

МІНІСТРЕСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики

«До захисту допущено»
Завідувачка кафедри

_____Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ
_____202__р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

за спеціальністю 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми
«Електронні інформаційні системи»
на тему « НАНОДАТЧИКИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖ У
ВАЖКОДОСТУПНИХ МІСЦЯХ»

здобувача (-ки) групи ЕП-01 Кобзія Дениса Олеговича
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

_____Денис КОБЗІЙ
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник доцент, к.ф.-м.н., доцент Наталія ШУМАТОКВА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Суми 2024

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики
Спеціальність 171 – Електроніка, освітньо-професійна програма
«Електронні інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ЕЗПФ
Л.В.Однодворець
«01» травня 2024 року

**ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Кобзія Дениса Олеговича

Тема роботи: **«НАНОДАТЧИКИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖ У
ВАЖКОДОСТУПНИХ МІСЦЯХ»**

затверджена наказом СумДУ від «24» квітня 2024 р., № 0417-VI

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 24 травня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи (актуальність, мета):

Мета кваліфікаційної роботи полягає в аналізі наукової літератури з даної теми а також дослідження конструктивних особливостей нанодатчиків та практичне застосування їх. В ході виконання кваліфікаційної роботи проведено аналіз конструктивно і структурних особливостей нанодатчиків. Дослідження конструктивних особливостей та практичного застосування нанодатчиків для виявлення пожеж у важкодоступних місцях є актуальною темою, яка має великий науковий і практичний потенціал для подальшого розвитку технологій .

4. Зміст текстової частини роботи (перелік питань, які необхідно розробити):

1. Основні поняття, характеристика нанодатчиків, принцип дії.
2. Практичне застосування нанодатчиків в різних сферах.
3. Розробка та моделювання нанодатчика для виявлення пожеж
5. Перелік графічного матеріалу для презентації:

Слайд № - 1-2 слайд Титульний аркуш, анотація.

Слайд № - 3-5 Загальна характеристика, принцип дії.

Слайд № - 6-7 Практичне застосування.

Слайд № - 8-9 Розробка та показ проекту.

Слайд № - 10 Висновки.

Слайд № - 11 Список використаної літератури.

6. Дата видачі завдання 01.05.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка про стан вик. роботи
1.	Аналіз літературних даних	до 07.05.2024 р.	<i>вик.</i>
2.	Проведення вимірювань, моделювання, розрахунків, обробка результатів	до 22.05.2023 р.	<i>вик.</i>
3.	Оформлення тексту кваліфікаційної роботи	до 26.05.2023 р.	<i>вик.</i>
4.	Попередній захист роботи	31.05.2024 р., 10-00, онлайн	<i>вик.</i>
5.	Захист кваліфікаційної роботи	04.06.2024 р., 10-00, онлайн	

Здобувач вищої освіти

Денис КОБЗІЙ

Керівник

Наталія ШУМАКОВА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота викладена на 35 сторінках, зокрема, містить рисунків, 9 0 таблиць, список використаних джерел складається з 25 найменувань.

Актуальність теми: Виявлення пожеж у важкодоступних місцях є критично важливим завданням для забезпечення безпеки та зменшення збитків у різних сферах, включаючи промислові підприємства, склади, історичні будівлі, транспортні системи та природоохоронні зони. Традиційні методи виявлення пожеж часто неефективні в таких умовах через фізичні обмеження доступу, відсутність постійного моніторингу та недостатню чутливість до ранніх ознак загоряння. Нанотехнології відкривають нові можливості для покращення виявлення пожеж у важкодоступних місцях завдяки своїм унікальним властивостям, таким як мініатюризація, висока чутливість, швидкий відгук і можливість інтеграції з існуючими системами. Нанодатчики здатні виявляти найменші зміни в навколишньому середовищі, що дозволяє ідентифікувати пожежі на ранніх стадіях і швидко реагувати на них.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в дослідженні і впровадженні нанодатчиків для ефективного виявлення пожеж у важкодоступних місцях. Це включає наступні завдання: аналіз існуючих технологій, розробка нанодатчиків, практичне застосування їх.

Під час виконання роботи використовували іноземну наукову літературу за допомогою якої було розроблено нанодатчик.

У результаті проведених наукових досліджень встановлено, що нанодатчики на даний момент ще не сильно розвинені і поширені серед нас, але в скорому часі це може змінитися.

Ключові слова: НАНОДАТЧИК, НАНОДАТЧИКИ ДИМУ, НАНОДАТЧИКИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖ, ЗАСТОСУВАННЯ НАНОДАТЧИКІВ, ПРИНЦИП РОБОТИ НАНОДАТЧИКІВ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОДАТЧИКІВ	7
1.1 Основні поняття.....	7
1.2 Характеристика нанодатчиків.....	7
1.3 Принцип дії нанодатчиків.....	9
1.4 Нанодатчики диму.....	13
1.4.1 Датчик MQ-2.....	14
1.4.2 Дихалькогеніди перехідних металів (TMD) як матеріали для вимірювання газу. 15	
1.4.3 Датчик водню.....	15
РОЗДІЛ 2 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОДАТЧИКІВ У ВАЖКОДОСТУПНИХ МІСЦЯХ	18
2.1 Необхідність вимірювання газу в підземних шахтах.	18
2.2 Нанодатчики критичних газів в шахтах.....	22
2.3 Застосування нанодатчиків в воєнних цілях	23
2.4 Застосування в лісних пожежах.....	25
2.5 Застосування нанодатчиків на атомних електро станціях	26
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ В ВАЖКОДОСТУПНИХ МІСЦЯХ	29
3.1 Розробка та моделювання.....	29
3.2 Принцип роботи	30
3.3 Розробка та пояснення кода програми нанодатчика	31
ВИСНОВОК	33
СПИСОК ВИКОРИТАНИХ ДЖЕРЕЛ	34

ВСТУП

У сучасному світі проблема виявлення та контролю пожеж є однією з найактуальніших завдань безпеки. Особливо це стосується важкодоступних місць, де традиційні методи контролю та моніторингу можуть бути недостатніми або неможливими для застосування.[1]

Нанодатчики стали ключовим елементом в цьому контексті, пропонуючи ефективне та надійне рішення для виявлення пожеж у важкодоступних місцях. Вони базуються на передових технологіях наноматеріалів та сенсорів, які забезпечують високу чутливість до змін температури, викидів газів та інших ознак пожежі.

Нанотехнології швидко розвиваються, проникаючи в різні сфери людського життя, включаючи безпеку та захист. Нанодатчики - це мікроскопічні пристрої, які можуть виявляти навіть найменші зміни в навколишньому середовищі, відкриваючи широкі можливості для виявлення пожеж.[2] Застосування нанотехнологій у боротьбі з пожежами у важкодоступних місцях є актуальним та важливим напрямом розвитку науково-технічного прогресу, оскільки воно забезпечує збільшення швидкості виявлення пожеж та зменшення часу реакції на них.

Метою цього дослідження є розгляд потенційного використання нанодатчиків у сфері виявлення пожеж у важкодоступних місцях. Дослідження спрямоване на визначення переваг і можливостей застосування нанодатчиків у таких умовах, а також на обґрунтування їхньої актуальності та важливості в контексті пожежної безпеки.[3] Шляхом аналізу технічних характеристик та переваг нанодатчиків, а також їхніх можливостей у виявленні пожеж, дослідження спрямоване на розробку перспективних стратегій та рекомендацій для їхнього ефективного впровадження з метою збільшення безпеки та зменшення ризиків виникнення пожеж у важкодоступних умовах.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОДАТЧИКІВ

1.1 Основні поняття.

Нанодатчики - це мікроскопічні пристрої, які вимірюють різні фізичні параметри та перетворюють їх на сигнали для подальшого виявлення та аналізу. В даний час існують кілька методів виробництва нанодатчиків, включаючи літографію зверху вниз, збірку знизу вгору та молекулярну самозбірку. На ринку та в розробці існують різноманітні типи нанодатчиків для різних сфер застосування, зокрема в оборонній промисловості, екологічних дослідженнях та медичних технологіях. Основний принцип їх роботи полягає в селективному зв'язуванні з аналітами, генерації сигналу від взаємодії з біоелементами та обробці цього сигналу для отримання корисної інформації.

1.2 Характеристика нанодатчиків.

