



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 130855

(13) C2

(51) МПК

G08B 17/10 (2006.01)

G08B 17/103 (2006.01)

G01N 21/552 (2014.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2023 05167

(22) Дата подання заявки: 01.11.2023

(24) Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: 28.05.2026

(41) Публікація відомостей
про заяву: 07.05.2025, Бюл.№ 19

(46) Публікація відомостей
про державну
реєстрацію: 27.05.2026, Бюл.№ 21

(72) Винахідник(и):

Мамикін Сергій Васильович (UA),
Романюк Володимир Романович (UA),
Минько Віктор Іванович (UA),
Індутний Іван Захарович (UA),
Редько Роман Анатолійович (UA),
Душейко Михайло Григорович (UA),
Мамонтова Ірина Борисівна (UA),
Лящук Юрій Миколайович (UA),
Савчук Єлізавета Миколаївна (UA),
Штикало Олександр Вікторович (UA),
Точковий Василь Олександрович (UA),
Кузнєцова Дар'я Андріївна (UA)

(73) Володілець (володільці):

ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ
ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,
просп. Науки, 41, м. Київ, 03028 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

UA 76633 U, 10.01.2013

UA 91922 U, 25.07.2014

US 2008037022 A1, 14.02.2008

DE 102018216909 A1, 02.04.2020

US 2022291183 A1, 15.09.2022

US 6501783 B1, 31.12.2002

WO 2012023391 A1, 23.02.2012

(54) ПИЛОСТІЙКИЙ ДЕТЕКТОР ЗАДИМЛЕНOSTІ НА ОСНОВІ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОННОГО ФОТОДЕТЕКТОРА

(57) Реферат:

Винахід належить до приладів реєстрації задимленості і може бути використаний для виявлення пожежної загрози та сповіщення про небезпеку загорання. Винахід складається з плазмон-поляритонного фотодетектора (ППФД) з золотим або алюмінієвим покриттям, що межує з середовищем з продуктами горіння, двох лазерних діодів з р-поляризованим монохроматичним випромінюванням та електронної частини з модулем приймання й обробки інформації. Детектор реалізується в одному з двох варіантів: перший - два лазерні діоди з однаковими довжинами хвиль та різними кутами падіння променів на поверхню ППФД, що відповідають положенню півширини максимуму кутової залежності фотоструму; другий - два лазерні діоди з різними довжинами хвиль, що відповідають спектральному положенню півширини максимуму у спектрі фотоструму ППФД, при однакових кутах падіння випромінювання. Технічним результатом винаходу є збереження чутливості сенсора до диму за одночасної нечутливості до частинок пилу, спрощення конструкції та зменшення габаритів детектора.

UA 130855 C2

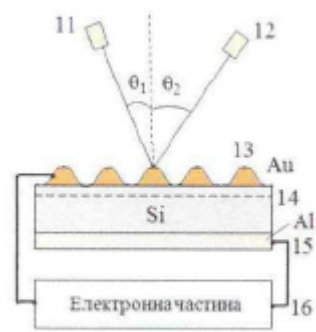


Fig. 5

Запропонований винахід належить до приладів реєстрації задимленості для виявлення пожежної загрози і сповіщення про небезпеку загорання.

Найбільш розповсюдженими і важливим серед них є детектори диму двох типів: іонізаційні та оптичні [1]. Іонізаційні детектори використовують радіоактивне джерело для іонізації повітря в камері, створюючи канал для протікання електричного струму. Частинки диму перешкоджають іонізації і зменшують струм, викликаючи сигнал тривоги.

