



УКРАЇНА

(19) UA (11) 54885 (13) U  
(51) МПК  
G01N 21/61 (2006.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ІНФРАЧЕРВОНИЙ ГАЗОАНАЛІЗАТОР

1

2

(21) u201006706

(22) 31.05.2010

(24) 25.11.2010

(46) 25.11.2010, Бюл.№ 22, 2010 р.

(72) ЯРЕМЧУК ВОЛОДИМИР ФЕДОРОВИЧ,  
СМІШНИЙ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, КРАВЧУК  
НАТАЛІЯ СЕРГІЇВНА(73) ЯРЕМЧУК ВОЛОДИМИР ФЕДОРОВИЧ,  
СМІШНИЙ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, КРАВЧУК  
НАТАЛІЯ СЕРГІЇВНА

(57) 1. Волоконно-оптичний інфрачервоний газоаналізатор, що містить джерело живлення, оптично зв'язані два джерела випромінювання, світловоди, оптичний розгалужувач, вхідний світловід, вимірювальну кювету (відкритий канал), приймач оптичного випромінювання та мікропроцесор, який **відрізняється** тим, що два джерела випромінювання з'єднані зі світловодами розгалужувача, який з'єднаний світловодом з вимірювальною кюветою (відкритим каналом) з вбудованим на виході інфрачервоним приймачем випромінювання, спектральна сприйнятливість якого узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу, причому одне джерело випромінювання з довжиною хвилі, що відповідає спектральній лінії поглинання газу, а друге джерело випромінювання з довжиною хвилі, яка лежить за межами діапазону спектрального поглинання газу, що проходять від джерела випромінювання через вимірювальну кювету (відкритий канал) з газом, що аналізується, а концентрацію газу визначають із співвідношення:

$$N = \frac{1}{\sigma_1 - \sigma_2} \ln \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1},$$

де N - парціальний тиск (концентрація) газу в повітряній суміші (N=760 Торр відповідає концентрації C=100 %);

$\lambda_1$  - довжина хвилі, що відповідає лінії поглинання газу (робоча довжина хвилі);

$\lambda_2$  - опорна довжина хвилі, що лежить за межами поглинання;

l - довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу) з газом;

$\Delta U_1$ ,  $\Delta U_2$  - зміна напруг при попаданні на приймач потоку випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda_i$

(i=1, 2) відповідно, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) з довжиною l;

$\sigma_i$  - переріз поглинання газу на довжині хвилі  $\lambda_i$ .

2. Волоконно-оптичний інфрачервоний газоаналізатор за п. 1, який **відрізняється** тим, що вимірювання зміни інтенсивності поглинання випромінювання на виході робочої кювети здійснюється приладом, який перетворює зміну інтенсивності випромінювання в частоту електричного сигналу, а концентрацію газу визначають із співвідношення:

$$N = \frac{1}{\sigma_1 - \sigma_2} \ln \frac{\Delta f_2}{\Delta f_1},$$

де N - парціальний тиск (концентрація) газу в повітряній суміші (N=760 Торр відповідає концентрації C=100 %);

$\lambda_1$  - довжина хвилі, що відповідає лінії поглинання газу (робоча довжина хвилі);

$\lambda_2$  - опорна довжина хвилі, що лежить за межами поглинання;

l - довжина вимірювальної кювети (каналу) з газом;

$\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$  - зміна частот на виході приладу при попаданні на нього потоку випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda_i$  (i=1, 2) відповідно, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) з довжиною l;

$\sigma_i$  - переріз поглинання газу на довжині хвилі  $\lambda_i$ .

3. Волоконно-оптичний інфрачервоний газоаналізатор за пп.1,2, який **відрізняється** тим, що два джерела випромінювання з довжинами хвиль, які відповідають спектральним лініям поглинання газу  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  відповідно, сумісним із спектральною сприйнятливістю інфрачервоного приймача випромінювання, що проходить від джерела випромінювання через вимірювальну кювету (відкритий канал) з газом, що аналізується, причому  $\lambda_1 \neq \lambda_2$  та  $\sigma_1 > \sigma_2$ .

