



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **120404** (13) **C2**  
(51) МПК (2019.01)  
**G01N 27/14** (2006.01)  
B82Y 15/00  
**G01N 33/00**

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: <b>а 2018 03403</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>02.04.2018</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>25.11.2019</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: <b>10.10.2019, Бюл.№ 19</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.11.2019, Бюл.№ 22</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Перекрестов Вячеслав Іванович (UA), Корнющенко Ганна Сергіївна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,</b> вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: RU 2171468 C1, 27.07.2001 RU 2272006 C1, 20.03.2006 US 8443647 B1, 21.05.2013 Мошников, В. А., Налимова С. С., Селезнев Б. И. "Газочувствительные слои на основе фрактально-перколяционных структур." Физика и техника полупроводников 48, № 11, 2014, с. 1535-1539 Sysoev, V. V. et al. "A gradient microarray electronic nose based on percolating SnO2 nanowire sensing elements." Nano letters 7, no. 10, 2007, p. 3182-3188 Bläser, G. et al. "Nanostructured semiconductor gas sensors to overcome sensitivity limitations due to percolation effects." Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 266, no. 1-4, 1999 p. 218-223 Moshnikov, V. A. et al. "Hierarchical nanostructured semiconductor porous materials for gas sensors." Journal of non-crystalline solids 356, no. 37-40, 2010, p. 2020-2025</p>
---	---

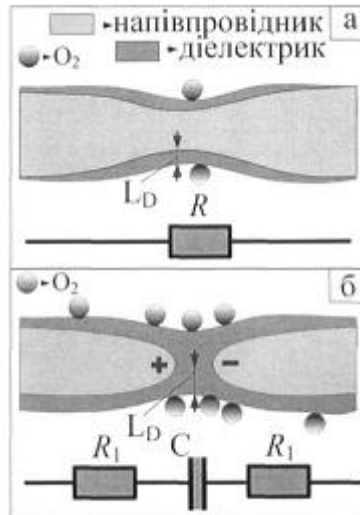
## (54) СПОСІБ АНАЛІЗУ СКЛАДУ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ

### (57) Реферат:

Винахід може бути використаний при вирішенні екологічних проблем, пов'язаних з забрудненням повітря, а також для забезпечення необхідних технологічних умов виробництва і отримання інформації в різних областях науки і техніки, що вимагають забезпечення контролю за складом та кількісними характеристиками компонентів газового середовища. Спосіб аналізу складу газових сумішей здійснюється шляхом виміру електричної характеристики поміщеного в досліджувану газову суміш газового детектора, нагрітого до температури 100÷700 °С. Газочутливий напівпровідниковий детектор і нагрівальний елемент розміщуються на ізолюючій підкладці. При цьому попередньо проводилося калібрування шляхом розміщення детектора в чистому повітрі і в газовій пробі, що містить відому кількість домішок стороннього газу. Як детектор використовуються оксиди металів, що мають фрактально-перколяційну форму з локальними діаметрами напівпровідникових каналів протікання струму, які менші двох товщин

UA 120404 C2

дебаєвського екранування. Аналіз складу газової суміші проводиться шляхом вимірювання у фрактально-перколяційних детекторах оксидів металів безперервних циклів вольт-амперних характеристик в цифровому варіанті зі строго визначеними швидкостями зміни напруги до того часу, поки вольт-амперна характеристика останнього циклу не співпадає з попередньою. Технічним результатом винаходу є отримання більш достовірної інформації щодо складу газових сумішей та спрощення способу аналізу складу газових сумішей.



Фиг. 1

Винахід належить до технології аналізу складу газових середовищ і може бути використаний при вирішенні екологічних проблем, пов'язаних з забрудненням повітря, а також для забезпечення необхідних технологічних умов виробництва і отримання інформації в різних областях науки і техніки, що вимагають забезпечення контролю за складом та кількісними характеристиками компонентів газових сумішей.