Оптичні детектори використовують явище розсіяння і зміни напрямку поширення променя світла на частинках диму, що потрапили у камеру детектора [2, 3]. Факт розсіяння або перешкоджання ходу променя реєструється фотодетектором і сприймається як наявність диму. Безпосередньо дим - це дрібнодисперсний аерозоль з розмірами твердих частинок від 0,1 до 0,001 мкм. В той же час частинки пилу мають розміри більші ніж 10 мкм. Розділяють наступні типи диму: дим з тліючої стадії пожежі (як правило, він складається з великих частинок горіння - від 0,3 до 10,0 мкм та дим зі стадії пожежі з відкритим горінням (як правило, складається з мікроскопічних частинок горіння - від 0,01 до 0,3 мкм). Іонізаційні детектори найкраще виявляють швидкоплинні пожежі, що продукують дим з частинками 0,01-0,4 мікрона, темного чи чорного кольору (так званий чорний дим), в той час як більш сучасні фотоелектричні детектори ефективніші при виявленні повільно-тліючих пожеж, з димом світлого (білого або сірого) кольору (так званий білий дим), з більшими частинками 0,4-10 мкм. Фотоелектричні детектори диму швидше реагують на займання, у його ранній стадії (мається на увазі процес тління, до того, як спалахне полум'я). В той час як іонізаційні детектори диму реагують швидше у стадії пожежі з вогнем (як правило 30-60 секунд). Крім того іонізаційні детектори мають знижену чутливість у середовищах з інтенсивним потоком повітря, і через це фотоелектричний детектор диму є надійнішим для виявлення диму як для фази пожежі з тлінням, так і з відкритим вогнем, оскільки потоки повітря не впливають на його функціональність.

Незважаючи на те, що такі датчики диму є дуже розповсюдженими, (особливо оптичні датчики), у них є суттєвий недолік, який пов'язаний з хибним спрацюванням на аерозольні, або пилові частинки, що може бути пов'язане, наприклад, з життєдіяльністю людини у побуті, а не з виникненням пожежі. Це призводить до значних і невиправданих матеріальних втрат, пов'язаних з реакцією на хибний пожежний виклик. Наприклад, з позаштатною посадкою літаків чи спрацювання системи пожежогасіння, внаслідок хибної тривоги.

Так, оптичні датчики диму [4-6] страждають від хибних спрацювань пов'язаних з наявністю пилу, а не диму, оскільки чутливий елемент не розрізняє задимленість і запыленість приміщення. Тому актуальним є завдання створити оптичний пилостійкий сенсор диму з пониженою імовірністю хибного спрацювання від частинок звичайного пилу, що буде призводити до суттєво меншої імовірності виникнення хибної тривоги у запылених приміщеннях.

За прототип вибрано триканальний детектор задимленості [7], принцип роботи чутливого елемента одного з каналів якого полягає у збудженні поверхневого плазмон-поляритонного резонансу (ПППР) в золотій плівці, що межує з навколишнім середовищем. Чутливим елементом цього каналу є скляна пластина з напильною тонкою плівкою золота. Збудження ПППР відбувається з допомогою лазерного джерела р-поляризованого випромінювання в геометрії Кречмана з використанням скляної призми зв'язку. Кут між падаючим та відбитим оптичним випромінюванням в такому сенсорі відповідає куту плазмонного резонансу при наявності на чутливому елементі молекул оксиду вуглецю. Наявність диму призводить до збільшення концентрації оксиду вуглецю в повітрі та змінює оптичні параметри середовища і призводить до кутового зсуву ПППР, що реєструється по зміні інтенсивності променя світла додатковим фотодетектором. Детектор містить ще два канали реєстрації диму з допомогою вимірювання розсіювання світла від двох світлодіодів, а також напівпровідникові сенсори температури. Такий багатоканальний детектор є достатньо чутливим до диму і нечутливий до пилу за рахунок використання додаткових датчиків температури та додаткових оптичних сенсорів. Недоліком такого технологічного рішення є його великі габарити, конструкційна складність, затrudнена мініатюризація та підвищена вартість.

Таким чином, задачею дійсного винаходу є створення оптичного одноканального датчика диму зі збереженням чутливості сенсора до диму, та нечутливості до частинок пилу, спрощеної конструкції, з можливістю мініатюризації та зменшених матеріальних затратах на виготовлення.