Датчики, що базуються на наноматеріалах, мають численні переваги у відношенні до датчиків, зроблених з традиційних матеріалів, завдяки унікальним властивостям наноматеріалів, які відсутні у масштабі об'єму і призводять до виникнення нових фізичних явищ на нанорівні. Нанодатчики можуть демонструвати підвищену специфічність, оскільки їхні дії відбуваються на тому ж масштабі, що і природні біологічні процеси, що дозволяє функціоналізувати їх хімічними та біологічними молекулами для виявлення подій розпізнавання, що призводять до помітних фізичних змін. Підвищення чутливості пов'язане з великим співвідношенням поверхні до об'єму наноматеріалів, а також новими фізичними властивостями, чутливість традиційних датчиків зазвичай становить кілька десятків до сотень ppm (частин на мільйон), нанодатчики же демонструють чутливість до декількох до десятків ppb (частин на мільярд), наприклад,

нанотрубки з вуглецю можуть виявляти аміак при концентрації до 10 ppb. Як можна використовувати як основу для виявлення, включаючи нанофотоніку. Нанодатчики також потенційно можуть інтегруватися з наноелектронікою для розширення їхніх можливостей обробки. Крім чутливості та специфічності, нанодатчики пропонують значні переваги у вартості та часі відгуку, що робить їх придатними для застосування з високою пропускнуою здатністю. Традиційні датчики, швидкість відгуку яких може бути від декількох секунд до хвилин. Нанодатчики швидкість відгуку яких часто становить мілісекунди до декількох секунд, що забезпечує майже миттєве виявлення змін. Нанодатчики забезпечують моніторинг у реальному часі порівняно з традиційними методами виявлення, такими як хроматографія та спектроскопія. Отримання результатів цими традиційними методами може займати кілька днів або тижнів, а також вимагає інвестицій у капітальні витрати та час на підготовку зразка. [1] Одновимірні наноматеріали, такі як нанодропи та нанотрубки, ідеально підходять для використання в нанодатчиках порівняно з тривимірними або тонкоплівковими пристроями. Вони можуть виконувати функції як перетворювачів, так і провідників для передачі сигналу. Їх велика поверхня може призводити до значних змін сигналу після зв'язування аналіту, а їх невеликий розмір сприяє широкому мультиплексуванню індивідуально адресованих сенсорних блоків у невеликому пристрої. Крім того, вони працюють без міток, оскільки не потребують флуоресцентних або радіоактивних міток на аналітах. Наприклад, нанодрот із оксиду цинку успішно використовується для вимірювання газу, оскільки він демонструє високу чутливість до низьких концентрацій газу в навколишньому середовищі і може бути виготовлений легко і за невеликими витратами. [3] Перед нанодатчиками стоїть кілька проблем, зокрема уникнення дрейфу та забруднення, розробка відтворюваних методів калібрування, застосування методів попереднього концентрування та розділення для досягнення належної концентрації аналіту, що дозволяє уникнути насичення, а також інтеграція Нанодатчика з іншими елементами сенсорної упаковки надійним технологічним способом. Оскільки

нанодатчики є відносно новою технологією, існує багато питань без відповіді щодо нанотоксикології, що наразі обмежує їх застосування в біологічних системах. Потенційні застосування нанодатчиків включають медицину, виявлення забруднень і патогенів, а також моніторинг виробничих процесів і транспортних систем. Вимірюючи зміни у фізичних властивостях (об'єм, концентрація, переміщення та швидкість, гравітаційні, електричні та магнітні сили), тиску або температури) нанодатчики можуть розрізняти та розпізнавати певні клітини на молекулярному рівні, щоб доставляти ліки або контролювати розвиток у певних місцях тіла. Тип передачі сигналу визначає основну систему класифікації нанодатчиків. Деякі з основних типів зчитування нанодатчиків включають оптичні, механічні, вібраційні або електромагнітні. Як приклад класифікації, нанодатчики, у яких використовуються полімери з молекулярним відбитком (MIP), можна розділити на три категорії: електрохімічні, п'єзоелектричні та спектроскопічні сенсори. Електрохімічні датчики викликають зміну електрохімічних властивостей чутливого матеріалу, що включає заряд, провідність і електричний потенціал. П'єзоелектричні датчики перетворюють механічну силу в електричну або навпаки. Потім ця сила перетворюється на сигнал. Спектроскопічні датчики MIP можна розділити на три підкатегорії: хемілюмінесцентні датчики, датчики поверхневого плазмонного резонансу та флуоресцентні датчики. Як випливає з назви, ці датчики створюють світлові сигнали у формі хемілюмінесценції, резонансу та флуоресценції. Як описано в прикладах, тип зміни, яку виявляє датчик, і тип сигналу, який він викликає, залежать від типу датчика[4]

1.3 Принцип дії нанодатчиків

Існує кілька механізмів, за допомогою яких подія розпізнавання може бути перетворена в вимірюваний сигнал; як правило, вони використовують чутливість наноматеріалу та інші унікальні властивості для виявлення вибірково зв'язаного аналіту. Електрохімічні нанодатчики засновані на виявленні зміни опору в

наноматеріалі після зв'язування аналіту внаслідок змін у розсіюванні або через виснаження чи накопичення носіїв заряду. Однією з можливостей є використання нанодротів, таких як вуглецеві нанотрубки, провідні полімери або нанодроти з оксидів металів, як затвори в польових транзисторах. Хімічні нанодатчики містять систему хімічного розпізнавання (рецептор) і фізико-хімічний перетворювач, у якому рецептор взаємодіє з аналітом, створюючи електричні сигнали.[5] В одному випадку [6] при взаємодії аналіту з рецептором нанопористий перетворювач мав зміну імпедансу, що було визначено як сигнал датчика. Інші приклади включають електромагнітні або плазмонні нанодатчики, спектроскопічні нанодатчики, такі як раманівська спектроскопія з покращеною поверхнею, магнітоелектронні або спінтронні нанодатчики та механічні нанодатчики. Біологічні нанодатчики складаються з біорецептора та перетворювача. Вибраним методом трансдукції зараз є флуоресценція через високу чутливість і відносну легкість вимірювання.

Вимірювання можна здійснити за допомогою таких методів: зв'язування активних наночастинок з активними білками всередині клітини, використання сайт-спрямованого мутагенезу для отримання індикаторних білків, що дозволяє проводити вимірювання в реальному часі, або шляхом створення наноматеріалу (наприклад, нановолокон) із сайтами прикріплення для біорецепторів.

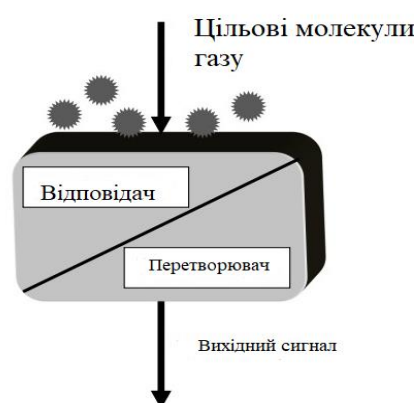


Рисунок 1.1 Принципова схема роботи датчика газу. Адаптовано з роботи [2]

Незважаючи на те, що електрохімічні нанодатчики можна використовувати

для вимірювання внутрішньоклітинних властивостей, вони, як правило, менш вибіркові для біологічних вимірювань, оскільки їм бракує високої специфічності біорецепторів (наприклад, антитіла, ДНК). Фотонні пристрої також можна використовувати як нанодатчики для кількісного визначення концентрацій клінічно значущих зразків. Принцип роботи цих сенсорів заснований на хімічній модуляції об'єму гідрогелевої плівки, яка містить решітку Брегга. Коли гідрогель набухає або стискається під час хімічної стимуляції, решітка Брегга змінює колір і дифрагує світло на різних довжинах хвиль. Дифрагований світло можна співвіднести з концентрацією цільового аналіту. Інший тип нанодатчиків – це той, який працює через колориметричну основу. Тут присутність аналіту викликає хімічну реакцію або морфологічну зміну для видимої зміни кольору. Одним із таких застосувань є те, що наночастинки золота можна використовувати для виявлення важких металів.[7] Багато шкідливих газів також можна виявити за допомогою колориметричних змін, наприклад, за допомогою комерційно доступної трубки Dräger. Вони є альтернативою громіздким системам лабораторного масштабу, оскільки їх можна мініатюризувати для використання в пристроях для вибірки. Наприклад, багато хімічних речовин регулюються Агентством з охорони навколишнього середовища та вимагають ретельного тестування, щоб переконатися, що рівні забруднюючих речовин знаходяться у відповідних межах. Колориметричні нанодатчики забезпечують метод визначення на місці багатьох забруднень.