4. Волоконно-оптичний інфрачервоний газоаналізатор за одним з пп. 1-3, який **відрізняється** тим,

(13) U

(11) 54885

(19) UA

що джерелом інфрачервоного випромінювання є напівпровідникове джерело інфрачервоного ви-

промінювання.

Корисна модель відноситься до сфери аналітичного приладобудування і може бути застосована при розробці малогабаритних інфрачервоних газоаналізаторів для вимірювання концентрацій найбільш поширених забруднювачів атмосфери газів ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}$ ), вибухонебезпечних газів (наприклад,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$  і ін.), токсичних, агресивних і отруйних газів.

Відомий волоконно-оптичний газоаналізатор [Пат. 2091764 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> G01N21/61. Волоконно-оптический газоанализатор / Мирумянц С.О., Марциновский В.А.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное объединение "Государственный институт прикладной оптики". - № 94030252/25; заявлено 1994.08.16; опубл. 1997.09.27.], який складається з імпульсного випромінювача, вхідного оптичного волокна, багатоходової оптичної кювети, що містить три сферичних дзеркала, вихідного оптичного волокна, спектрального інтегрального демультіплексора, блока реєстрації (які містять два приймачі) і обробки інформації.

Недоліком даного аналізатора газу є конструкційна складність вимірювальної комірки, її розміри, наявність трьох дзеркал, складність налаштування (та переналаштування) довжини хвилі випромінювання, яке збігається з лінією прозорості газу та випромінювання, яке співпадає з лінією поглинання газу, що аналізується. Перераховані недоліки призводять до зменшення точності вимірювання концентрації газу та збільшення енергетичних витрат для функціонування приладу у випадку збільшення неселективних втрат випромінювання пов'язаних з забрудненням дзеркал.

Газоаналізатор [Пат. 49359 Україна, МПК<sup>9</sup> G01N21/17. Сенсор концентрації газу / Яремчук Ф.В., Смішний С.М., Кравчук Н.С.; заявники та патентовласники Яремчук Ф.В., Смішний С.М., Кравчук Н.С. - № u200911699; заявл. 16.11.2009; опубл. 26.04.2010, Бюл. №8, 2010 р.], вибраний в якості прототипу, який складається з двох світловодів, в одному з яких поширюється випромінювання з довжиною хвилі, що відповідає спектральній лінії поглинання газу, а в другому - довжина хвилі випромінювання, яка лежить за межами діапазону спектрального поглинання газу (тобто з лінією прозорості газу), генератора імпульсів, який періодично вмикає світловипромінюючі діоди, випромінювання яких поширюються по світловодам розгалужувача та двожильного волоконно-оптичного кабелю, який з'єднаний з вимірювальною кюветою (каналом), яка містить одне сферичне металеве дзеркало та одне плоске металеве дзеркало, розміщене у фокусній площині сферичного дзеркала, пройшовши через яку і поширюючись далі по вихідному світловоду двожильного волоконно-оптичного кабелю потрапляє на приймач оптичного випромінювання, на виході якого отримуємо пакки імпульсів, частота яких пропорційна інтенсивності світлового потоку, далі сигнали надходять до блоку мікропроцесора (контролера).

Недоліком даного сенсора концентрації газу є конструкційна складність вимірювальної комірки, наявність двох металевих дзеркал, при чому плоске дзеркало розміщене у фокусній площині сферичного дзеркала, наявність двожильного волоконно-оптичного кабелю, що потребує виведення введення випромінювання у вимірювальній кюветі. Перераховані недоліки призводять до збільшення похибки при вимірюванні малих концентрацій газу з заданою точністю і чутливістю, зменшення точності вимірювання концентрації газу та збільшення енергетичних витрат для функціонування приладу у випадку збільшення неселективних втрат випромінювання пов'язаних з забрудненням дзеркал з часом.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищити чутливість вимірювань в широкому діапазоні концентрацій газів і точність вимірювань концентрації газів, спростити конструкцію вимірювальної комірки (відкритого каналу), зменшити енергетичні витрати для функціонування приладу.