Поставлена задача вирішується тим, що пилостійкий оптичний детектор задимленості, що містить лазерний діод, монохроматичне випромінювання якого є р-поляризованим, чутливий елемент з напильним шаром золота, що межує з середовищем з продуктами горіння, та електронну частину з модулем прийому і обробки інформації, який відрізняється тим, що в якості чутливого елемента в ньому використовується плазмон-поляритонний фотодетектор (ППФД) з золотим чи алюмінієвим покриттям, крім того, він містить два лазерних діоди з

однаковими довжинами хвиль випромінювання та різними кутами падіння променів на поверхню ППФД, які відповідають положенню півширини максимуму на кутовій залежності фотоструму ППФД, або ж два лазерних діоди з різними довжинами хвиль випромінювання, які відповідають спектральному положенню півширини максимуму у спектрі фотоструму ППФД, при цьому кути падіння випромінювання обох лазерів на поверхню ППФД однакові.

Запропонований датчик диму може базуватися на ППФД на основі р-п переходу в кремнії, або ж бар'єру Шотткі. Зокрема, фотодетектор першого типу являє собою фоточутливу кремнієву структуру з глибиною залягання р-п переходу 100-150 нм та сформованими омичними тильними контактами з Al. Глибина залягання р-п переходу вибрана таким чином, щоб його досягало поле ПППР, яке експоненційно спадає вглиб напівпровідника. При цьому воно буде генерувати фотонію, які ефективно розділяються в вбудованому електричному полі цього переходу. На поверхню кремнієвої пластини нанесена металева (Au, Al) ґратка, виготовлена за технологією інтерференційної фотолітографії з використанням халькогенідного фоторезисту. Параметри дифракційної ґратки (період, глибина рельєфу, товщина металевої плівки у мінімумах рельєфу) вибираються таким чином, щоб забезпечити ефективне збудження ПППР та максимальну величину резонансного значення фотоструму.

Робота ППФД як сенсор диму випробувана на спеціально виготовленому стенді, з конструкцією, що ґрунтується на вимогах UL 217 [8]. Згідно зі стандартом UL217 спрацювання датчика диму має відбутись протягом 2 хвилин при перевищенні оптичної густини диму $O=1,6\%/м$. Для нашого випадку при умові, що дим від тканини є сірий, це відповідає зменшенню пропускання T зі 100 % до величини меншої $T_m=94\%$. На стенді генерувався дим від тліючої тканини і після досягнення коефіцієнта пропускання світла в камері 94 %, сенсори витримувались протягом 2 хвилин. Кутові (на довжині хвилі 650 нм, р-поляризація) та спектральні (при куті падіння світла 6 кутових градусів) залежності фотоструму ППФД на основі золотої дифракційної ґратки з періодом 800 нм представлені на Фіг. 1 та 2, відповідно. Криві 1, 3 відповідають характеристикам фотоструму ППФД до впливу диму, а криві 2,4 - характеристики ППФД після перебуванні в камері з димом від тканини.

На цих рисунках видно зміщення спектрально-кутового положення резонансу фотоструму внаслідок осідання частинок диму на поверхню ППФД. Дим від тканини призводить до суттєвого зсуву кутового (на 5 градусів) та спектрального (на 27 нм) положення плазмон-поляритонного резонансу і пов'язаного з ним фотоструму в сторону більших довжин хвиль і більших кутів. Такі спектральні а також кутові зміни свідчать про належну чутливість сенсору до диму.

