



УКРАЇНА

(19) UA (11) 20634 (13) A

(51) G 01 N 21/00

ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДбез проведення експертизи по суті
на підставі Постанови Верховної Ради України
№ 3769-XII від 23.XII. 1993 р.Публікується
в редакції заявника(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ НЕЕЛЕМЕНТАРНИХ ГАЗІВ ТА АЕРОЗО-
ЛЕЙ

(21) 97030958

(22) 14.03.97

(24) 05.08.97

(46) 27.02.98. Бюл. № 1

(47) 05.08.97

(72) Репухов Володимир Михайлович, Гоцу-
ленко Володимир Васильович, Семенов Ана-
толій Миколайович(73) Інститут технічної теплофізики
Національної академії наук України(57) Способ измерения концентрации неэле-
ментарных газов и аэрозолей, состоящий в
формировании импульсного ИК-излучения,
пропускании его через контрольный и изме-
рительный каналы, детектировании прошед-
шего излучения, сравнении электрических
сигналов и определении концентрации, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что одновременно с
началом формирования прямоугольного им-пульса ИК-излучения, измеряют время нара-
стания электрических выходных сигналов
детекторов обоих каналов и сравнивают их
с заданным значением опорного сигнала,
равным верхнему пределу линейного дина-
мического диапазона детекторов, а в момент
равенства выходных электрических сигна-
лов детекторов заданному значению опор-
ного сигнала заканчивают измерение
времени нарастания сигналов соответствен-
но контрольного и измерительного каналов,
причем одновременно с окончанием изме-
рения времени нарастания сигнала измери-
тельного канала прерывают поток
ИК-излучения, и по измеренным значениям
времени нарастания сигналов определяют
концентрацию как функцию отношения из-
меренных времен нарастания сигналов де-
текторов.

Изобретение относится к области опти-
ческой спектроскопии и может быть исполь-
зовано для измерения концентрации
неэлементарных газов и аэрозолей в различ-
ных средах.

Известен способ, использующий спект-
ральное поглощение, включающий обнару-
жение или измерение концентрации
определенного газа в потоке других газов с
использованием луча спектральной энергии
[Патент США № 4746218, 1984].

Известен также способ регистрации
присутствия газовой фазы молекулярного

соединения, включающий сравнение норми-
рованной интенсивности пучка ИК-излуче-
ния, прошедшего через исследуемую пробу,
с нормированной интенсивностью эталон-
ного пучка излучения [Патент США №
4782232, 1986].

Наиболее близким к заявляемому явля-
ется способ измерения концентрации газов,
выбранный в качестве прототипа, состоя-
щий из формирования импульсного ИК-из-
лучения, пропускании его через
контрольный и измерительный каналы, де-
тектировании прошедшего излучения, срав-

(19) UA (11) 20634 (13) A

нзии электрических сигналов и определении концентрации [Заявка ФРГ № 3506372, 1985].

При осуществлении данного способа выходной сигнал детектора измерительного канала сравнивается с электрическим сигналом, определяемым при предварительной градуировке прибора путем пропускания через кювету, заполненную не содержащей измеряемый компонент смесью, суммирования (или вычитания) обоих сигналов и вычислении по результату искомой концентрации определяемого компонента.

Недостатком известного способа является то, что определение искомой концентрации компонента непосредственно по величине выходного электрического сигнала детектора либо по разности электрических сигналов контрольного и измерительного каналов не обеспечивает требуемую точность и быстродействие измерений, так как связано с необходимостью измерения абсолютных значений аналоговых сигналов.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования способа измерения концентрации элементарных газов и аэрозолей, в котором путем измерения времени нарастания выходных сигналов детекторов контрольного и измерительного каналов и вычисления концентрации как функции отношения этих времен обеспечивается повышение точности измерения, сокращение времени измерений, за счет чего достигается упрощение и удешевление измерительных средств.

Поставленная задача решается тем, что в способе измерения концентрации элементарных газов, состоящем в формировании импульсного ИК-излучения, пропускании его через контрольный и измерительный каналы, детектировании прошедшего излучения, сравнении электрических сигналов и определении концентрации, согласно изобретению одновременно с началом формирования прямоугольного импульса ИК-излучения, измеряют время нарастания электрических выходных сигналов детекторов обоих каналов и сравнивают их с заданным значением опорного сигнала, равным верхнему пределу линейного динамического диапазона детекторов, а в момент равенства выходных электрических сигналов детекторов заданному значению опорного сигнала заканчивают измерение времени нарастания сигналов соответственно контрольного и измерительного каналов, причем одновременно с окончанием измерения времени нарастания сигнала измерительного канала прерывают поток ИК-излучения, и по измеренным значениям

времени нарастания сигналов определяют концентрацию как функцию отношения измеренных времен нарастания сигналов детекторов.

