для *оптической связи с объектом пирометра*, *полосовой* фильтр, поляризатор, объектив, диафрагму, *датчик (детектор) теплового излучения* модулятор, детектор, усилитель, детектор переменной составляющей и индикатор (блок регистрации), в нем *полосовой фильтр и датчик расположены на оси* оптического входа. Этот пирометр

использует прием теплового излучения объекта, спектральную фильтрацию, его модуляцию, детектирование, усиление на частоте модуляции, выделение переменной составляющей, регистрацию излучения под углом от нормали к поверхности излучения, равному главному углу падения луча, и выделение в детектируемом сигнале разности ортогонально поляризованных компонент излучения, по которой определяется температура поверхности объекта.

Недостатки известного пирометра - необходимость модуляции излучения и выделения переменной составляющей детектирования, значительная алгоритмическая сложность определения температуры и, как результат, значительная аппаратная избыточность, низкая надежность в работе и значительная эксплуатационная сложность. Кроме того, известный пирометр обладает общим недостатком, состоящим в критичности к углам визирования, расстоянию от объекта до приемника излучений, неприменимостью для измерения температуры в широком, от сотен до десятков тысяч градусов по Цельсию, диапазоне температур, низкими точностью и быстродействием.

Задача изобретения - расширение функциональных возможностей пирометра за счет обеспечения измерения температуры при нефиксированных углах визирования и расстояниях между объектом, температура поверхности которого измеряется, датчиками пирометра, повышение точности, исключение субъективизма в результатах измерения и снижение инерционности.

Технический результат достигается тем, что в пирометр, содержащий вход оптической связи из прозрачного в рабочем спектральном диапазоне материала, и первый датчик излучения нагретого тела, расположенный на оптической оси с входом, введены второй датчик, расположенный на оптической оси с входом и в одной плоскости с первым датчиком. Причем датчики обеспечены селективными на двух разных длинах волн свойствами, первый и второй аналого-цифровые преобразователи (АЦП), соединенные информационными входами с выходами первого и второго датчиков соответственно, элемент сравнения, соединенный первыми и вторыми входами поразрядно с выходами первого и второго датчиков соответственно, первый и второй элементы ИЛИ, соединенные входами поразрядно с выходами первого и второго АЦП соответственно, группы первых, вторых, третьих и четвертых элементов И. Причем группа первых элементов И первыми входами соединена поразрядно с выходами первого АЦП, а вторыми входами с первым выходом элемента сравнения, группа вторых элементов И первыми входами соединена поразрядно с выходами второго АЦП, а вторыми входами с третьим выходом элемента сравнения, группа третьих элементов И первыми входами соединена поразрядно с выходами первого АЦП, а вторыми входами - с третьим выходом элемента сравнения, и группа четвертых элементов И первыми входами соединена поразрядно с выходами второго АЦП, а вторыми входами - с первым выходом элемента сравнения, первый арифметический блок, соединенный поразрядно первыми входами с выходами групп первых и четвертых элементов И, а вторыми входами поразрядно - с выходами групп вторых и третьих элементов И, группа пятых элементов И, соединенных первыми входами с выходом первого элемента ИЛИ. Вторыми входами - с выходом второго элемента ИЛИ, а третьими входами поразрядно - с выходами первого арифметического блока, задатчик коэффициента пропорциональности, второй арифметический блок, соединенный первыми и вторыми входами поразрядно с выходами группы пятых элементов И и задатчика соответственно, а выходами поразрядно - с первым, выходом пирометра, третий элемент ИЛИ, соединенный входами поразрядно - с выходами второго арифметического блока. Формирователь переднего фронта импульса, соединенный входом с выходом третьего элемента ИЛИ, а выходом - со входами управления первого и второго АЦП, и шестой элемент И, соединенный первым и вторым входами с выходами первого и второго элементов ИЛИ, а выходом - со вторым выходом пирометра.

Схема пирометра приведена на фиг. 1.