Для оцінки впливу пилу на сенсори диму на основі ППФД, той же зразок був розміщений в закритій герметичній камері об'ємом 0.1 м, де згідно рекомендацій [8], було розпилено 60 г цементної суміші, що підтримувалась у розпиленому стані упродовж 15 і 30 хвилин за допомогою вентиляторів. На Фіг. 3 представлені кутові (на довжині хвилі 650 нм, р-поляризація), а на Фіг. 4 спектральні (при куті падіння світла 6 кутових градусів) залежності фотоструму досліджуваного ППФД до (криві 5, 8), та після 15 (6, 9) та 30 (7, 10) хвилин перебування в камері з пилом. Видно, що ні спектральне, ні кутове положення резонансу фотоструму не змінилось. Змінилась тільки амплітуда, що є наслідком затінення частини зразка пилом. З цього можна зробити висновок, що частинки пилу занадто великі, щоб наблизитись до поверхні зразка (до того ж, рельєфного) на відстань порядку довжини хвилі і суттєво впливати на збудження і поширення ПППР, тому запропонований сенсор диму не чутливий до пилу.

Приклади конкретного виконання:

Приклад 1

На Фіг. 5 зображена схема детектора задимленості на основі ППФД, який містить два лазерних діоди (11, 12) з однаковими довжинами хвиль випромінювання (в даному випадку $\lambda_1=\lambda_2=650$ нм), які по чергову освітлюють ППФД. Чутливий елемент ППФД - це кремнієва пластина (14) в приповерхневому шарі якої сформовано р-п перехід, на поверхню пластини нанесено золоту ґратку (13), а на тильну поверхню - омичний алюмінієвий контакт (15). Кути падіння випромінювання цих лазерів різні і вони відповідають положенню півширини максимуму на кутовій залежності фотоструму ППФД в повітрі, тобто θ_1 та θ_2 на Фіг. 1. Детектор також включає електронну частину (16), яка містить модуль прийому і обробки інформації ARDUINO. Модуль керує роботою лазерних діодів і визначає відношення значень фотоструму, збуджуваних лазерами. При відсутності диму, як видно з Фіг. 1, ці значення фотоструму (I_1 та I_2) рівні між собою і їх відношення дорівнює одиниці. Коли ж на поверхню ППФД потрапляють частинки диму, кутове положення поверхневого плазмон-поляритонного резонансу зміщується. При цьому значення фотоструму, збуджуваного лазерним діодом з меншим кутом падіння випромінювання на ППФД (θ_1 на Фіг. 1) зменшується, тобто I_1 прямує до I_1' . В той же час фотострум, який збуджується другим лазерним діодом з більшим кутом падіння

випромінювання (θ_2 на Фіг. 1) зростає, I_2 прямує до I_2' . Суттєво зростає і відношення значень фотоструму (I_2'/I_1'), і при досягненні критичної величини модуль обробки інформації включає сигнал сповіщення, чи систему пожежогасіння.

Приклад 2

На Фіг. 6 зображена схема детектора задимленості на основі ППФД, який містить два лазерних діоди (17, 18) з різними довжинами хвиль випромінювання (λ_1 та λ_2), які по чергово освітлюють ППФД. Кути падіння випромінювання від обох лазерів однакові і в даному випадку $\theta_1=\theta_2=6^\circ$. Чутливий елемент ППФД той же самий, як і в прикладі 1 - це кремнієва пластина (14) в приповерхневому шарі якої сформовано р-п перехід, на поверхню пластини нанесено золоту ґратку (13), а на тильну поверхню - омичний алюмінієвий контакт (15). Довжини хвиль цих лазерів вибрано таким чином, що вони відповідають спектральному положенню півширини максимума фотоструму ППФД в повітрі, тобто λ_1 та λ_2 на Фіг. 2. Цей детектор теж має електронну частину (16) з модулем прийому і обробки інформації ARDUINO, який керує роботою лазерних діодів і визначає відношення значень фотоструму, збуджуваних лазерами. Принцип роботи цього варіанта детектора задимленості аналогічний прикладу 1. При відсутності задимлення значення фотоструму ППФД від двох лазерів (I_1 та I_2) рівні між собою і їх відношення дорівнює одиниці. При осадженні на ППФД субмікронних часточок диму це відношення значень фотоструму (I_2'/I_1') суттєво зростає, і при досягненні критичної величини модуль обробки інформації включає сигнал сповіщення, чи систему пожежогасіння.