Путем формирования прямоугольных импульсов строго определенной энергии, облучающих детекторы, исключается необходимость измерения выходных сигналов детекторов в широком диапазоне, чем достигается значительное повышение точности определения концентрации. Кроме того, в предлагаемом способе измерение интервалов времени, в течение которого происходит облучение детекторов начинается одновременно с началом облучения детекторов, что также обеспечивает повышение точности измерения.

За счет исключения времени выхода на установившийся стационарный режим при подаче импульсного ИК-излучения предлагаемый способ позволяет сократить общее время измерений, так как измерение начинается непосредственно в момент подачи импульсного излучения на детекторы.

Таким образом достигается ожидаемый технический результат.

На фиг. 1 изображен график зависимости электрических выходных сигналов детекторов U_1 и U_2 от времени их нарастания; на фиг. 2 — структурная схема устройства, как один из возможных вариантов реализации предлагаемого способа.

В результате реализации этого способа происходит постоянное сравнение сигналов U_1 и U_2 с заданным значением $U_{оп}$ и измерение времени нарастания соответствующих сигналов.

Для измерения концентрации элементарных газов по заявляемому способу непрерывный или медленно меняющийся поток излучения необходимо сформировать в виде прямоугольных импульсов, например с помощью управляемого оптического прерывателя и пропустить сформированные импульсы через контрольный и измерительный каналы. Длительность сформированных импульсов, облучающих детектор измерительного канала, изменяется в зависимости от степени поглощения излучения элементарным газом, а длительность импульсов, облучающих детектор контрольного канала остается практически постоянной. При этом длительность импульса не должна превышать постоянной времени детектора. Выходной электрический сигнал детектора по контрольному каналу составит

$$U_1 = S_1 F_0 t_1, \quad (1)$$

а по измерительному каналу

$$U_2 = S_1 F_0 (e^{-\alpha p c x L})_{t_2}, \quad (2)$$

где U_1 — электрический выходной сигнал детектора контрольного канала;

U_2 — электрический выходной сигнал детектора измерительного канала;

S_j — Вольт-Джоулева чувствительность детекторов;

F_0 — начальная величина потока ИК-излучения;

α — коэффициент массового поглощения;

ρ — плотность поглощающего компонента

C_x — искомая концентрация;

t_1 и t_2 — время нарастания электрического сигнала детекторов соответственно контрольного и измерительного каналов.

Здесь величина прошедшего через поглощающий слой ИК-излучения выражается законом Бугера-Ламберта-Бера

$$F = F_0 e^{-\alpha \rho C_x L}$$

Величины U и t являются взаимозависимыми. Поэтому для вычислений по формулам (1) и (2) достаточно измерить одну переменную величину, оставляя вторую неизменной. В качестве постоянной выбрана величина U , абсолютные измерения которой имеют наибольшую погрешность, особенно при малых значениях U , по сравнению с погрешностью, связанной с измерением временных интервалов (Кузнецов В.А., Коневских В.М. др. Измерения в электронике, Справочник. Под ред. В.А. Кузнецова. М., Энергоиздат, 1987, с. 337–394).

Для реализации условия $U = \text{const}$, начиная с момента облучения, постоянно производят сравнение текущего значения $U_{\text{оп}}$ равным верхнему пределу линейного динамического диапазона преобразования детекторов, чем достигается наибольшая точность сравнения, а следовательно, и измерения U . Одновременно с началом облучения детекторов начинают измерять время нарастания их выходных сигналов. В момент равенства $U_1 = U_{\text{оп}}$ оканчивают измерение величины t_1 , а при достижении равенства $U_2 = U_{\text{оп}}$ оканчивают измерение времени t_2 и прерывают поток ИК-излучения.

$$t_1 = \frac{U_{\text{оп}}}{S_j F_0}; t_2 = \frac{U_{\text{оп}}}{S_j F_0 e^{-\alpha \rho C_x L}}$$

Разделив t_2/t_1 определяют отношение

$$\frac{t_2}{t_1} = e^{-\alpha \rho C_x L}$$

логарифмируют полученное выражение

$$\alpha \rho C_x L = \ln \left(\frac{t_2}{t_1} \right)$$

и определяют

$$C_x = \frac{1}{\alpha \rho L} \ln \left(\frac{t_2}{t_1} \right)$$

Кювету контрольного канала можно заполнить анализируемым газом известной концентрации C_k . Тогда время изменения сигналов на выходах детекторов контрольного и измерительного каналов соответственно будет равно

$$t_1 = \frac{U_{\text{оп}}}{S_j F_0 e^{-\alpha \rho C_k L}}; t_2 = \frac{U_{\text{оп}}}{S_j F_0 e^{-\alpha \rho C_x L}}$$

Тогда отношение временных интервалов

$$\frac{t_2}{t_1} = e^{\alpha \rho C_x L - \alpha \rho C_k L}$$

Логарифмируя полученное выражение

$$\alpha \rho L (C_x - C_k) = \ln \frac{t_2}{t_1}$$

Тогда искомая концентрация

$$C_x = \frac{1}{\alpha \rho L} \ln \frac{t_2}{t_1} + C_k$$

Решение соответствующих уравнений реализуется на вычислительном устройстве (ПЭВМ) при поступлении непосредственно измеряемых значений t_1 и t_2 .