На рис. 1.2 подано основну схему наносенсорного пристрою, на якому представлена вище схема обробки інформації може бути реалізована. Прилад являє собою сендвіч, що складається з діелектричного і провідного шарів.

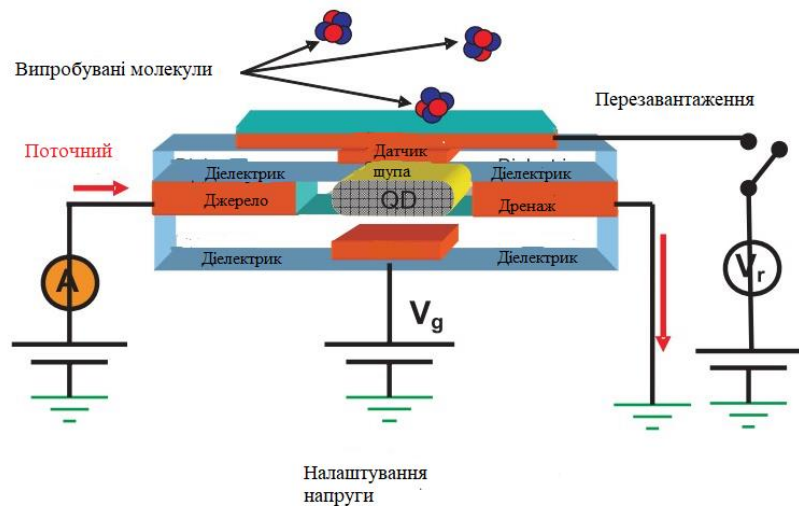


Рисунок 1.2 Схеми конструкції електронного наносенсорного пристрою. Основою функції є нанотранзистор з бістабільною провідністю. Адаптовано з роботи[7]

Робочий струм проходить від емітера до колектора через квантову точку, так що система знаходиться в області бістабільності провідності. Напруга, що подається в нижній частині пристрою на затвор V_g , дозволяє змістити стан квантової точки до межі області бістабільності. Іншими словами, ця напруга призначена для налаштування пристрою в робочий стан. Верхня частина пристрою містить тестовий зонд, який є невеликою провідною платформою, з'єднаною з електродом, аналогічним затвору. У правій частині пристрою розташована система («перезавантаження»), що повертає зонд в робочий режим. Це дозволяє подати необхідну напругу зонд контрольованим способом. Як може працювати такий наносенсор? Для прикладу розглянемо його роботу в режимі хімічного сенсора. У цьому випадку приєднання досліджуваних молекул до зонда може змінити його потенціал. Розглянутий електронний пристрій дійсно дозволяє зареєструвати таку зміну. Дійсно, хоча робоча напруга подається на квантову точку, що знаходиться в області бістабільності провідності, провідність системи буде залежати від способу, яким ця напруга подається. Для визначеності початковим значенням провідності виберемо нуль. У цьому випадку напруга при перезавантаженні вимикається, $V_r = 0$. Тоді, змінюючи напругу на затворі V_g , ми можемо зрушити профіль струму-

напруги, вправо так, щоб значення робоча напруга виявляється поблизу лівої межі області бістабільності. Нехай тепер пристрій буде розміщено в газоподібному або рідкому середовищі, де присутня деяка кількість досліджуваних молекул. Потім ці молекули будуть торкатися зонда і, отже, змінювати його потенціал. Таким чином, потенційне поле навколо квантової точки змінюється. Тому вольт-амперний профіль буде додатково зміщений, що призведе до стрибкоподібної зміни провідності системи.

1.4 Нанодатчики диму

Датчики газу є проміжним пристроєм для виявлення токсичних газів. Датчик газу складається з перетворювача і рецептора. Рецептор - це матеріал, який взаємодіє з молекулами газу.

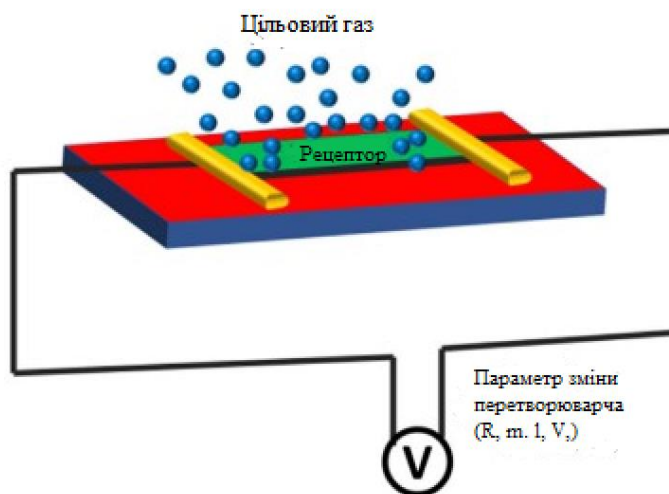


Рисунок 1.3 Загальна схема нанодатчика газу, що складається з рецептора та перетворювача. Адаптовано з роботи [15]

Молекули газу, що взаємодіють, можуть змінювати деякі відповідні параметри матеріалу датчика газу, такі як опір, показник заломлення, маса, біологічні властивості, тепло, світло тощо. Перетворювач іншої частини виявляє зміни параметрів і перетворює їх в електричний сигнал.

1.4.1 Датчик MQ-2

Це ідеальний датчик для виявлення небезпечного витоку скрапленого газу в нашому домі або на станції технічного обслуговування, в оточенні резервуарів і навіть в транспортних засобах, які використовують LPG як паливо. Цей пристрій можна легко підключити до схеми/пристрою сигналізації, щоб подати сигнал сигналізувати або забезпечити візуальну індикацію концентрації LPG. Сенсор має чудову чутливість у поєднанні зі швидкістю час реакції. Коли цільовий горючий газ існує, провідність датчика підвищується разом із зростанням концентрації газу. Газові датчики LPG змінюють провідність до відповідного вихідного сигналу концентрації газу.



Рисунок 1.4 Зовнішній вигляд датчика MQ-2. Адаптовано з роботи[25]

Датчик газу MQ-2 показаний на малюнку використовується для визначення отруйного газу та має високу чутливість до зрідженого газу, а також до природного газу. Це портативний детектор газу який має тривалий термін служби з низькою вартістю. Модель: № MQ-2. Тип датчика: Напівпровідник. Стандартний бакеліт (чорний бакеліт). Виявлення; газ пропан, водень, LPG Концентрація його 300-1000ppm (водень, пропан, LPG). При мішені горючі гази існує, провідність датчика вища зі збільшенням концентрації газу

1.4.2 Дихалькогеніди перехідних металів (TMD) як матеріали для вимірювання газу.