Пирометр содержит вход 1 теплового излучения, первый 2 и второй 3 датчики уровня (интенсивности, мощности) теплового излучения на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  соответственно, первый 4 и второй 5 аналого-цифровые преобразователи (АЦП), соединенные информационными входами с выходами датчиков 2 и 3 соответственно, элемент сравнения 6, соединенный первыми и вторыми входами поразрядно с выходами первого 4 и второго 5 АЦП соответственно, первый 7 и второй 8 элементы ИЛИ, соединенные входами с выходами первого 4 и второго 5 АЦП соответственно, группу первых 9, вторых 10, третьих 11 и четвертых 12 элементов И. Первые входы группы первых 9 и группы третьих 11 элементов И поразрядно соединены с выходами АЦП 4, первые входы группы вторых 10 и группы четвертых 12 элементов И поразрядно соединены с выходами АЦП 5. Вторые входы групп 9 и 12 элементов И соединены с первым выходом элемента 6 сравнения, вторые входы групп 10 и 11 элементов И соединены с третьим выходом элемента 6 сравнения, первый 13 арифметический блок, соединенный поразрядно первыми входами с выходами первых 9 и четвертых 12 элементов И, а его вторые входы поразрядно соединены с выходами групп вторых 10 и третьих 11 элементов И, группу пятых 14 элементов И, соединенных первыми входами с выходом первого 7 элемента ИЛИ, вторыми входами - с выходом второго 8 элемента ИЛИ, а третьими входами поразрядно - с выходами первого 13 арифметического блока, задатчик 15 коэффициента пропорциональности, второй 16 арифметический блок, соединенный поразрядно первыми и вторыми входами с выходами группы пятых 14 элементов И и задатчика 15 соответственно, а выходами - с первым, многоразрядным, выходом 17 пирометра, третий 18 элемент ИЛИ, соединенный входами с выходами второго 16 арифметического блока. Формирователь 19 переднего фронта импульса, соединенный входом с выходом третьего 18 элемента ИЛИ, а выходом - со входами управления АЦП 4 и 5, и шестой 20 элемент И, соединенный входами с выходами первого 7 и второго 8 элементов ИЛИ, а выходом - со вторым выходом пирометра.

Пирометр работает следующим образом.

Задатчиком 15 устанавливается код значения коэффициента  $q$  пропорциональности, зависящего от значений длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  по  $q = \alpha|\lambda_1 - \lambda_2|$ , где  $\alpha$  - постоянный коэффициент размерности, вход 1 теплового излучения устанавливается в направлении на объект О, температура поверхности которого подлежит измерению, при этом на датчики 2 и 3 по входу 1 поступает излучение с поверхности объекта О. Датчики 2 и 3, обладая избирательностью на излучения с  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , соответственно, на своих выходах генерируют аналоговые сигналы  $U_2 = f(\varepsilon\lambda_1)$  и  $U_3 = f(\varepsilon\lambda_2)$ , а АЦП 4 и 5 преобразуют аналоговые сигналы  $U_2$  и  $U_3$  в цифровые коды  $N_4 = f(U_2)$  и  $N_5 = f(U_3)$  соответственно. По результатам сравнения кодов  $N_4$  и  $N_5$  на первом выходе элемента 6 сравнения генерируется единичный потенциал при  $N_4 > N_5$ , на втором выходе элемента 6 сравнения генерируется высокий потенциал при  $N_4 = N_5$ , а на третьем выходе генерируется единичный (высокий) потенциал при  $N_4 < N_5$ . На выходах элементов 7 и 8 ИЛИ устанавливаются высокие (единичные) потенциалы тогда и только тогда, когда  $N_4 > 0$  и  $N_5 > 0$ . Высоким (единичным) потенциалом с первого выхода элемента 6 сравнения по вторым входам открываются группы 9 и 12 элементов И, а высоким (единичным) потенциалом с третьего выхода элемента 6 сравнения по вторым входам открываются группы 10 и 11 элементов И. При этом содержимое выходов АЦП 4 ( $N_4$ ) и АЦП 5 ( $N_5$ ) поступает на первые и вторые, или на вторые и первые, соответственно, входы первого 13 арифметического блока, который определяет коды значений  $N_{13} = N_4/N_5$  или  $N_{13} = N_5/N_4$ , что однозначно соответствует  $N_{13} = \varepsilon\lambda_1/\varepsilon\lambda_2$  или  $N_{13} = \varepsilon\lambda_2/\varepsilon\lambda_1$ . Код  $N_{13}$  поступает на третьи входы группы 14 элементов И, которые открываются при единичных потенциалах на первых и вторых их входах. Содержимое выходов первого 13 арифметического блока  $N_{13}$  через группу 14 элементов И поступает на первые входы второго 16 арифметического блока, на вторые входы которого поступает код  $N_{15}$  значения коэффициента  $q$  пропорциональности ( $N_{15} = \alpha|N\varepsilon\lambda_1 - N\varepsilon\lambda_2|$ ), при этом на выходах арифметического блока 16