Таким чином, одноканальний детектор задимленості, що заявляється, є достатньо чутливим до диму та не чутливим до пилу; має малі габаритні розміри за рахунок використання ППФД, що дає можливість об'єднання в одному елементі збудження ППФД і його реєстрацію у вигляді фотоструму та дозволяє здійснити його мініатюризацію; має нижчу собівартість ніж прототип, оскільки використовує кремній-сумісні технології та меншу кількість компонент, ніж прототип; нечутливість до пилу досягається за рахунок способу отримання сигналу поверхневого плазмон-поляритонного резонансу і пов'язаного з ним резонансу фотоструму; наявність пилу навіть на поверхні сенсора, що заявляється, призводить тільки до зменшення величини фотоструму внаслідок затінення частини поверхні ППФД, а тому не буде реєструватись детектором.

Джерела інформації:

1. Fleming J. M. Photoelectric and Ionization Detectors-A Review of The Literature Re-Visited // Retrieved December. - 2004. - Т. 31. - С. 2010.
2. Войтович, И., В. Корсунский, Сенсоры на основе плазмонного резонанса: принципы, технологии, применения. - К.: Сталь, 2011.
3. Homola, J., Surface plasmon resonance sensors for detection of chemical and biological species. Chemical reviews, 2008.108(2): p. 462-493.
4. Пат. UA 76633. Оптичний датчик диму / Кравченко Ю.С., Косаковський І.А. № u201207770; заявка. 25.06.2012, опубл. 10.01.13, Бюл. № 1.
5. Пат. UA 37266. Датчик диму / Пойманов О.С. № s 2017 02441; заявка. 28.12.2017, опубл. 25.07.18, Бюл. № 14.
6. Пат. UA 42892. Датчик диму радіоканальний / Федоренко С. В. № s 2020 01521; заявка. 06.10.2020, опубл. 10.12.20, Бюл. № 23.
7. Дорожинський Г.В., Маслов В.П., Качур Н.В., Філончук Р.Л., Багатоканальний детектор задимленості. Патент 91922 Україна, МПК (2006.01) G08B 17/10. Заявл. 13.01.2014; Опубл. 25.07.2014, Бюл. №14.
8. UL217. - Single and Multiple Station Smoke Alarms. // Underwriters Laboratories. Inc., Northbrook, IL, 60062.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Пилостійкий оптичний детектор задимленості, що містить лазерний діод, монохроматичне випромінювання якого є р-поляризованим, чутливий елемент з металевим покриттям, що межує з середовищем з продуктами горіння, та електронну частину з модулем прийому і обробки інформації, який **відрізняється** тим, що як чутливий елемент в ньому використовується плазмон-поляритонний фотодетектор (ППФД) з золотим чи алюмінієвим покриттям, крім того він містить два лазерних діоди з однаковими довжинами хвиль випромінювання та різними кутами падіння променів на поверхню ППФД, які відповідають положенню півширини максимуму на кутовій залежності фотоструму ППФД, або ж два лазерних діоди з різними довжинами хвиль випромінювання, які відповідають спектральному положенню півширини максимуму у спектрі

фотоструму ППФД, при цьому кути падіння випромінювання обох лазерів на поверхню ППФД однакові.