Возможное устройство для реализации предлагаемого способа, структурная схема которого изображена на фиг. 2, состоит из источника 1 ИК-излучения с длиной волны поглощения определяемого компонента, блока запуска 2, оптического прерывателя 3, оптической системы 4, кювет 5 и 6 соответственно контрольного и измерительного каналов, детектора контрольного канала 7, детектора измерительного канала 8, формирователя опорного сигнала 9, компараторов контрольного 10 и измерительного 11 каналов, интерфейса 12, ПЭВМ 13.

Устройство работает следующим образом.

Источник 1 испускает ИК-излучение заданной длины волны. Блок запуска 2 включает оптический прерыватель 3 и подает сигнал на интерфейс 12 для начала отсчета времени на ПЭВМ 13. После запуска прерывателя 3 поток излучения попадает на оптическую систему 4 и начинается формирование прямоугольного импульса ИК-излучения. Излучение проходит через оптическую систему 4, разделяясь на два луча, и после прохождения кювет 5 и 6 соответственно контрольного и измерительного каналов детектируется на пироприемных устройствах 7 и 8, после чего электрические выходные сигналы с пироприемных устройств поступают на компараторы 10 и 11, где сравниваются с заданным опорным напряжением $U_{\text{оп}}$, вырабатываемым с помощью формирователя 9. При этом постоянно фиксируется время нарастания сигналов детекторов контрольного и изме-

рительного каналов на ПЭВМ 13. После достижения выходными электрическими сигналами заданного значения опорного напряжения $U_{оп}$ прекращается отсчет соответствующих временных промежутков t_1 и t_2 . И по сигналу компаратора измерительного канала 11 закрывается оптический прерыватель 3, в результате чего заканчивается формирование прямоугольного импульса ИК-излучения. После этого вычисляется искомая концентрация на ПЭВМ 13.

Пример 1. Определяли концентрацию газа пропана C_3H_8 .

Коэффициент массового поглощения для длины волны $\lambda = 3,39$ мкм составляет $\alpha = 55 \text{ м}^2/\text{кг}$. Плотность равна $\rho = 2 \text{ кг/м}^3$.

Толщина измерительной кюветы, равная толщине поглощающего слоя составляет $L = 15$ мм.

Измеренное время нарастания сигнала контрольного канала до достижения величины заданного значения $U_{оп}$ $t_1 = 1$ мс, а соответствующее время для измерительного канала $t_2 = 1,05$ мс.

Тогда искомая концентрация составит величину

$$C_x = \frac{1}{\alpha \rho L} \left(\ln \frac{t_2}{t_1} \right)$$

$$C_x = \frac{0,0488}{55 \cdot 2 \cdot 0,015} = 0,0296.$$

Пример 2. Определяли концентрацию газа гексафторид серы SF_6 .

Коэффициент массового поглощения для длины волны $\lambda = 10,6$ мкм составляет $\alpha = 4200 \text{ м}^2/\text{кг}$. Плотность равна $\rho = 6,5 \text{ кг/м}^3$.

Толщина измерительной кюветы, равная толщине поглощающего слоя, составила $L = 15$ мм.

Измеренное время нарастания сигнала контрольного канала до достижения вели-

ны заданного значения $U_{оп}$ $t_1 = 1$ мс, а соответствующее время для измерительного канала $t_2 = 1,1$ мс.

Тогда искомая концентрация составит величину

$$C_x = \frac{1}{\alpha \rho L} \left(\ln \frac{t_2}{t_1} \right)$$

$$C_x = \frac{0,0953}{4200 \cdot 6,5 \cdot 0,015} = 0,00756.$$

Пример 3. Определяли концентрацию водяного аэрозоля при среднем Зауэровском диаметре капель $D_{32} = 18$ мкм, факторе эффективности экстинкции $Q_e = 2,9$ для длины волны $\lambda = 3,39$ мкм. Для аэрозолей используется понятие коэффициента ослабления, который равен

$$\gamma = \frac{3 Q_e}{2 D_{32}}$$

толщина поглощающего слоя составила $L = 15$ мм.