Моношар TMD – це атомарно тонкі напівпровідники типу MX_2 , де M є атомом перехідного металу (Mo, W тощо), а X – атомом халькогену (S, Se або Te). MoS_2 – один членів групи TMD, яка привабила дослідницьку спільноту завдяки своїй чудовій та захоплюючій властивості. MoS_2 , що має триатомний моношар з регульованою прямою смугою від 1,8 до 1,3 еВ. Атоми Mo і S зв'язані ковалентним зв'язком, і кожен шар розділений слабкими силами Ван-дер-Ваальса. Як двовимірний матеріал MoS_2 має вищу поверхню об'ємне співвідношення, швидке транспортування заряду та чудові властивості, що робить його перспективним кандидат на застосування датчиків газу. Повідомляється про різні способи для синтезу MoS_2 . Найбільш поширеними методами є хімічне осадження з парової фази (CVD) і механічне відлущування (за рахунок легкого відлущування до моношарів). Тут ми класифікували газовий датчик H_2 на основі їх орієнтації в площині та вертикально, металеві функціональні та гібридні датчики H_2 . Ми обговорювали зареєстровані датчики в деталі нижче:

1.4.3 Датчик водню

Газоподібний водень (H_2) є найлегшим хімічним елементом у періодичній таблиці. За стандартних умов тиску та температури водень є двоатомним, безбарвним, без запаху, неметалічний газ з надзвичайно високою горючістю. Тому дослідження про швидке виявлення цього газу напівпровідниками, такими як наноструктури MoS_2 , було одним із найбільш проблем в дослідженні газових сенсорів. У 1996 році Miremadі та ін. повідомили про хемірезистивний датчик водню на основі товстої орієнтованої плівки MoS_2 . Товсті частково кристалічні плівки MoS_2 були нанесені на алюмінієву підкладку. Датчик може працювати від RT до помірної температури (25–150 C). Датчик показав відповідь і час відновлення

10 30/45 90 с відповідно. Виготовили сенсор H_2 на основі гетеропереходу MoS_2/Si . Плівка MoS_2 була нанесений методом магнетронного розпилення. Час відновлення та час відгуку є 443,5 і 105 с. Чутливість становила 1,1 3 104%. Пропонований контакт пристрою взято з плівки MoS_2 n-типу та підкладки p-типу, утворюючи пристрій p-n-переходу. Пропонований пристрій має високу чутливість, але він страждає від великого відгуку та відновлення час. Подальша імпровізація була зроблена шляхом функціональності MoS_2 з частинками металу та формування гібридних структур. Функціоналізований MoS_2 з наночастинками паладію (Pd) переважно використовується для покращення чутливих властивостей H_2 . Pd, що мають вищу роботу функції порівняно з MoS_2 . Отже, електрони переходять від MoS_2 до Pd, прагнучи до зменшити концентрацію електронів у MoS_2 . Оголений H_2 дисоціює на поверхні Pd і утворюється PdH_x (гідрид паладію). PdH_x вивільняє електрони на плівку MoS_2 і знову компенсує концентрації електронів. Pd збільшує швидкість реакції водню, що значно зменшує час відгуку, а чутливість підвищується за допомогою Pd- MoS_2 . Схема чутливого механізму з Pd показана на рис. 1.4.

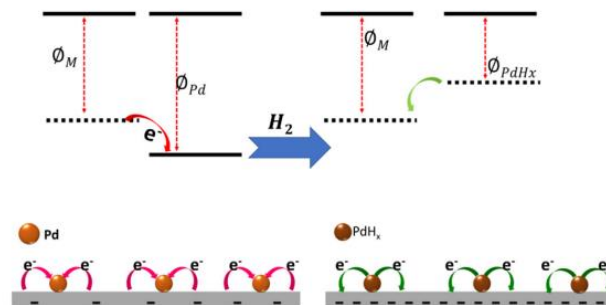


Рисунок 1.4 Схема для вирівнювання смуг Pd і MoS_2 перед впливом H_2 . Pd приймає електрон від MoS_2 . Група вирівнювання Pd і MoS_2 після впливу H_2 .

Адаптовано з роботи [15]

Бек та ін. також створив кілька шарів MoS_2 , функціональних з Pd. Плівка MoS_2 , синтезована розчинним методом після осадження наночастинок Pd. Автори декорують плівку різною товщиною H_x Pd (1, 3, 5 і 7 нм). Максимум чутливість була знайдена для 5 нм зі значенням 235,3% при впливі 1% H_2 , з час реакції та

відновлення 13,1 та 15,03 хв. Про це йдеться у згаданому звіті що чутливість зростає зі збільшенням товщини Hx Pd до 5 нм. Однак для 7 нм товщиною Pd NP, пристрій показав протилежну поведінку. Базовий опір був виявлено майже однаково для HxPd товщиною до 1, 3 та 5 нм. Для 7 нм базовий опір різко змінився через безперервний сформований шар Pd поверх плівки MoS₂.

РОЗДІЛ 2

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОДАТЧИКІВ У ВАЖКОДОСТУПНИХ МІСЦЯХ

2.1 Необхідність вимірювання газу в підземних шахтах.

Як показано на (рис. 2.1а), забезпечити здоров'я та безпеку є складним завданням середовищ видобутку через розмір і форму підземні дороги, як правило, довжиною в десятки кілометрів і шириною в кілька метрів. В ідеалі багато факторів навколишнього середовища, включаючи кількість газу, води та пилу, слід постійно контролювати в багатьох місцях тунелю, що вимагає високої щільності та кількості проб сенсорних пристроїв. Поточний екологічний моніторинг шахти зазвичай проводяться рідко та вручну через відсутність передових, надійних і економних методів зондування. (рис 2.1б) Двома основними способами підземного видобутку вугілля є метод кімнати та стовпа (також відомий як метод борда та стовпа). і лавним способом.(рис 2.1б) При кімнатно-стовповому видобутку вугілля безперервно ріжеться і завантажується на забійний транспортний засіб (наприклад, маршрутний вагон) шахтарем. У лаві — лава стригалка виконує ту саму роботу, розрізаючи та завантажуючи вугілля забійний конвеєр, на якому він їде. Новіша лава гірнична техніка займає третину всіх підземних робіт видобуток вугілля.[8] Це безперервний процес з використанням обертового ножиці на шахтній машині, щоб розрізати блок вугілля. Потім вугілля вивозиться з шахти конвеєром. Бажано вимоги, що стосуються сенсорної технології, включають дистанційне управління всією системою моніторингу в тому числі механізми зв'язку та маршрутизації за будь-яких умов та взаємодії на місці зі стаціонарними датчиками, розміщеними на стіни, стовпи та підлоги, а також вбудовані мобільні датчики в пристрої, які носять шахтарі (рис. 2.1б). Застосування технології виявлення газу є значним під впливом складного робочого середовища газу датчики в підземних вугільних шахтах. Це середовище є характеризується декількома факторами, включаючи значні

коливання в атмосферний тиск, висока температура і відносна вологість варіації, високі концентрації частинок пилу та сильні електромагнітні перешкоди. Крім того, є й інші такі фактори, як обвалення кам'яного вугілля, механічні коливання та ін несподівані впливи, які мають різний ступінь впливу на прилади визначення газу. Безпека виробництва підземних вугільних шахт в основному залежить від навколишнього середовища умови шахт. Моніторинг і обслуговування страждає система, що використовує традиційний дротовий зв'язок багато недоліків, включаючи високу вартість будівництва, пошкодження кабелів зв'язку, висока відмовність, незручна система технічне обслуговування та ін. В результаті бездротовий датчик мережі (WSN) стала важливою технологією для постійний моніторинг навколишнього середовища на робочому місці підземні вугільні шахти. Бездротові операції накладають суворі вимоги до енергоспоживання сенсорних вузлів.[8] А низькі ступінь інформатизації та вимоги до регулярного калібрування є іншими основними обмеженнями поточного виробництва вугілля технології безпеки.

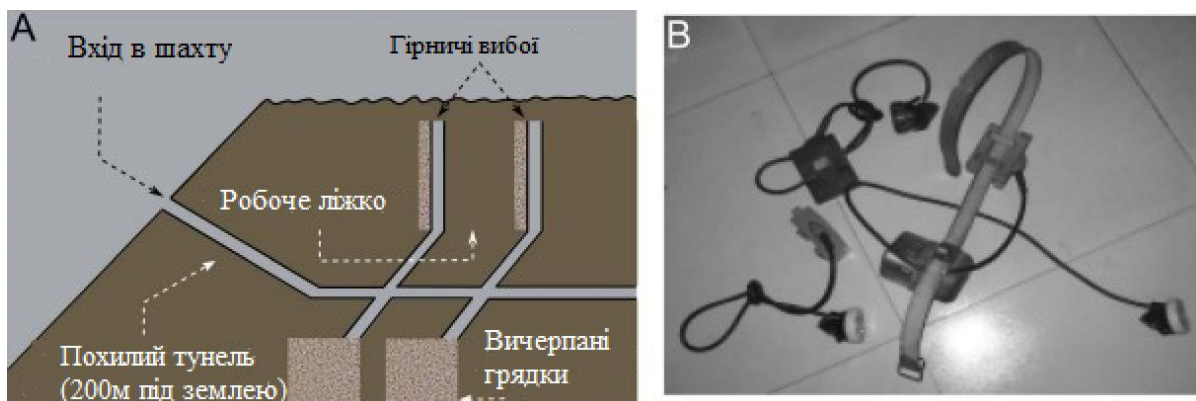


Рисунок 2.1 (а) Ілюстрація типової підземної шахти. (б) Типові пристрої шахтарів. Адаптовано з роботи [8]