Відомий спосіб аналізу складу газових сумішей [1], що включає попереднє нагрівання багатодетекторного твердоелектролітного сенсора, пропускання аналізованих газових сумішей через простір, що безпосередньо примикає до газодифузійної мембрани сенсора, вимір значень вихідних сигналів (напруг на потенціометричних детекторах і струму через амперометричні детектори) сенсора і перетворення їх в значення концентрацій компонентів аналізованих газових сумішей, при цьому попередньо проводять наладку газоаналізатора при експозиції

твердоелектролітного сенсора в хімічно рівноважних газових сумішах, здійснюють калібрування сенсора і визначають його градувальні функції, градування детекторів проводять в газових сумішах відомого складу, при цьому кількість використовуваних комбінацій градувальних газових сумішей становить не менше  $2(N+M)+1$ , де N-кількість амперометричних детекторів в складі сенсора; M-кількість потенціометричних детекторів в складі сенсора, набір компонентів газових сумішей і діапазон їх концентрацій відповідає передбаченим складам аналізованих газових сумішей, використання робочих режимів і перетворення сигналів твердоелектролітного сенсора здійснюють одночасно на постійному та змінному струмі, пропусканням змінного струму постійної амплітуди забезпечують остаточний розігрів і стабілізацію базових робочих температур твердоелектролітних детекторів сенсора, при цьому сигнал змінної напруги, що знімається з порівняльного детектора, використовують для стабілізації температури порівняльного детектора і робочої камери сенсора, одночасно з порівняльного детектора знімають сигнал термо-е.р.с, що несе інформацію про активність кисню в газовій суміші, реєструють сигнали змінної напруги від інших твердоелектролітних детекторів за рахунок зміни температури цих детекторів в результаті протікання на їх електродах термокаталітичних реакцій, і по змінах значень сигналів змінної напруги визначають концентрацію горючих компонентів в аналізованих газових сумішах, одночасно з робочих електродів цих електролітних детекторів знімають сигнали постійного струму і напруги, обумовлені протіканням електрохімічних реакцій на цих електродах, і за значеннями постійного струму і напруги визначають концентрації газоподібних оксидів і горючих компонентів, що входять до складу аналізованої суміші, всього на виході сенсора одночасно реєструють  $2(N+M)+1$  сигналів, по сукупності цих сигналів і за допомогою отриманої при калібруванні градувальної функції визначають кількісний склад і значення концентрацій компонентів аналізованої газової суміші.

До числа недоліків аналога слід віднести використання сенсора, що складається з N амперометричних детекторів і з M потенціометричних детекторів у складі сенсора. Використання детекторів різного типу ускладнює процес ідентифікації газів в їх суміші, а також унеможливує їх виготовлення в єдиному технологічному процесі, що визначає більш високу ціну електрохімічних сенсорів в порівнянні з напівпровідниковими сенсорами. При цьому опір електрохімічних сенсорів на кілька порядків вищий опору напівпровідникових сенсорів, а також одночасно необхідно реєструвати  $2(N+M)+1$  сигналів, що значно ускладнює процес аналізу газових сумішей та вимагає застосування більш дорогих електрометричних пристроїв реєстрації сигналів і напруг живлення.

Найбільш близьким технічним рішенням до винаходу, що заявляється, є спосіб аналізу складу газової суміші [2] шляхом виміру електричної характеристики поміщеного в досліджувану газову суміш газового детектора, нагрітого до температури  $100\div 700$  °С, при цьому як електрична характеристика вибрана вольт-амперна характеристика  $I(U)$ , а також здійснюють попереднє калібрування шляхом розміщення детектора в чистому повітрі і в газовій пробі, що містить відому кількість домішок стороннього газу, змінюють напругу і/або температуру нагрівання газочутливого детектора до виникнення нелінійної ділянки на вольт-амперній характеристиці, визначають величину напруги  $U_c$ , при якій вольт-амперна характеристика переходить до нелінійного закону, причому калібрування здійснюють шляхом вимірювання вольт-амперної характеристики детектора в області напруг, менших  $U_c$ , визначають концентраційну залежність відношення зміни провідності датчика в газовій пробі до провідності в чистому повітрі на початковій лінійній ділянці вольт-амперної характеристики в області напруг, менших  $U_c$  вимірюють провідність датчика на початковій лінійній ділянці вольт-амперної характеристики досліджуваної концентрації домішки і визначають відношення зміни провідності датчика в присутності домішки до провідності в чистому повітрі, за значенням якого визначають концентрацію домішки в повітрі, при цьому як датчик вибирають електродну систему з