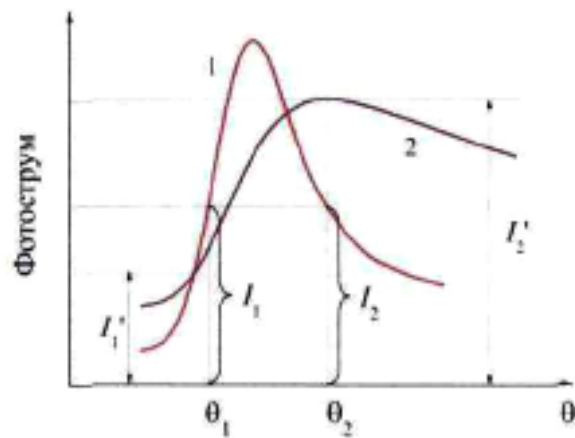


Fig. 1

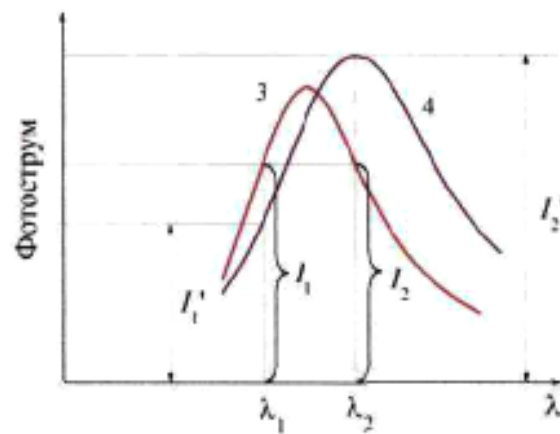


Fig. 2

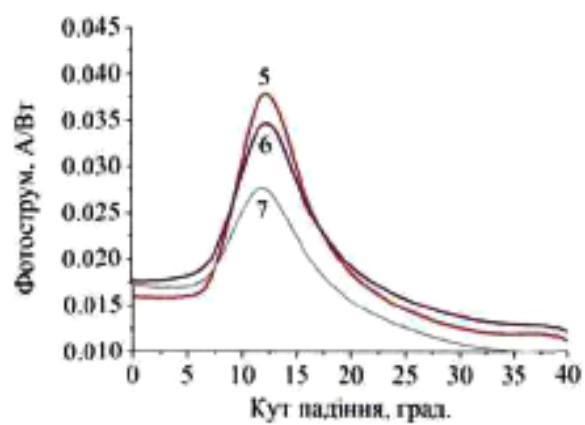


Fig. 3

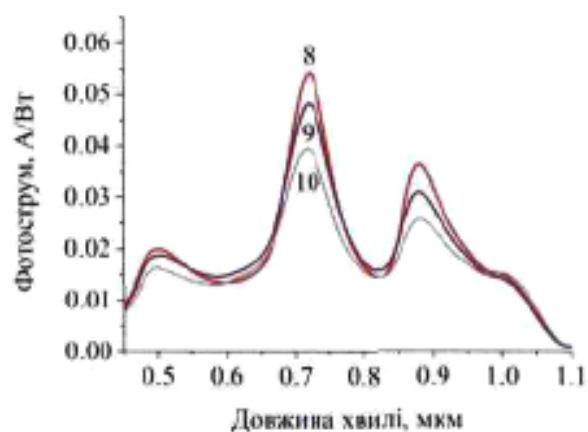


Fig. 4

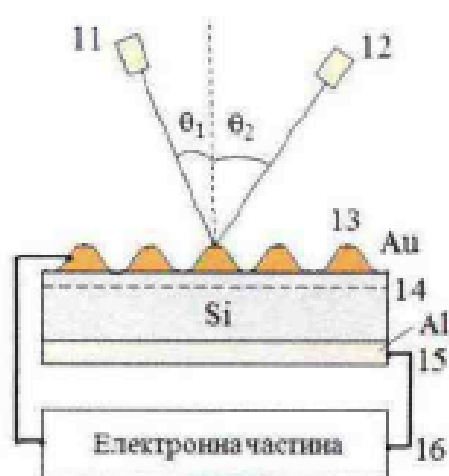


Fig. 5

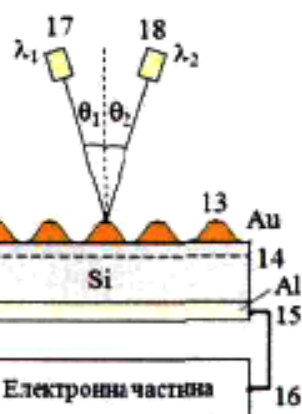


Fig. 6