Поставлені завдання вирішуються тим, що в основу роботи даної корисної моделі покладено метод диференціального вимірювання концентрації газу. Газоаналізатор складається з двох світловодів, в одному з яких поширюється випромінювання з довжиною хвилі, що відповідає спектральній лінії поглинання газу, а в другому - випромінювання, довжина хвилі якого лежить за межами діапазону спектрального поглинання газу (тобто з лінією прозорості газу), джерела живлення, яке по чергово вмикає світловипромінюючі діоди, випромінювання яких поширюються по світловодах розгалужувача та світловоду, який з'єднаний з вимірювальною кюветою (відкритим каналом) з вбудованим на виході інфрачервоним приймачем випромінювання, спектральна сприйнятливість якого узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу, далі сигнали надходять до мікропроцесора. Така схема дозволяє значно спростити сам метод, конструкційно спростує вимірювальну комірку (відкритий канал), використовує лише одну лінію оптичного зв'язку (не потребує двожильного волоконно-оптичного кабелю), зменшує енергетичні витрати для функціонування приладу, зменшує неселективні втрати випромінювання пов'язані з забрудненням оптичних елементів приладу з часом. Оскільки інтенсивність опорної хвилі (лінія прозорості газу) не залежить від концентрації газу, то частота слідування імпульсів буде функцією концентрації газу.

На кресленні (фіг. 1) представлена функціональна схема пристрою, який працює на основі методу диференціального вимірювання концентрації газу.

Пристрій містить джерело живлення 1, світловипромінюючі діоди 3 та 3', світловоди 2, розгалужувач 4, світловод 5, вимірювальну кювету (відкритий канал) 6, приймач оптичного випромінювання 7, мікропроцесор 8.

Газоаналізатор працює наступним чином.

Джерело живлення 1 почергово вмикає світловипромінюючі діоди 3, 3' з довжинами хвиль відповідно  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  ( $\lambda_1$  - довжина хвилі випромінювання, що відповідає лінії поглинання газу;  $\lambda_2$  - опорна довжина хвилі випромінювання, що лежить за межами діапазону спектрального поглинання газу, що аналізується), які поширюються по світловодах 2 та надходять до розгалужувача 4. Після розгалужувача випромінювання через світловод 5 потрапляє у вимірювальну кювету (відкритий канал) 6 з вбудованим на виході інфрачервоним приймачем випромінювання, пройшовши через яку і потрапляє на приймач оптичного випромінювання 7, спектральна сприйнятливості якого узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу. Далі з приймача 7 електричні сигнали надходять до мікропроцесора 8, який їх обробляє і видає значення концентрації газу N, яка визначається з рівняння для розрахунку концентрації газу методом диференціального поглинання [Chan K. Remote sensing system for near-infrared differential absorption of CH<sub>4</sub> gas using low-loss optical fibre link / K. Chan, H. Ito, H. Inaba // Appl. Opt. -1984. - v. 23, № 19. - pp. 3415-3420.]:

$$N = \frac{1}{\ln \frac{P_{r2}}{P_{r1}}} \ln \frac{P_{r2}}{P_{r1}} \quad (1)$$

де N - парціальний тиск (концентрація) газу в повітряній суміші (N=760 Торр відповідає концентрації C=100 %);

$\lambda_1$  - довжина хвилі, що відповідає лінії поглинання газу (робоча довжина хвилі);

$\lambda_2$  - опорна довжина хвилі, що лежить за межами поглинання;

l - довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу) з газом;

$P_r(\lambda_i)$  (де i=1, 2) - потужність оптичного випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_i$  прийнята приймачем;

$\sigma(\lambda_i)$  - переріз поглинання газу на довжині хвилі  $\lambda_i$ .