генерируется код  $N_{16}$  пропорциональный  $N_{16} = N_{13}N_{15} = \alpha |\lambda_1 - \lambda_2| \varepsilon\lambda_1 / \varepsilon\lambda_2$  или  $= \alpha |\lambda_1 - \lambda_2| \varepsilon\lambda_2 / \varepsilon\lambda_1$  в градусах К. Этот код поступает на первый, многоразрядный, выход 17 пирометра и может индицироваться дисплеем или использоваться в технологических нуждах для управления технологическим процессом. Кроме того, содержимое выходов арифметического блока 16  $N_{16}$  через третий 18 элемент ИЛИ поступает на формирователь 19 переднего фронта импульса, коротким импульсом высокого потенциала с выхода формирователя 19 повторно запрашиваются АЦП4 и АЦП5, что обеспечивает синхронизацию во времени отсчетов значений  $N_{16} \approx T$  в градусах К, кроме того, элемент И 20 на своем выходе генерирует высокий потенциал при  $N_4 > 0$  и  $N_5 > 0$ , т. е. когда чувствительность датчиков 2 и 3 и мощность падающих на них тепловых излучений от объекта О достаточны для измерения температуры объекта О. Этот сигнал с выхода элемента И 20 поступает на выход 21 пирометра и может служить признаком приемлемой наводки оптического входа 1 пирометра на объект О, т. е. при периодическом появлении сигнала на выходе 21 оба датчика (2 и 3) реагируют на тепловое излучение объекта О и пирометр способен (или готов) к выполнению функционального назначения.

Известно, что лучеиспускательная способность нагретого тела  $E_{\lambda T}$  при температуре Т по закону Кирхгофа определяется из равенства  $E_{\lambda T} = A_{\lambda T} \varepsilon_{\lambda T}$ , где  $A_{\lambda T}$  - его поглощательная способность, а  $\varepsilon_{\lambda T}$  - величина постоянная при данной температуре для всех тел; мощность излучения  $\varepsilon$  по закону Стефана-Больцмана определяется из  $\varepsilon = \sigma T^4$ , где  $\sigma$  - постоянная Больцмана; наибольшая излучательная способность приходится на определенную длину волны  $\lambda_{\max}$ , для которой по закону смещения Вина справедливо соотношение  $\lambda_{\max} T = d$ , где  $d$  - постоянная величина; и излучательная способность тела определяется по формуле Планка, как  $\varepsilon_{\lambda T} = 2b\pi c^2 / \lambda^5 = bh / e^{hc / \lambda k T}$ , где  $c$  - скорость света в вакууме,  $\lambda$  - длина волны,  $k$  - постоянная Больцмана,  $h$  - постоянная Планка, а  $b$  - коэффициент пропорциональности. Тогда, поскольку значения  $\varepsilon_{\lambda T}$  не зависят ни от угла визирования, ни от расстояния от объекта до приемника излучений, в пределах чувствительности приемников, показания пирометра остаются справедливыми и стабильными в широком диапазоне углов визирования и расстояний между объектом и приемниками излучений.

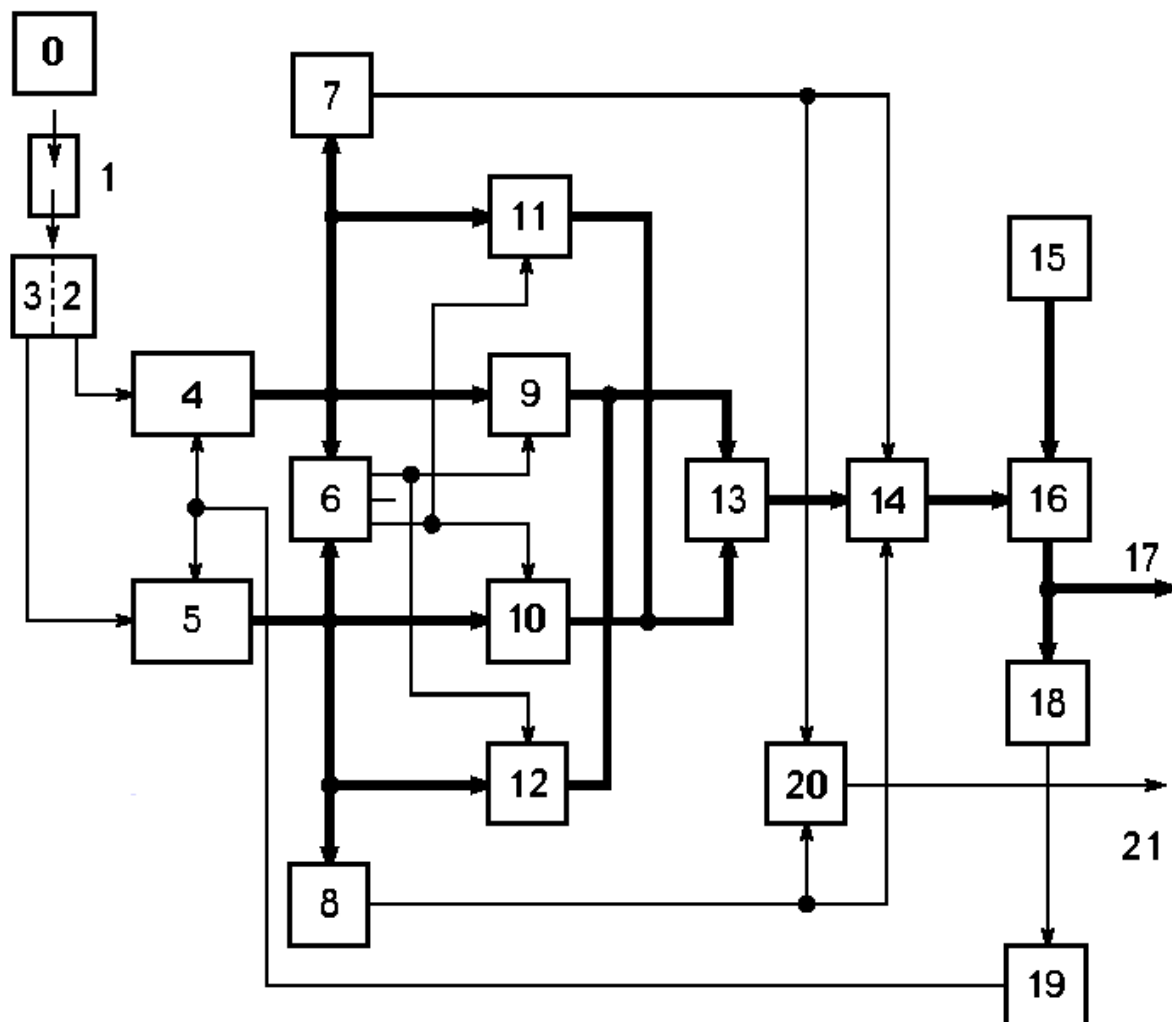
Кроме расширения функциональных возможностей, пирометр, за счет использования фотоэлектрических преобразователей тепловых излучений в электрические сигналы обеспечивает исключение субъективизма, а, за счет цифровой обработки информации, - повышение точности измерений и возможность его использования - в автоматических средствах сбора информации о состоянии объектов в широком диапазоне их динамичности по параметру температуры, а также в автоматических дистанционных средствах управления (регулирования) технологическими процессами. А, если учесть еще возможность использования в качестве рабочих длин волн их ультрафиолетовые и инфракрасные области, то область применения пирометра по температурному диапазону простирается от  $300 \div 400\text{К}$  до  $10\,000 \div 15\,000\text{К}$ .

