



УКРАЇНА

(19) UA (11) 52345 (13) U
(51) МПК (2009)
G01N 21/61 (2006.01)
G01N 21/01

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

1

2

(21) u201001570

(22) 15.02.2010

(24) 25.08.2010

(46) 25.08.2010, Бюл.№ 16, 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 перетворювач концентрації газу, що містить приймачі інфрачервоного випромінювання, довжина хвилі випромінювання яких узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання газу, що аналізується, джерело інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі, що відповідає спектральній лінії поглинання газу, випромінювання якого поширюється по світловодах розгалужувача і створює потоки, які проходять через один робочий канал, в якому розміщена вимірювальна кювета (відкритий канал), та через другий робочий канал, яким є волоконно-оптична лінія з малими втратами енергії випромінювання, який **відрізняється** тим, що в одному робочому полі розміщують вимірювальну кювету (відкритий канал) з вбудованим на виході інфрачервоним приймачем випромінювання, спектральна сприйнятливість якого узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу, а в другому - волоконно-оптичну лінію зв'язку з приймачем інфрачервоного випромінювання, втратами енергії випромінювання в якій можна знехтувати, причому через вимірювальну кювету прокачують газ, що аналізується, а концентрацію газу визначають із співвідношення:

$$C_{x1} = \frac{1}{\alpha_1 \ell_1} \ln \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2};$$

де C_{x1} - концентрація газу, що аналізується;

α_1 - коефіцієнт поглинання газу, що аналізується, який залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела інфрачервоного випромінювання і спектральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання;

ℓ_1 - довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу);

$\Delta U_1, \Delta U_2$ - зміна напруги при попаданні на фотоприймач потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) і опорний канал з довжинами ℓ_1, ℓ_2 відповідно.

2. Волоконно-оптичний перетворювач концентрації газу за п. 1, який **відрізняється** тим, що вимірювання різниці поглинання інтенсивності випромінювання на виході робочої кювети (відкритого каналу) і світловода здійснюється приладами, частоти на виходах яких пропорційні інтенсивності випромінювання, а концентрацію газу визначають із співвідношення:

$$C_{x1} = \frac{1}{\alpha_1 \ell_1} \ln \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2},$$

де C_{x1} - концентрація газу, що аналізується;

α_1 - коефіцієнт поглинання газу, що аналізується, який залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела інфрачервоного випромінювання і спектральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання;

ℓ_1 - довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу);

$\Delta f_1, \Delta f_2$ - зміна частоти на виходах приладів при попаданні на них потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) і опорний канал з довжинами ℓ_1, ℓ_2 відповідно.

Корисна модель стосується сфери аналітичного приладобудування і може бути застосована при розробці малогабаритних інфрачервоних газоаналізаторів для вимірювання концентрацій найбільш

поширених забруднювачів атмосфери газів (CO, CO₂, CH₄, NO), вибухонебезпечних газів (наприклад, C₃H₈, C₂H₄, C₂H₂ і ін.), токсичних, агресивних і отруйних газів.

(19) UA (11) 52345 (13) U

Відомий спосіб аналізу газів інфрачервоним методом [Патент України №80638, кл. G01N21/61, G01N21/01, 10.10.2007] вибраний в якості прототипу, в якому шляхом вимірювання приймачами інфрачервоного випромінювання, з попередньо нанесеними на них інтерференційними фільтрами, довжина хвилі пропускання яких узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання газу, що аналізується, різниці інтенсивності потоків, що проходять від джерела інфрачервоного випромінювання через два робочих канали і за їхньою зміною вимірюваного випромінювання визначають концентрацію газу, вимірювальні кювети виготовлені з різною довжиною, розміщені в незалежних робочих каналах, причому через вимірювальні кювети прокачують газ, що аналізується, газ прокачують через вимірювальні кювети по чергово, синхронно з вимірюванням різниці поглинання інтенсивності випромінювання відповідного каналу, вимірювання різниці поглинання інтенсивності випромінювання на виході вимірювальних кювет відбувається приймачами інфрачервоного випромінювання за рахунок їх електричної модуляції.

Недоліком даного способу є наявність двох вимірювальних кювет, по чергове прокачування газу, необхідність електричної модуляції випромінювання, наявність дзеркала, великі розміри пристрою і порівняно слабкий ступінь обробки інформації.

В основу корисної моделі поставлено задачу створити волоконно-оптичний перетворювач концентрації газів з заданою точністю і чутливістю в широкому діапазоні концентрацій газів, зменшити розміри і спростити конструкцію приладу, та підвищити надійність роботи.