напівпровідниковою газочутливою плівкою і нагрівальним елементом, що розміщені на ізолюючій підкладці, а величину міжелектродного зазору вибирають з величини заданої робочої напруги, що прикладається між електродами, і заданої робочої температури таким чином, щоб на вольтамперній характеристиці датчика спостерігався перехід від лінійної ділянки в області

5

низьких напруг до нелінійної ділянки в області високих напруг. Недоліком прототипу є те, що як детектор вибирають напівпровідникову газочутливу плівку, що ускладнює процес ідентифікації газової суміші, так як в цьому випадку для розширення об'єму отриманої інформації необхідно визначити критичну напругу, а потім дослідити вольт-амперну характеристику в двох розділених критичною напругою інтервалах напруг. Крім цього, вимірювання вольт-амперних характеристик в прототипі проводиться не в цифровому варіанті, що не дозволяє більш ефективно та спрощено проводити математичну обробку отриманих результатів. Також в прототипі не передбачена методика встановлення часу, на протязі якого відбувається стабілізація процесів зарядопереносу, зміна яких відбувалася під дією на детектор нової газової суміші. В цьому випадку виникає проблема отримання достовірної інформації.

10

15

В основу винаходу поставлена задача отримання більш достовірної інформації щодо складу газових сумішей та спрощення способу аналізу складу газових сумішей шляхом використання тільки одного діапазону напруг вимірювання вольт-амперної характеристики при збільшенні об'єму отриманої інформації, яка є різною для різних газових сумішей, а також визначення часу, протягом якого відбувається стабілізація процесів зарядопереносу в детекторі, зміна яких відбувалася під дією на нього нової газової суміші.

20

Поставлена задача вирішується тим, що в способі аналізу складу газового середовища шляхом виміру вольт-амперної характеристики  $I(U)$ , поміщеного в досліджувану газову суміш газочутливого напівпровідникового детектора, нагрітого нагрівальним елементом до температури  $100\div 700$  °С, та здійснення попереднього калібрування шляхом розміщення детектора в чистому повітрі і в газовій суміші, що містить відому кількість домішки стороннього газу, відповідно до винаходу, з метою отримання більш достовірної інформації щодо складу газових сумішей та спрощення способу аналізу складу газових сумішей, як газочутливий напівпровідниковий детектор використовують оксиди металів у фрактально-перколяційній формі з локальними діаметрами напівпровідникових каналів протікання струму, які менші двох

25

30

35

товщин дебаєвського екранування, а виміри вольт-амперних характеристик у фрактально-перколяційних детекторах оксидів металів виконують у вигляді безперервних циклів в цифровому варіанті зі строго визначеними швидкостями зміни напруги до того часу, поки вольт-амперна характеристика останнього циклу не співпадає з попередньою, при цьому масив інформації у вигляді значень струму  $I_i$  та напруги  $U_i$  в  $n$  точках вольт-амперної характеристики останнього циклу піддають математичній обробці і по одержаним при цьому параметрам визначають склад тієї, чи іншої газової суміші.