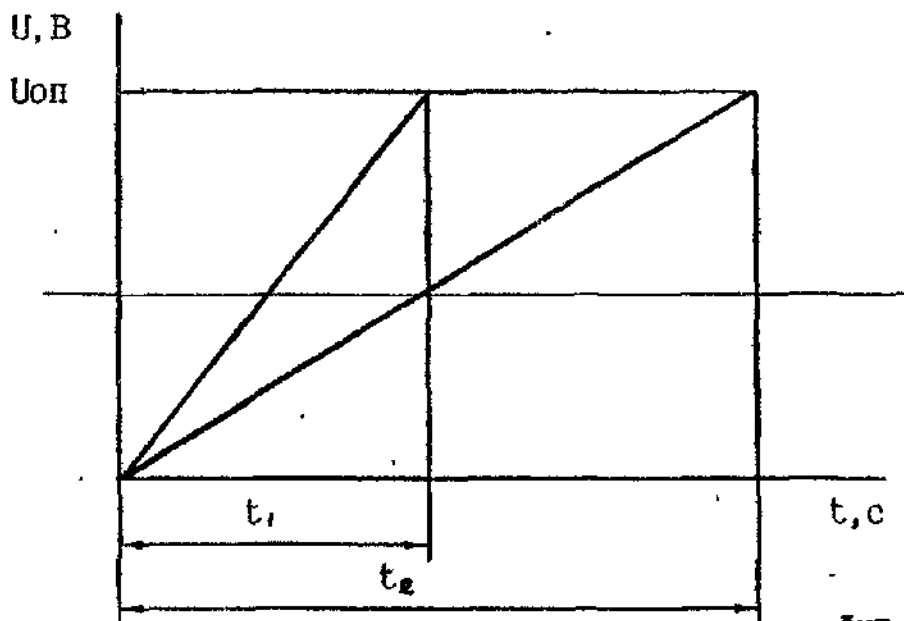
Измеренное время нарастания сигнала контрольного канала до достижения величины заданного значения $U_{оп}$ $t_1 = 1$ мс, а соответствующее время для измерительного канала $t_2 = 2$ мс.

Искомая концентрация равна

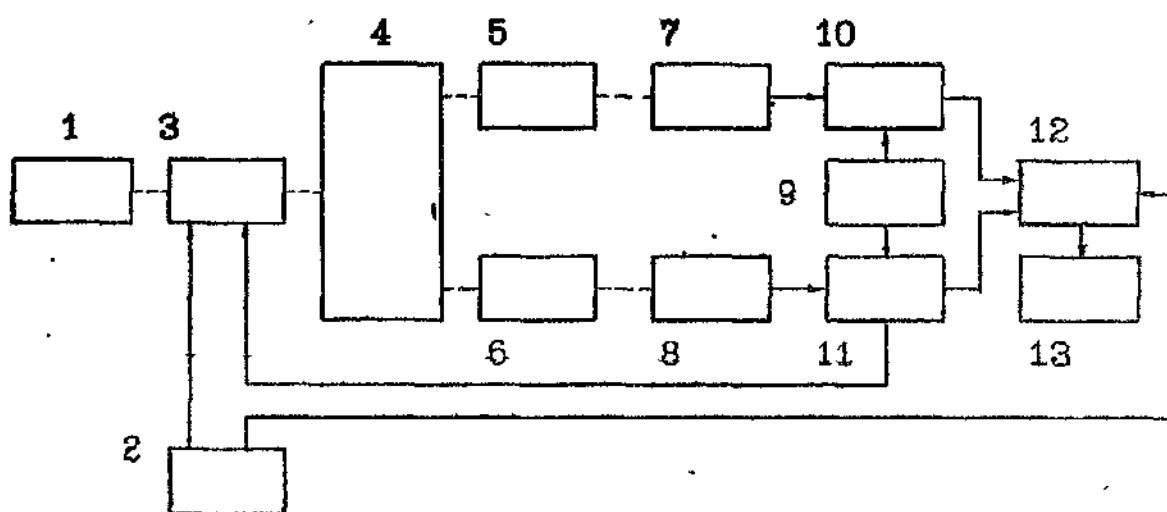
$$C_x = \frac{1}{\gamma L} \ln \left(\frac{t_2}{t_1} \right)$$

$$C_x = \frac{0,693}{3 \cdot 2,9 \cdot 0,015} = 0,00019.$$

Таким образом, предлагаемый способ позволяет диагностировать быстрорастущую концентрацию различных компонентов в реальном масштабе времени путем повышения точности и быстродействия измерений.



Фиг. 1



Фиг. 2

Упорядник

Техред М.Келемеш

Коректор

М. Керецман

Замовлення 4394

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8

Відкрите акціонерне товариство "Патент", м. Ужгород, вул.Гагаріна, 101