Поставлені завдання вирішуються тим, що в основу роботи даного винаходу покладено метод оптично-абсорбційного вимірювання концентрації газу. Волоконно-оптичний перетворювач концентрації газу складається з приймачів інфрачервоного випромінювання, спектральна сприйнятливість яких узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання газу, джерела інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі, що відповідає спектральній лінії поглинання газу, випромінювання якого поширюється по світловодам розгалужувача і створює потоки, які проходять через робочий і опорний канали, в робочому каналі розміщено вимірювальну кювету (відкритий канал) з вбудованим на виході інфрачервоним приймачем випромінювання, спектральна сприйнятливість якого узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу, в опорному каналі розміщено світловідвід з приймачем інфрачервоного випромінювання, спектральна сприйнятливість якого узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу, і за зміною вихідних напруг на приймачах інфрачервоного випромінювання визначають концентрацію газу, згідно з винаходом вимірювальна кювета, через яку прокачують газ, що аналізується, або відкритий канал встановлюється в одне з плеч світлової лінії, другий канал - світловідвід, в якому втрачає енергію випромінювання прямують до нуля, вимірювання різниці поглинання інтенсивності випромінювання на виході каналів відбувається приймачами інфрачервоного

випромінювання, джерелом інфрачервоного випромінювання є напівпровідникове джерело інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі, що відповідає спектральній лінії поглинання газу, а концентрація газу визначається із співвідношення:

$$C_{x1} = \frac{1}{\alpha_1 \ell_1} \ln \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2};$$

C_{x1} - концентрація газу, що аналізується;

α_1 - коефіцієнт поглинання газу, що аналізується, який залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела інфрачервоного випромінювання і спектральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання;

ℓ_1 - довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу);

$\Delta U_1, \Delta U_2$ - зміна напруги при попаданні на фотоприймач потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) і опорний канал з довжинами ℓ_1, ℓ_2 відповідно.

Вимірювання концентрації газів в широкому діапазоні з заданою точністю і чутливістю, досягається за рахунок того, що газ прокачується через вимірювальну кювету з вбудованим на виході інфрачервоним приймачем випромінювання, спектральна сприйнятливість якого узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу, яка знаходиться в одному з робочих плечей, друге плече являє собою волоконно-оптичну лінію зв'язку з приймачем інфрачервоного випромінювання, втратами енергії випромінювання в якій можна знехтувати в процесі обробки напруги з виходів приймачів інфрачервоного випромінювання. Відсутність дзеркала, інтерференційних фільтрів та блоку електричної модуляції, зменшення розмірів приладу, а також можливість роботи з відкритим каналом вимірювання суттєво збільшує надійність, забезпечує універсальність даного волоконно-оптичного перетворювача концентрації газу.

На кресленні наведена функціональна схема реалізації даного волоконно-оптичного перетворювача концентрації газу.

Запропонований волоконно-оптичний перетворювач концентрації газу працює наступним чином.

Джерело 1 інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі, що відповідає спектральній лінії поглинання газу, створює потік випромінювання Φ_0 , який надходить на світловідвід 2, оптичний розгалужувач 3, світловідвід 4 та вимірювальну кювету 5 (відкритий канал), довжини яких відповідно ℓ_2 і ℓ_1 . Потік Φ_0 інфрачервоного випромінювання, пройшовши через вимірювальну кювету 5 (відкритий канал) і опорний канал 4 з довжинами ℓ_1, ℓ_2 відповідно, ослаблюється до величини потоків Φ_1 і Φ_2 , які попадають на приймачі 6 інфрачервоного випромінювання, спектральна сприйнятливість яких узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу, один з яких вбудований у вимірювальну кювету 5 (відкритий канал). Електричний сигнал з виходу приймачів 6 інфрачервоного випромінювання попадає на реєструючий пристрій 7, з якого надходять дані на блок об-

робки інформації 8. Величина ослабленого потоку випромінювання Φ_1 , що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) 5 може бути визначена за законом Бугера-Ламберта-Бера:

$$\Phi_1 = \Phi_0 e^{-\alpha_1 C_{x1} \ell_1}, \quad (1)$$

де Φ_0 - величина потоку інфрачервоного випромінювання на вході вимірювальної кювети (відкритий канал) 5;

Φ_1 - величина потоку інфрачервоного випромінювання на виході вимірювальної кювети (відкритий канал) 5;

α_1 - коефіцієнт поглинання газу, що аналізується і залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела інфрачервоного випромінювання і спектральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання;

C_{x1} - концентрація газу, що аналізується;

ℓ_1 - довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу) 5.