40

Використання способу, що заявляється, у сукупності з усіма істотними ознаками, включаючи відмінні, дозволяє за рахунок використання тільки одного діапазону напруг вимірювання вольтамперної характеристики при збільшенні об'єму отриманої інформації, яка є різною для різних газових сумішей, а також визначення часу, протягом якого відбувається стабілізація процесів зарядопереносу в детекторі, зміна яких відбувалася під дією на нього нової газової суміші, отримати більш достовірну інформацію щодо складу газових сумішей та більш спрощено аналізувати склад газових сумішей

Використання детекторів оксидів металів у фрактально-перколяційній формі з локальними діаметрами напівпровідникових каналів протікання струму, які менші двох товщин дебаєвського екранування дозволяє відкривати або перекривати канали протікання струму в різних областях детектора. На фіг. 1 схематично представлені варіанти стану елемента детектора у вигляді фрактально-перколяційної наносистеми на основі оксиду металу з  $n$ -провідністю, що містить малу (а) та велику (б) кількість адсорбованого кисню. За умов адсорбції на її поверхні малої концентрації кисню або великої концентрації відновлюючого газу, тобто коли дві товщини шару дебаєвського екранування  $L_D$  менші діаметра каналу протікання струму, зберігається протікання струму через напівпровідниковий елемент наносистеми (фіг. 1 а). Другий випадок визначається великою кількістю адсорбованого кисню або малою кількістю відновлюючого газу (фіг. 1 б). За цих умов дві дебаєвські товщини екранування в найбільш тонкій частині елемента перевищують товщину цього елемента, що перетворює його в діелектричний проміжок мікроконденсатора. Таким чином залежно від природи газу та його кількості в адсорбованому стані може відкриватися або перекриватися канал протікання струму через структурний елемент фрактально-перколяційної системи. Наближений до порогу протікання струму стан системи і визначає основну характеристику фрактально-перколяційного детектора [3].

45

50

55

При наявності у фрактально-перколяційній системі мікроконденсаторів (див. фіг. 1.6), зміна струму  $I$  з часом  $t$  при підведенні напруги  $U$  до ланцюга, що має ємність  $C$  та опір  $R$  визначається співвідношенням

$$I = \frac{U}{R} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right). (1)$$

Співвідношення (1) вказує на значний початковий струм, що йде на зарядку конденсатора. При цьому по закінченні часу  $t=RC$  відбувається зарядка конденсатора на 63 % і подальший повільний спад струму до повної зарядки. Отже, при підвищенні  $R$  і  $C$  швидкість спаду струму уповільнюється. При об'єднанні великої кількості  $RC$ -ланцюгів окремих ділянок фрактально-перколяційної наносистеми формуються ланцюги з еквівалентними інтегральними  $R_{\alpha}C_{\alpha}$ -характеристиками. При цьому для різних ланцюгів з інтегральними характеристиками виконується нерівність  $R_{\alpha_1}C_{\alpha_1} \gg R_{\alpha_2}C_{\alpha_2} \gg \dots \gg R_{\alpha_n}C_{\alpha_n}$ . Тоді, без урахування контактних процесів, еквівалентну електричну схему фрактально-перколяційних наносистем можна представити у вигляді паралельно з'єднаних різних  $R_{\alpha_i}C_{\alpha_i}$ -ланцюгів. Схематичне зображення еквівалентних ланцюгів у фрактально-перколяційних наносистемах без урахування процесів на контактах представлено на фігурі 2. При цьому згідно зі співвідношенням (1) і спрощеної еквівалентної схемою (див. фіг. 2), вольтамперна характеристика буде визначатися наступним співвідношенням:

$$I = wt \left[ \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{\alpha_i}} \exp\left(-\frac{U}{wR_{\alpha_i}C_{\alpha_i}}\right) + \frac{1}{R} \right]. (2)$$