Тому це має велике значення для розробити недорогі датчики газу з низьким енергоспоживанням, які не потребують обслуговування, на основі нової технології для виявлення різноманітних отруйні та легкозаймисті гази.[8] Гази, що мають відношення до вибуху або пожежі вугільних шахт метан (CH_4), вуглекислий газ

(CO₂), чадний газ (CO), і кисень (O₂). Газоподібні середовища більше стосуються шахти заліза та інших металів можна знайти в інших місцях література. CH₄, ацетилен, водень і вищі вуглеводні вважаються нетоксичними, але вибуховими. CO₂, радон і його дочірні продукти токсичні. CO, діоксид сірки, оксиди азоту і сірководень (H₂S) є гостро отруйними. Інші домішки, що викликають занепокоєння, є вугільний пил і водяна пара. Підземні пожежі можуть бути спричинені відкритим вогнем, самозайманням вугілля, електрикою, тертям від різання та буріння, зварювання, вибухові роботи, вибух тощо. Спонтанні спалювання вугілля є основною причиною підземних пожеж вугільних шахт і в ідеалі має постійно контролюватися. Зазвичай використовувані газові співвідношення та індекси, видобуті з газу дані моніторингу для прогнозування самозаймання вугілля є коефіцієнт Грема, коефіцієнт Юнга та коефіцієнт оксидів вуглецю, і співвідношення C/H. Коефіцієнт Грема є найпоширенішим показником і визначається співвідношенням утвореного CO до кисню витрачається (DO₂) в процесі самозаймання. Коефіцієнт Грема = $(100 \times CO)/DO_2$. Коефіцієнт Юнга визначається як співвідношення виробленого CO₂ до спожитого O₂. Коефіцієнт Юнга = $(100 \times CO_2)/DO_2$. Збільшення коефіцієнта Юнга та зменшення коефіцієнта Грема в результаті спалювання CO вказує на прогресування вогонь від тліючого до відкритого вогню. Співвідношення оксидів вуглецю визначається як відношення різниці в кінцевому та початковому концентрації CO і CO₂. Співвідношення $CO/CO_2 = (кінцевий CO - початковий CO)/(кінцевий CO_2 - початковий CO_2)$. [9] Перевага використання цього співвідношення полягає в тому, що на нього не впливає приплив повітря, азоту або CH₄. Цей коефіцієнт є більш чутливим індикатором вогню, ніж коефіцієнт Грема. Співвідношення C/H використовується для прогнозування інтенсивності вогню разом з дефіцитом O₂. Співвідношення C/H = $6(CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_4)/2(DO_2 - CO_2 + C_2H_4 + CH_4) + H_2 - CO$. Для отримання додаткової інформації про ці та інші індекси вогняного газу та їхнє значення використовується для прогнозування підземних пожеж вугілля, посилається на відмінне огляд Muduli та ін. Хоча детектори диму є зрілими технологія, робота

Gottuk показали, що комбінування звичайні детектори диму з датчиками CO можуть зменшити помилку тривоги, підвищуючи чутливість виявлення пожежі. Вибухи в підземних вугільних шахтах викликані будь-яким з причин займання CH₄ або вугільного пилу або їх комбінації. Виділення легкозаймистих газів із вугілля, CH₄ та інших незначних газів (redamp) можуть спричинити вибух. Моніторинг в режимі реального часу тому CH₄ і O₂ є критично важливими для виявлення та запобігання підземних вибухів. Коли накопичення CH₄ у підземній вугільній шахті досягає певного діапазону концентрацій, 5– 15%, вибух може бути ініційований наявністю невеликого тепла джерело. Мінімальна концентрація CH₄ (в повітрі) цього діапазону вибухових концентрацій називається нижньою займистістю (LFL) (або нижня межа вибуховості (LEL)). Максимум Концентрація цього діапазону називається верхньою займистістю межа (UFL) (або верхня межа вибуховості (UEL)). Коли CH₄ концентрація падає нижче LEL, кількість CH₄ стає занадто низький, щоб запалити.[10] Так само кількість O₂ стає занадто низькою коли концентрація CH₄ досягає вище UEL і ні відбувається займання. Розглянули та узагальнили діапазон концентрації вибуху при різних температурах і тиску, а також впливу різних перешкод і геометрії на вибухи в підземній шахті. CO і O₂ датчики на вході та виході робочої панелі разом з датчики температури, розміщені на стиках стовпів, увімкнуть моніторинг ризиків для здоров'я та безпеки шахтарів у режимі реального часу. Різниця між співвідношенням концентрації CO та O₂ на ст вихідний і вхідний сигнали використовуються для визначення температури, коли різниця перевищує попередньо встановлене порогове значення. Це призводить до активації вузли датчика температури для визначення точного положення вогню. На додаток до основних наслідків, викликаних горінням і вибухом горючих і окислювальних газів, надмірний вплив певних газів у шахтарському середовищі може призводити до негативного впливу на здоров'я та безпеку шахтарів. Тому в режимі реального часу вибіркового моніторингу певних газів у складні середовища видобутку відповідатимуть критичним вимогам забезпечити безпечні умови праці працівників шахти..

2.2 Нанодатчики критичних газів в шахтах.

Традиційні шахтні датчики відстежують такі параметри, як температура, частинки диму та колір вогню, щоб завчасно попередження, але з обмеженою точністю. Удосконалення датчиків газу технології уможливили дослідження та розробки недорогі датчики газу в режимі реального часу, які підключаються до мережі, для шахт і пожежна безпека. Комерційні хімічні датчики, розгорнуті для моніторингу газу у шахтарських умовах зазвичай базуються на об'ємній або товстій плівці матеріалів. Такі громіздкі пристрої вимагають високого енергоспоживання та часто містять обмежені шляхи дифузії газу молекули для взаємодії з сенсором. Заміна сипучих матеріалів з наноматеріалами, що дозволяє мініатюризувати пристрій значне зниження ваги та енергоспоживання. Наносенсори забезпечують більше співвідношення площі до об'єму сенсорний інтерфейс, ніж традиційні датчики, що призводить до покращення чутливості детектування газу. Мініатюризація сенсора дозволяє виготовлення багат шарових збірок та інтерфейсів або масивів наносенсорів із спеціалізованою хімією для покращеної селективності детектування газу для окремого газу, а також газових сумішей. Крім того, наносенсори пропонують більш швидкий час відгуку завдяки покращення дифузії молекул газу та більша межфазна поверхня площа поверхні. 1,5

До популярних датчиків видобутку газу відносяться датчики на основі теплопровідності і каталітичне горіння, регульована датчики діодної лазерної абсорбційної спектроскопії (TDLAS) та недисперсійні інфрачервоні (NDIR) та електрохімічні датчики. Оптичні спектроскопічні датчики, такі як датчики TDLAS і NDIR вимагають великого та дорогого обладнання та є складними інтегрувати в портативну або носиму оптоелектроніку. Теплові широко використовуються датчики провідності та каталітичні датчики горіння для виявлення CH_4 , але їх продуктивність обмежена масою природа сенсорних інтерфейсів. Включення наноматеріалів таким чином пропонує рішення для вирішення незадоволених

потреб у моніторингу газу в гірничих роботах. Типовими є електрохімічні датчики використовується для моніторингу O_2 і CO , але їх застосування в реальному світі обмежені коротким терміном служби та витоком електроліту. Наноматеріали, що включають тверді електроліти та іонні рідини з молекулярною структурою, виявилися перспективними кандидатами для вдосконалення систем електрохімічного сприйняття. Нанодатчики для виявлення критичних газів в вугільних шахтах можуть бути важливими для забезпечення безпеки працівників та виявлення можливих загроз для життя й здоров'я. Основні гази, які слід виявляти в вугільних шахтах, включають метан, вуглекислий газ і сероводень, які можуть бути небезпечними при накопиченні в значних концентраціях.