### Формула изобретения

Пирометр, содержащий вход оптической связи из прозрачного в рабочем спектральном диапазоне материала и датчик излучения нагретого тела, расположенный на оптической оси входом, отличающийся тем, что в него введены второй датчик излучения нагретого тела, расположенный на оптической оси с входом и в одной плоскости с первым датчиком, причем датчики обеспечены селективными на двух разных длинах волн свойствами, первый и второй аналого-цифровые преобразователи (АЦП), соединенные информационными входами с выходами первого и второго датчиков соответственно, элемент сравнения, соединенный первыми и вторыми входами поразрядно с выходами первого и второго датчиков соответственно, первый и второй элементы ИЛИ, соединенные входами поразрядно с выходами первого и второго АЦП соответственно, группы первых, вторых, третьих и четвертых элементов И. Причем группа первых элементов И первыми входами соединена поразрядно с выходами первого

АЦП, а вторыми входами - с первым выходом элемента сравнения, группа вторых элементов И первыми входами соединена поразрядно с выходами второго АЦП, а вторыми входами - с третьим выходом элемента сравнения, группа третьих элементов И первыми входами соединена поразрядно с выходами первого АЦП, а вторыми входами с третьим выходом элемента сравнения, и группа четвертых элементов И первыми входами соединена поразрядно с выходами второго АЦП, а вторыми входами - с первым выходом элемента сравнения. Первый арифметический блок, соединенный поразрядно первыми входами с выходами групп первых и четвертых элементов И, а вторыми входами - поразрядно с выходами второй и третьей групп элементов И, группа пятых элементов И, соединенных первыми входами с выходом первого элемента ИЛИ, вторыми входами - с выходом второго<sup>4</sup> элемента ИЛИ, а третьими входами поразрядно — с выходами первого арифметического блока, задатчик коэффициента пропорциональности, второй арифметический блок, соединенный первыми и вторыми входами поразрядно с выходами группы пятых элементов И и задатчика соответственно, а выходами поразрядно - с первым выходом пирометра. Третий элемент ИЛИ, соединенный входами поразрядно с выходами второго арифметического блока, формирователь переднего фронта импульса, соединенный входом с выходом третьего элемента ИЛИ, а выходом — со входами управления первого и второго АЦП. И шестой элемент И, соединенный первым и вторым входами с выходами первого и второго элементов ИЛИ, а выходом - со вторым выходом устройства.

# Пирометр



Фиг. 1

Составитель описания  
Ответственный за выпуск

Солобаева Э.А.  
Арипов С.К.

Кыргызпатент, 720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41, факс: (312) 68 17 03