Тут  $U=wt$ -напруга,  $w$ -швидкість зміни напруги з часом  $t$ ,  $n$ -кількість  $R_{\alpha_i}C_{\alpha_i}$ -ланцюгів, а доданок  $wt/R$  визначає струм в ланцюзі, що не має конденсатори. Зі співвідношення (2) можна зробити висновок про те, що при строго фіксованій швидкості зміни напруги  $w$  відбудеться почергова повна зарядка конденсаторів в ланцюгах спочатку з малими, а потім послідовно дедалі більшими значеннями  $R_{\alpha_i}C_{\alpha_i}$ . З цієї причини після зарядки конденсаторів в першому  $R_{\alpha_1}C_{\alpha_1}$ -ланцюгу і при неповній зарядці конденсаторів в другому  $R_{\alpha_2}C_{\alpha_2}$ -ланцюгу слід очікувати зниження струму, що проходить через всю наносистему. Так як при різних процесах адсорбції, реакції і десорбції різних газів на різних активних центрах поверхні детектора реалізуються різні канали протікання і системи конденсаторів, характер залежності струм-напруга визначається складом та тиском елементів газової суміші, що діє на детектор. Виходячи з цього характер вольтамперної характеристики визначається складом газової суміші, що дозволяє проводити її аналіз без визначення критичної напруги  $U_c$  та без дослідження окремо у відповідних двох діапазонах вимірювання вольтамперної характеристики. Так як зарядка конденсаторів залежить від часу, вольтамперні характеристики слід отримувати при строго визначеній швидкості зміни напруги. При цьому наявність конденсаторів можлива за умови, коли локальні діаметри напівпровідникових каналів протікання струму менші двох товщин дебаєвського екранування. Дослідження вольт-амперних характеристик в цифровій формі дозволяє розширити масив інформації у вигляді струму  $I_i$  та напруги  $U_i$  в  $n$  точках залежностей струм-напруга. Це дозволяє більш спрощено проводити математичну обробку отриманого масиву чисел  $I_i$ ,  $U_i$ , наприклад, за допомогою виразу

$$Z_c = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{I_{i+1} - I_i}{U_{i+1} - U_i} \right) I_i^2 - \left( \frac{I_{n+1-i} - I_{n-i}}{U_{n+1-i} - U_{n-i}} \right) U_{n-i}^2 \right]. (3)$$

Особливість виразу (3) для визначення параметра  $Z_c$ , полягає в тому що він складається з суми елементів вольт-амперної характеристики, які характеризуються кутом нахилу та координатами відносно осі струму або напруги. Таким чином  $Z_c$  відображає характерні особливості вольт-амперних характеристик. При цьому більш легко встановити відмінності між масивами інформації, які відповідають двом різним за складом газовим сумішам, а також отримувати вольт-амперні характеристики при строго визначеній швидкості змін напруги.

При дії на детектор нової газової суміші і подальший процес вимірювання безперервних циклів вольт-амперних характеристик в цифровому варіанті до того часу, поки характер вольт-амперних характеристик останнього циклу не співпадає з попереднім, дозволяє встановити час, протягом якого відбувається стабілізація процесів зарядопереносу. При цьому використання масиву інформації останнього циклу дозволяє отримати більш достовірну інформацію про

газові суміші, так як в цьому випадку зміни електричних характеристик при взаємодії газів з детектором закінчилися.

Таким чином, заявлений спосіб вирішує поставлену задачу.

Спосіб пояснюється наступними кресленнями:

5 На фіг. 1 схематично представлені варіанти стану елемента детектора у вигляді фрактально-перколяційної наносистеми на основі оксиду металу з n-провідністю, що містить малу (а) та велику (б) кількість адсорбованого кисню. На фіг. 2 представлено схематичне зображення еквівалентних ланцюгів в фрактально-перколяційних наносистемах без урахування процесів на контактах. На фіг. 3 представлено електронно-мікроскопічне зображення детектора у вигляді фрактально-перколяційної наносистеми на основі ZnO при різних збільшеннях (а-збільшення 8 тисяч разів; б-збільшення 300 тисяч разів). На фіг. 4 представлена схема підключення детектора (1-детектор на основі фрактально-перколяційної наносистеми; 2-притискні контакти на основі золота; 3-контактні площадки на основі ІТО плівок; 4-підкладка з полікору). На фіг. 5 представлені вольтамперні характеристики наносистем ZnO при 10 15 температурі 350 °С в атмосферному повітрі, а також при наявності в повітрі  $C_3H_8+C_4H_{10}$  або  $C_2H_5OH$  з різними концентраціями (а) а також залежність параметра  $Z_c$  від наявності в повітрі  $C_3H_8+C_4H_{10}$  або  $C_2H_5OH$  з різними концентраціями (б).