Використання нанотехнологій у створенні датчиків має декілька переваг, таких як висока чутливість, швидкість реакції та можливість виявлення навіть низьких концентрацій газів. Наприклад, наноматеріали такі як нанотрубки, квантові точки чи нанодропки можуть бути використані для виготовлення чутливих нанодатчиків газів. Ці нанодатчики можуть бути інтегровані в системи моніторингу та автоматичного керування, що дозволить виявляти наявність критичних газів в реальному часі і при необхідності автоматично включати системи вентиляції або виходити на аварійний режим. Це значно підвищить безпеку робітників і допоможе у запобіганні аварій. Важливо також враховувати стійкість та надійність цих нанодатчиків у важких умовах вугільної шахти, таких як висока вологість, пил та висока температура. Розробка таких технологій потребує спеціалізованих досліджень та тестувань з метою забезпечення їх ефективності та надійності в реальних умовах експлуатації[11].

2.3 Застосування нанодатчиків в воєнних цілях

Нанотехнології змінюють спосіб проектування, живлення, розгортання та використання датчиків у військових системах. Датчики відіграють вирішальну роль у функціонуванні крихітних електронних схем у великих і складних системах.

Наприклад, для роботи електронних та оптоелектронних схем потрібні датчики напруги, струму, температури, світла та інші датчики, тоді як реактивним літакам для роботи потрібні механічні датчики та приводи. Наразі існує потреба у вдосконаленні критичних елементів у вбудованих п'єзоелектричних датчиках, зокрема, адгезивного з'єднання між п'єзоелектричним активним датчиком і структурною підкладкою, яка є слабкою ланкою в сенсорній системі, оскільки вона псується під впливом зовнішнього середовища. Виготовляючи наносенсори безпосередньо на структурі, можна створити безперервний атомний зв'язок зі структурою, який є несприйнятливим до атак навколишнього середовища. Крім того, нановиготовлені п'єзоелектричні матеріали матимуть добре впорядковану кристалічну структуру з квазікутовою орієнтацією домену, що надає властивостей монокристалу. Розпізнавання молекул газу має вирішальне значення для моніторингу навколишнього середовища, контролю хімічних процесів, космічних місій, а також сільського господарства та медицини програми. Вуглецеві нанотрубки були реалізовані як хімічні датчики, здатні виявляти невеликі концентрації молекул токсичного газу, наприклад NO_2 , NH_3 тощо. Перевагою хімічних датчиків на основі вуглецевих нанотрубок перед звичайними газовими датчиками є: м'які умови реакції (кімнатна температура), швидка реакція, вища чутливість і висока площа поверхні адсорбції. Газові сенсори на основі нанотрубок використовуються для виявлення біохімічної зброї, наземних мін, забруднення повітря та навіть органічних молекул у космосі. Передбачається, що нанотехнології, ймовірно, запропонують значні досягнення та переваги в оборонних можливостях, надаючи нові можливості для захисту та нові зовнішні загрози. Ймовірно, є значні перспективи для розробки поширених датчиків і пристроїв. Передбачається, що основний початковий захисний вплив буде в інформаційних системах, обробці даних та їх комерціалізації з використанням великої кількості нових і дешевих датчиків.



Рисунок 2.2 Зовнішній вигляд датчиків на вертоліті. Адаптовано з роботи [24]

Ці розробки дозволять всеосяжним наносенсорам сприяти національній обороноздатності шляхом раннього виявлення викидів хімічних або біологічних речовин і посилення можливостей спостереження. Крім того, вся армія потребує цілого ряду одягу, броні, зброї та засобів особистого зв'язку, які, ймовірно, можуть бути можливими завдяки недорогим, але потужним датчикам і обробці шляхом оптимізації їхніх характеристик, роботи та продуктивності, щоб автоматично відповідати мінливим умовам. Нанотехнології, які використовуються для створення мікророзмірних датчиків, можуть бути приєднані до безпілотних літальних апаратів для збору інформації про навколишнє середовище на театрі бойових дій, що матиме велике значення. Нанотехнологічні дослідження були спрямовані на покращення властивостей одягу та інших матеріалів за допомогою дизайну на молекулярному рівні. Розумна уніформа, на яку нанесено нанорозмірні датчики та покриття з унікальними властивостями, зможе вилікувати поранених солдатів. Можна буде дізнатися, де знаходиться окремий солдат і що з ним не так. Костюм можна активувати віддалено для виконання бажаної місії. У надзвичайних ситуаціях, якщо солдат має поранення, але він без свідомості, можна подати сигнал на рукави костюма закритися та накласти джгут.

2.4 Застосування в лісних пожежах

Раннє виявлення пожежі, бажано на її початковій стадії, має важливе

значення в операціях гасіння пожежі. Розробка інструментів, що використовуються для моніторингу та сигналізації про загрозу, спрямована на створення інструментів і методів, які дозволяють виявляти дуже низькі концентрації частинок диму, підвищення температури, випромінювання світла або характерні газоподібні продукти згорання. Слід, однак, зазначити, що виділення диму, який є колоїдною системою, в якій дисперсна фаза є рідиною або твердою речовиною, багато в чому залежить від властивостей матеріалу, способу його горіння та стадії розвитку пожежі. Одним з основних елементів датчиків диму є стабільне джерело світла. Крім того, залежно від методу виявлення диму, розсіювання або поглинання, потрібне джерело випромінювання різної довжини хвилі та інтенсивності. Нанотехнології дозволяють отримувати фотоелементи, параметри яких значно перевищують звичайні матеріали. Використання фотолюмінесцентних елементів на основі квантових точок QD-LED (Quantum Dot Light Emit-ting Device) дозволяє підвищити чутливість. Такі джерела світла характеризуються високою стабільністю, вузьким діапазоном випромінюваного світла, можливістю регулювання довжини хвилі, чистотою кольору та технологічністю розчину

2.5 Застосування нанодатчиків на атомних електростанціях

Датчики на основі нанокристалічних матеріалів використовуються в суворих умовах для виявлення слідів/ультраслідів газів і летких речовин. Для моніторингу концентрації H_2 10-15 ppb при регулярній експлуатації умовах ядерного реактора і в присутності пари високого тиску електрохім використовувався лічильник водню. H_2 також контролювався в умовах низької потужності за допомогою амежа виявлення 30 ppm і при $T_{\text{па}} \sim 250^\circ\text{C}$. Використання в реакторах на швидких розмножувачах рідкого натрію як а охолоджуюча рідина безпечніша, завдяки електрохімічному лічильнику водню.

Стандартні, надійні датчики кисню, як правило, на основі торію, легованого оксидом ітрію. Портативні датчики кисню були виготовлені спрощеним способом

виробництва (співвипал) для ламінованих керамічних листів. Стабілізований оксидом ітрію діоксид цирконію (YSZ) та композити діоксид цирконію/кордієрит, стабілізований оксидом ітрію для пористих датчик шарового типу, як твердий електроліт і як дифузійний бар'єр відповідно. Датчики зроблені у вигляді монолітного корпусу, що тримає візерунковий нагрівач за допомогою процесу ламінування. Паперовий датчик кисню, простий прототип, виготовлений із кристалічної плівки ZnO, яка легко розсіюється на поверхні паперу. Використання ультрафіолетового освітлення над фотопровідною поверхнею датчиків, ультрафіолетове світло викликає десорбцію кисню, викликаючи коливання струму в датчику. Ці варіації безпосередньо пропорційні концентрації кисню. Завдяки високій пористості паперу і ZnO цей датчик став привабливим завдяки простоті виготовлення та використанню дуже недорогих матеріалів конструкція з високою чутливістю навіть при низьких концентраціях кисню у вакуумних середовищах. Кілька водоохолоджувальних башт реактора з киплячою водою та реактора з водою під тиском в атомній енергетиці установки (АЕС) потребують вимірювання вологості за дуже високих температур і дуже високого рівня вологості а іноді вимірювання на місці в умовах на місці, наприклад, корозійних умов керна, бажано знати потенціал електрохімічної корозії (ЕСР). Температура є одним з важливих параметрів і є широко вимірюваними параметрами на АЕС. Незалежно від виду рослини, точні та для її оперативного розрізнення потрібне надійне вимірювання температури. Неправильні вимірювання може бути через електричні ефекти, нелінійність або нестабільність може призвести до пошкодження або втрати основне обладнання. Попит на високотемпературні датчики хімії води зростає, і дослідження у тих областях прискорено для застосування на АЕС. Використання підвищеної температури контрольно-вимірювальної апаратури, яка може вирішити проблеми ремонтного цеху заводу, де вона була розташованій? і що з цим робити? задовго до того, як хтось із учасників операції навіть запідозрить їх існування питання. Термопара використовується для високих температур 3100°F. Т/К, які швидше дадуть відповідь зміни температури, ніж RTD, і вони більш довговічні, що