Потоки випромінювання з потужністю  $P_r(\lambda_1)$  і  $P_r(\lambda_2)$  при попаданні інфрачервоного випромінювання на приймач 7 створюють на його виході, пропорційно до ступеня ослаблення потоків, зміну напруг  $\Delta U_1$  і  $\Delta U_2$  відповідно, яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується. Тоді рівність (1) матиме вигляд:

$$N = \frac{1}{\ln \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}} \ln \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} \quad (2)$$

де N - парціальний тиск (концентрація) газу в повітряній суміші (N=760 Торр відповідає концентрації C=100 %);

$\lambda_1$  - довжина хвилі, що відповідає лінії поглинання газу (робоча довжина хвилі);

$\lambda_2$  - опорна довжина хвилі, що лежить за межами поглинання;

l - довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу) з газом;

$\Delta U_1, \Delta U_2$  - зміна напруг при попаданні на приймач потоку випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda_i$  (i=1, 2) відповідно, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) з довжиною l.

$\sigma(\lambda_i)$  - переріз поглинання газу на довжині хвилі  $\lambda_i$ .

Потоки випромінювання з потужністю  $P_r(\lambda_1)$  і  $P_r(\lambda_2)$  при попаданні інфрачервоного випромінювання на прилад, який перетворює зміну інтенсивності випромінювання в частоту електричного сигналу [Осадчук В.С. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі. Монографія / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, В.Г. Вербицький. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. - 195 с.], створюють на його виході, пропорційно до ступеня ослаблення потоків, зміну частот  $\Delta f_1$  і  $\Delta f_2$ , яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується. Використовуючи формули (1) отримаємо наступне співвідношення:

$$N = \frac{1}{\ln \frac{\Delta f_2}{\Delta f_1}} \ln \frac{\Delta f_2}{\Delta f_1} \quad (3)$$

де N - парціальний тиск (концентрація) газу в повітряній суміші (N=760 Торр відповідає концентрації C=100 %);

$\lambda_1$  - довжина хвилі, що відповідає лінії поглинання газу (робоча довжина хвилі);

$\lambda_2$  - опорна довжина хвилі, що лежить за межами поглинання;

l - довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу) з газом;

$\Delta f_1, \Delta f_2$  - зміна частот на виході приладу при попаданні на нього потоку випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda_i$  (i=1, 2) відповідно, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) з довжиною l.

$\sigma(\lambda_i)$  - переріз поглинання газу на довжині хвилі  $\lambda_i$ .

Використання одночасно двох довжин хвиль інфрачервоного випромінювання, які відповідають лінії поглинання газу  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$ , сумісних із спектральною сприйнятливості інфрачервоного приймача випромінювання, причому  $\lambda_1 \neq \lambda_2$  та  $[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)] > 0$  (тобто  $\sigma(\lambda_1) > \sigma(\lambda_2)$ ), дозволяє підвищити чутливість та точність вимірювання концентрації газу.

Підвищення чутливості вимірювання концентрації газів та зменшення енергетичних витрат здійснюється шляхом вибору потрібного світловода (тип, довжина).

Збільшення точності вимірювання приладу у випадку збільшення неселективних втрат випромінювання, пов'язаних із забрудненням оптичних елементів з часом і спектральної чутливості приймача випромінювання у відношенні до спектра поглинання досліджуваного газу під дією температури та тиску оточуючого середовища досягається за рахунок використання двох довжин хвиль випромінювання.

Спрощення приладу відбувається за рахунок відсутності дзеркал та наявності відкритого каналу. Використання приладу, який перетворює зміну інтенсивності випромінювання в частоту електричного сигналу, підвищує точність вимірювання концентрації газу, що аналізується, і підвищує надійність запропонованого способу.

Отже, концентрація газу, що аналізується, визначається формулою (2) або (3) залежно від виду приймача або приладу, який перетворює зміну інтенсивності випромінювання в частоту електричного сигналу, відповідно.

Використання напівпровідникового джерела  
інфрачервоного випромінювання в якості джерела

інфрачервоного випромінювання також підвищить  
надійність запропонованого способу.