Спосіб здійснюється наступним чином. Для реалізації способу використовують як детектор фрактально-перколяційні наносистеми, прикладом яких може виступати наносистеми на основі оксиду цинку. Електронно-мікроскопічні зображення такої наносистеми на основі, наприклад, оксиду цинку наведено на фіг. 3. З наведених зображень можна зробити висновок про те, що існують канали протікання струму у вигляді нанониток або їх локальні ділянки, товщини яких менші двох товщин дебаєвського екранування, тобто величин  $\sim 100$  нм [4]. Спосіб підключення детектора для вимірювання вольт-амперних характеристик зображений на фіг. 4. На основі 25 контактних площадок у вигляді ІТО плівок реалізовані омичні контакти, які не впливають на характер вольт-амперних характеристик. Для розглянутої фрактально-перколяційної наносистеми на основі оксиду цинку оптимальна температура аналізу газового середовища складає 350 °С. Вимірювання вольт-амперних характеристик у цифровому варіанті при різних строго фіксованих змінах напруги відбувалося з залученням програмного забезпечення LabVIEW 30 2012. При дії газової суміші на детектор деякий час відбуваються зміни в характері вольт-амперної характеристики. З цих причин в програмі передбачена фіксація необхідної кількості безперервних циклів вольт-амперних характеристик. За умови, коли остання із циклів вольт-амперна характеристика співпадає з попередньою, характер вольт-амперної характеристики останнього циклу є достовірним і несе в собі інформацію про газову суміш. При цьому на основі 35 останньої вольт-амперної характеристики отримується масив пар чисел, що відповідають напругам  $U_i$  і відповідних до них струмам  $I_i$  в  $n$  точках вольт-амперної характеристики. На останньому етапі проводиться математична обробка масиву  $n$  пар чисел ( $U_i, I_i$ ) з метою визначення, наприклад, параметра  $Z_c$  за допомогою виразу (3). Параметр  $Z_c$ , є функцією кута нахилу елементів вольт-амперної характеристики та їх координат, що дозволяє однозначно 40 характеризувати вольт-амперну характеристику або відгук детектора на ту чи іншу складову газової суміші. При цьому для аналізу складових газової суміші попередньо необхідно знайти відповідність між значеннями параметрів  $Z_i$  і для газових сумішей зі строго визначеними концентраціями їх складових. Тим самим отримується функція залежності  $Z_i$  від концентрації складових суміші, яка в подальшому на основі співставлення значень цієї функції зі значення параметра  $Z_c$ , отриманого при дослідженні суміші газів з невідомою концентрацією, дозволяє 45 встановити концентрацію та тип домішки або склад досліджуваної газової суміші.

Приклад. Спосіб аналізу складу газової суміші шляхом виміру безперервних циклів вольт-амперних характеристик  $I(U)$  детектора у вигляді фрактально-перколяційних наносистем оксиду цинку при наявності в атмосфері повітря різних концентрацій LPG ( $C_3H_8+C_4H_{10}$ ) або парів спирту ( $C_2H_5OH$ ) можна реалізувати наступним чином:

1. Детектор у вигляді фіг. 3 підключити до системи вимірювання вольтамперних характеристик за допомогою схеми, що представлена на фіг. 4;
2. Помістити детектор в повітря без домішок і нагріти до температури 350 °С;
3. Провести безперервні цикли вимірювання вольтамперних характеристик у цифровому 55 варіанті при строго фіксованій швидкості зміні напруги ( $w=13.5$  мВ/с) з залученням програмного забезпечення Lab VIE V 2012. При цьому безперервні цикли вимірювання проводити до того часу, поки вольтамперна характеристика останнього циклу не буде співпадати з попередньою. При виконанні зазначеної умови остання із циклів вольт-амперна характеристика є базовою для повітря без домішок.

4. Помістити детектор в газове середовище, в якому присутні домішки LPG з відомою концентрацією, наприклад, 20 ppm.