дозволяє використовувати їх в умовах високої вібрації і програми, пов'язані з ударами. Термопари [9] вибираються відповідно до температур і очікувані умови:

- Для темп. $< 1000^{\circ}\text{F}$ і місця з низьким рівнем корозії: NiCr-Ni (тип K)
- Для темп. $< 1832^{\circ}\text{F}$ і корозійна атмосфера: NiCr-Ni (тип N)
- Для темп. $> 1832^{\circ}\text{F}$: Pt Rh-Pt (типи R і S). Розуміння хімічних процесів і систем теплоносія в ядерних реакторах [10] є важливим і суворо контролюється,

щоб мінімізувати деградацію матеріалу, а також регулювати потужність ядерного реактора. Таким чином, реактори з водою під тиском здебільшого покладаються на додавання бору до теплоносія першого контуру для контролю активності активної зони протягом паливного циклу, але існує потреба в балансі кислотних концентрацій LiOH для мінімізації корозії та транспортування продуктів корозії[11]. Багатьом пристроям, таким як монітори працездатності, нафтові бури та ядерні реактори, потрібні внутрішні датчики стежити за фізичними станами, такими як вологість, температура. Вимірюють нові фотонні структури [12]. температура та вологість є крихтними та дуже точними датчиками.

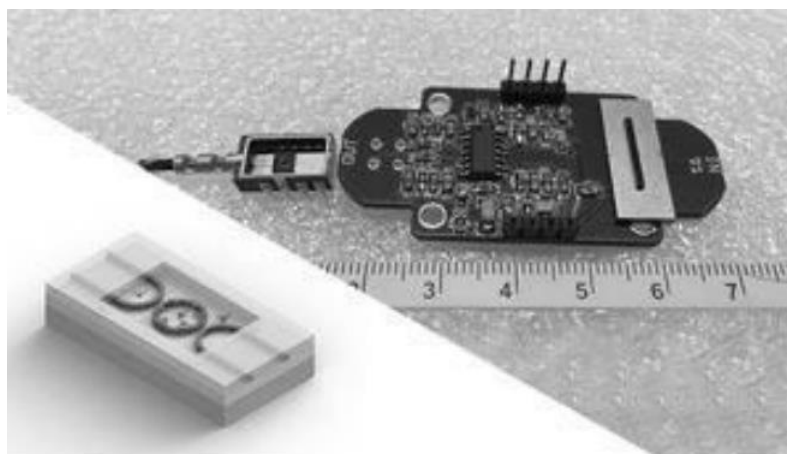


Рисунок 2.2 Фотонного датчика температури. Адаптовано з роботи [23].

Крихтні фотонні датчики виготовлені з кремній забезпечує точні показання, не пошкоджуючись навіть у корозійних, токсичних і вибухових речовинах умови. Сінгапур, дослідники ASTAR з IME розробили крихтний оптичний датчик температури (120x80 мкм) (див. рис 2.2).

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ В ВАЖКОДОСТУПНИХ МІСЦЯХ

3.1 Розробка та моделювання

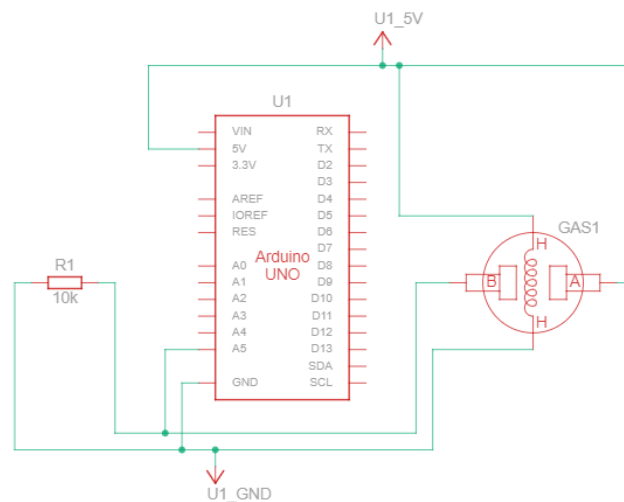


Рисунок 3.1 Схема прилада

Компоненти схеми:

- Arduino Uno: Це мікроконтролерна плата, яка використовується для обробки даних з датчика.
- Датчик MQ-2: Це газочутливий датчик, який використовується для виявлення газу пропан, бутан, водень, чадний газ та інших горючих газів.
- Резистор 10 кОм: Цей резистор використовується для обмеження струму через датчик.
- Конденсатор 0,1 мкФ: Цей конденсатор використовується для фільтрації шуму.
- Змінний резистор 10 кОм: Цей резистор використовується для регулювання чутливості датчика.

- Світлодіод: Цей світлодіод використовується для індикації спрацьовування датчика.

На першому погляді, це простий механізм, але у його основі лежить складна танцювальна симфонія технологій та інженерного мистецтва.

3.2 Принцип роботи

Принцип роботи цієї системи з виявлення газів розкривається через кожен етап виконання, де кожен компонент відіграє свою важливу роль у забезпеченні безпеки та надійності.

Починаючи з самого початку, датчик MQ-2 виступає як чутливий обсерватор, постійно скануючи оточуюче повітря на предмет цільових газів. Коли він реєструє їх присутність, він реагує зміною свого опору, в якості відповіді на цю хімічну стимуляцію.

Ця зміна опору, як ключовий сигнал, потім передається наступному етапу - перетворенню сигналу. Дільник напруги, складаючись з резисторів, трансформує цю зміну опору у вимірювану напругу, яка подається на аналоговий вхід Arduino Uno.

Arduino Uno, як контролер, приймає цей аналоговий сигнал і конвертує його у цифрові дані, розумні для мікроконтролера. Після цього він порівнює отримане цифрове значення з встановленим пороговим рівнем, що визначає критичну концентрацію газу.

Коли цифрове значення перевищує встановлений поріг, мікроконтролер ініціює виконання заданих дій, включаючи увімкнення світлодіода. Цей світлодіод виступає як візуальний індикатор небезпеки, сигналізуючи про виявлення небезпечної концентрації газу в оточуючому середовищі.

Застосовуючи цей механізм, система не лише виявляє потенційні загрози, але й швидко реагує на них, спрацьовуючи за необхідності, що робить її важливим інструментом для забезпечення безпеки та контролю в різних ситуаціях.

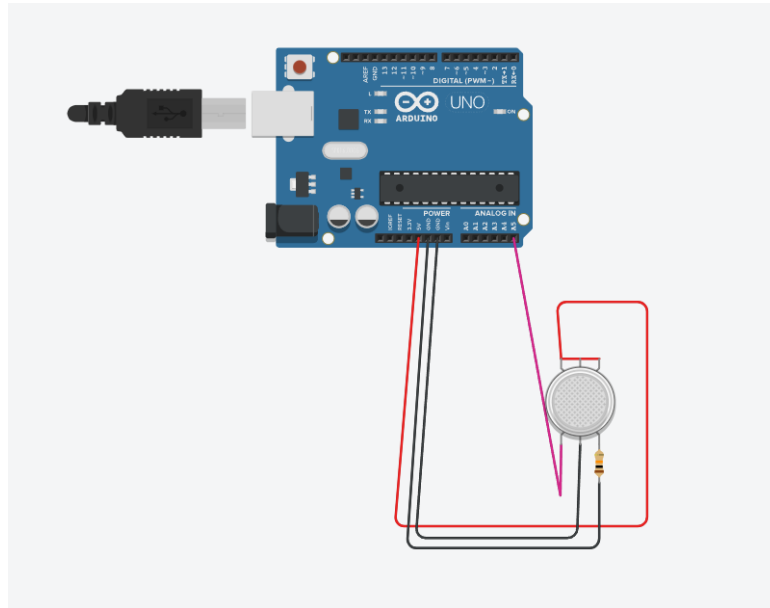


Рисунок 3.2 Зовнішній вигляд схеми датчика диму MQ-2

3.3 Розробка та пояснення кода програми нанодатчика

Для цього датчика потрібно ще написати код який буде справно працювати щоб виявити пожежу.