Величина ослабленого потоку випромінювання Φ_2 , що пройшов через світловод 4 може бути визначена за законом Бугера-Ламберта-Бера:

$$\Phi_2 = \Phi_0 e^{-\alpha_2 C_{x2} \ell_2}, \quad (2)$$

де Φ_0 - величина потоку інфрачервоного випромінювання на вході світловода 4;

Φ_2 - величина потоку інфрачервоного випромінювання на виході світловода 4;

α_2 - коефіцієнт поглинання світловода;

ℓ_2 - довжина світловода 4.

Потоки випромінювання Φ_1 і Φ_2 при попаданні інфрачервоного випромінювання відповідно на приймачі 6 створюють на їх виходах, пропорційно до ступеня ослаблення потоків, різницю напруги ΔU_1 і ΔU_2 , яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується.

Приймаючи до уваги, що втрати в світловоді порядку 0,14 дБ/км на частотах власного поглинання газу [Мидвентер Д.Э. Волоконные световоды для передачи информации. - М: Радио и связь, 1983. - 336 с] рівняння (2) матиме вигляд:

$$\Phi_2 = \Phi_0 \quad (3)$$

Використовуючи формули (1) і (3) отримано наступне співвідношення:

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{\Phi_0 e^{-\alpha_1 C_{x1} \ell_1}}{\Phi_0} = e^{-\alpha_1 C_{x1} \ell_1}$$

або

$$\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = e^{-\alpha_1 C_{x1} \ell_1}$$

або

$$\ln \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = -\alpha_1 C_{x1} \ell_1.$$

Отримаємо:

$$C_{x1} = \frac{1}{\alpha_1 \ell_1} \ln \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}, \quad (4)$$

де C_{x1} - концентрація газу, що аналізується;

α_1 - коефіцієнт поглинання газу, що аналізується, який залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела інфрачервоного випромінювання і спектральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання;

ральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання;

ℓ_1 - довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу);

ΔU_1 , ΔU_2 - зміна напруги при попаданні на фотоприймач потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) і опорний канал з довжинами ℓ_1 , ℓ_2 відповідно.

У випадку використання приладів, які перетворюють 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: УНГООЕР-СУМ-Вінниця, 2001. - 195с] потоки випромінювання Φ_1 і Φ_2 при попаданні інфрачервоного випромінювання відповідно на приймачі, створюють на їх виходах, пропорційно до ступеня ослаблення потоків, різницю частот Δf_1 і Δf_2 , яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується.

Приймаючи до уваги (1) і (2) і враховуючи, що коефіцієнт затухання для кварцових світловодів прямує до нуля ($2 \cdot 10^{-4}$ дБ/м), отримуємо співвідношення:

$$\Delta f_1 = k \Phi_1, \quad (5)$$

$$\Delta f_2 = k \Phi_2 \quad (6)$$

де Δf_1 , Δf_2 - зміна частоти на виходах приладів при попаданні на них потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) і опорний канал з довжинами ℓ_1 , ℓ_2 відповідно.

$\Phi_{1,2}$ - величина світлового потоку;

k - коефіцієнт пропорційності перетворення зміни інтенсивності випромінювання в частоту електричного сигналу.

Використовуючи формули (1) і (3), а також (5) і (6) отримаємо наступне співвідношення:

$$\frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = \frac{k \Phi_1}{k \Phi_2} = \frac{\Phi_0 e^{-\alpha_1 C_{x1} \ell_1}}{\Phi_0}$$

або

$$\frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = e^{-\alpha_1 C_{x1} \ell_1},$$

або

$$\ln \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = -\alpha_1 C_{x1} \ell_1,$$

Отримаємо:

$$C_{x1} = \frac{1}{\alpha_1 \ell_1} \ln \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2}, \quad (7)$$

де C_{x1} - концентрація газу, що аналізується;

α_1 - коефіцієнт поглинання газу, що аналізується, який залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела інфрачервоного випромінювання і спектральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання;

ℓ_1 - довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу);

Δf_1 , Δf_2 - зміна частоти на виходах приладів при попаданні на них потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий

канал) і опорний канал з довжинами ℓ_1 , ℓ_2 відповідно).

Отже, концентрація газу, що аналізується, визначається формулою (4) або (7) залежно від видів фотоприймачів, які використані у волоконно-оптичному перетворювачі концентрації газу. Відсутність дзеркала, інтерференційних фільтрів та блоку електричної модуляції, зменшення розмірів

приладу, а також можливість роботи з відкритим каналом вимірювання спрощує конструкцію приладу та суттєво збільшує надійність вимірювання концентрації газу. Наявність світловодів, а також приладів, які перетворюють зміну інтенсивності випромінювання в частоту електричного сигналу, підвищує точність вимірювання концентрації газу, що аналізується.