Цей код має такий вигляд

```
// C++ code
//
int d = 0;

void setup()
{
  pinMode(A5, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  Serial.println(analogRead(A5));
  delay(10); // Delay a little bit to improve simulation performance
```

```
}
```

Цей код C++ є простим прикладом, який зчитує аналогове значення з датчика, підключеного до аналогового входу A5 на Arduino, і друкує його на моніторі послідовного порту.

Розбивка коду:

1. Декомпозиція змінних:

`int d = 0;` оголошує цілу змінну під назвою `d` та ініціалізує її значенням 0. Ця змінна наразі не використовується в коді.

2. Функція `setup()`:

`pinMode(A5, INPUT);` встановлює пін, підключений до аналогового входу A5 плати Arduino, як вхідний пін. Це повідомляє Arduino, що очікується вхідний сигнал від датчика, підключеного до цього піна.

`Serial.begin(9600);` ініціалізує послідовний зв'язок між Arduino та вашим комп'ютером зі швидкістю передачі даних 9600 бод. Це дозволяє вам бачити вивід програми на моніторі послідовного порту вашого комп'ютера.

3. Функція `loop()`:

Ця функція виконується повторно, поки програма працює.

`Serial.println(analogRead(A5));` зчитує значення напруги з аналогового входу A5 за допомогою функції `analogRead()`. Ця функція повертає значення від 0 до 1023, яке відповідає діапазону аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) на платі Arduino. Потім функція `Serial.println()` друкує це значення, за яким йде символ нового рядка, на монітор послідовного порту.

`delay(10);` додає коротку затримку 10 мілісекунд між зчитуваннями. Ця затримка зазвичай використовується для покращення продуктивності програми під час моделювання, але вона не є суворо необхідною для функціональності.

ВИСНОВОК

1. Аналіз літературних джерел показує, що нанодатчики широко застосовуються для вимірювання, виявлення та моніторингу різних параметрів і властивостей у різноманітних середовищах. Ці сенсори мають розміри від кількох до декількох сотень нанометрів і здатні виявляти навіть найменші зміни у своєму оточенні.

2. Газові датчики є ключовими пристроями для виявлення токсичних газів таких як чадний газ або окис вуглецю CO. Рецептор взаємодіє з молекулами газу, змінюючи параметри, такі як опір або маса, які перетворювач конвертує в електричний сигнал. Датчики, такі як MQ-2 на основі напівпровідникових металів, ефективно виявляють небезпечні гази завдяки високій чутливості і швидкому часу реакції. Перехідні метали, як MoS₂, демонструють високу перспективу в газовій сенсоріці завдяки своїм чудовим фізико-хімічним властивостям, що робить їх важливими для швидкого і точного виявлення газів.

3. Використання нанодатчиків у боротьбі з лісовими пожежами, на воєнних цілях та на атомних електростанціях є ключовим для забезпечення безпеки, виявлення небезпеки та оперативного реагування на них. Нанодатчики володіють високою чутливістю та точністю до декількох до десятків ppb (частин на мільярд), що дозволяє їм виявляти пожежі, небезпечні речовини чи радіаційний випромінювання навіть на ранніх стадіях.

4. У кваліфікаційній роботі я створив та відтворив систему для виявлення пожеж у важкодоступних місцях на базі Arduino Uno в середовищі Tinkercad. Система спрацьовує якщо у зоні фіксується витік газів (з концентрацією 300-10000 ppm) таких як чадний газ або дим, також це супроводжується світлодіодною індикацією.

СПИСОК ВИКОРИТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. David J.E. Callaway, Tsutomu Matsui, Thomas Weiss, Laura R. Stingaciu, Christopher B. Stanley, William T. Heller, and Zimei Bu¹, Controllable activation of nanoscale dynamics in a disordered protein alters binding kinetics 2017 24 p.
2. M. Mittal, A. Kumar Sensors and Actuators B: Chemical 2014 pp. 249-262
3. O. Lupan ^{a,b, *}, G.A. Emelchenko ^c , V.V. Ursaki ^{d,e} , G. Chai ^a , A.N. Redkin ^f , A.N. Gruzintsev ^f , I.M. Tiginyanu ^{d,e,h} , L. Chow ^{a,g} , L.K. Ono ^a , B. Roldan Cuenya ^{a,i,j} , H. Heinrich ^{a,g} , E.E. Yakimov ^f Synthesis and characterization of ZnO nanowires for nanosensor applications 2017 7 p.
4. Ru" stem Kec, ili , Sibel Bu" yu" ktiryaki¹ and Chaudhery Mustansar Hussain. Engineered Nanosensors Based on Molecular Imprinting Technology 2018 16p.
5. Agnivo Gosai, Brendan Shin Hau Yeah, Marit Nilsen-Hamilton, Pranav Shrotriya, Label free thrombin detection in presence of high concentration of albumin using an aptamer-functionalized nanoporous membrane, Biosensors and Bioelectronics. 2019 21 p.
6. Priyadarshini, E. Pradhan, N. . "Gold nanoparticles as efficient sensors in colorimetric detection of toxic metal ions: A review". Sensors and Actuators B. 2017 232 p.
7. S. Kruchinin V. N. Ermakov Electronic Nanosensors Based On Nanotransistor With Bistability Behaviour 2009 pp.341-349
8. Mahroo Baharfar, Jiancheng Lin,^a Mohamed Kilani, Liang Zhao, Qing Zhang^c and Guangzhao Mao Gas nanosensors for health and safety applications in mining 2023 20 p.
9. D. Nagai, M. Nishibori, T. Itoh, T. Kawabe, K. Sato and W. Shin, Sens. Actuators, B, 2015, 206, 488–494.
10. Y. Wang, A. Shi and F. Li, Infrared Phys. Technol., 2019, 99, 284–291.
11. H. Wan, H. Yin, L. Lin, X. Zeng and A. J. Mason, Sens. Actuators, B, 2018, 255, 638–646.
12. Y. Wang, M. M. Tong, D. Zhang and Z. Gao, Sensors, 2010, 11, 19–31.
13. M. Li and Y. Liu, ACM Trans. Sens. Netw., 2009, 5, 1–29
14. Mukesh Kumar, Abhay V. Agrawal Mahmood Moradi² and Ramin Yousefi Nanosensors for gas sensing applications pp. 107-129

15. Y. Liu, et al., Hydrogen gas sensing properties of MoS₂/Si heterojunction, *Sens. Actuators B: Chem.* 211 2015 pp. 537-543.
16. D.-H. Baek, J. Kim, MoS₂ gas sensor functionalized by Pd for the detection of hydrogen, *Sens. Actuators B: Chem.* 250 2017 pp. 686-691.
17. C. Kuru, et al., High-performance flexible hydrogen sensor made of WS₂ nanosheet Pd nanoparticle composite film, *Nanotechnology* 27 2016 p.200
18. L. Hao, et al., Flexible Pd-WS₂/Si heterojunction sensors for highly sensitive detection of hydrogen at room temperature, *Sens. Actuators B: Chem.* 283 2019 pp. 740-748.
19. A. Venkatesan, et al., Molybdenum disulfide nanoparticles decorated reduced graphene oxide: highly sensitive and selective hydrogen sensor, *Nanotechnology* 28 2017 pp. 153-160
20. Y. Zhang, et al., The hydrothermal synthesis of 3D hierarchical porous MoS₂ microspheres assembled by nanosheets with excellent gas sensing properties, *J. Alloys Compd.* 749 2018 pp. 355-362.
21. D. K. Kharat H. Muthurajan, and B. Praveenkumar Present and Futuristic Military Applications of Nanodevices 2006 pp. 231-235
22. A. Rabajczyk, M. Zielecka, T. Popielarczyk and T. Sowa Nanotechnology in Fire Protection—Application and Requirements 2021 p. 26
23. M. Land Role of Sensors (Nano) in Nuclear Technology // *Journal of Physics: Conference Series IOP Conference Series* 2024 pp. 1-5
24. <https://www.militaryethernet.com/4-military-sensor-technologies-drones-transporting-commercial-market/> (дата доступу 27.05.2024)
25. R. C. Pandey , M. Verma , L. K. Sahu Internet of Things (IOT) Based Gas Leakage Monitoring and Alerting System with MQ-2 Sensor 2017 pp. 2135-2137