5. Провести безперервні цикли вимірювання вольт-амперних характеристик у цифровому варіанті при строго фіксованій швидкості змін напруги ( $w=13.5$  мВ/с) з залученням програмного забезпечення LabVIEW 2012. При цьому безперервні цикли вимірювання проводити до того часу, поки вольт-амперна характеристика останнього циклу не буде співпадати з попередньою. При виконанні зазначеної умови остання із циклів вольт-амперна характеристика є базовою при наявності в повітряній суміші 20 ppm LPG.

10 6. Повторити процедуру отримання вольт-амперних характеристик згідно з пунктами 2, 3, 4 і 5 для концентрації LPG 40 ppm і 50 ppm.

15 9. Аналогічно, згідно з пунктами 2, 3, 4 і 5, провести градування відносно до різних концентрацій парів  $C_2H_5OH$  в повітрі. При цьому для підтвердження можливості розпізнавання домішок в повітрі три концентрації  $C_2H_5OH$  (у нашому випадку 100, 500 і 700 ppm) необхідно вибрати таким чином, щоб зміни загального опору детектора приблизно дорівнювали змінам опору відповідно при концентраціях LPG 20, 40 і 50 ppm.

10. Провести математичну обробку отриманих результатів відносно до різних домішок LPG і  $C_2H_5OH$  за допомогою виразу (3) і тим самим визначити відповідні параметри  $Z_c$ . На основі отриманих при цьому результатів побудувати градувальні графіки (див. фіг. 5).

20 11. Згідно з пунктами 2-5 знайти вольт-амперні характеристики для суміші повітря з невідомими концентраціями  $C_2H_5OH$  або LPG і розрахувати відповідні значення  $Z_c$  для цих двох сумішей за допомогою виразу (3).

25 12. Всі отримані результати досліджень при виконанні пунктів 2-11 представити в графічному вигляді (див. фіг. 5 а, б). При цьому на графіках градування (див. фіг. 5 б) знайти положення  $Z_c$  з навідомими концентраціями  $C_2H_5OH$  і LPG. Виходячи з цих положень, визначити концентрацію  $C_2H_5OH$  і LPG в повітрі. Як слідує з графіків, що представлені на фігурі 5 б концентрація в повітрі  $C_2H_5OH$  складає величину 260 ppm, а концентрація LPG-28 ppm. При цьому із різних характеристик вольт-амперних характеристик і значень  $Z_c$  (див. фіг. 5) можна зробити висновок про принципову можливість розпізнавання домішок та визначення їх концентрацій.

30 Джерела інформації:

1. RU, пат. №2171468, МПК G01 №27/12,2001 р.

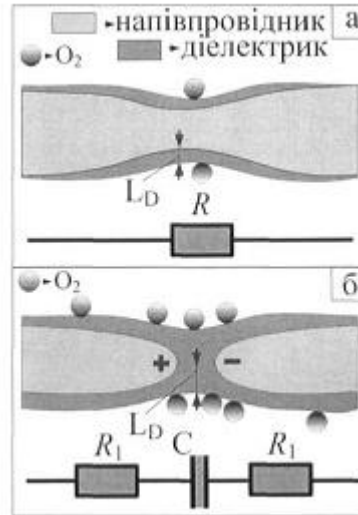
2. RU, пат. №2272006, МПК G01 №27/14,2006 р.

35 3. В. А. Мошников, С. С. Налимова, Б. И. Селезнев. Газочувствительные слои на основе фрактально-перколяционных структур// Физика и техника полупроводников, том 48, № 11, 2014. С.1535-1539.

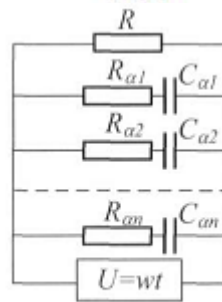
4. H.Q.Ni, Y. F. Lu, a) Z. Y. Liu, H. Qiu, W. J. Wang, Z. M. Ren, S. K. Chow, and Y. X. Jie. Investigation of Li-doped ferroelectric and piezoelectric ZnO films by electric force and Raman spectroscopy //Applied Physics Letters, V 79, № 6, 2001. P. 812-814.

#### 40 ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

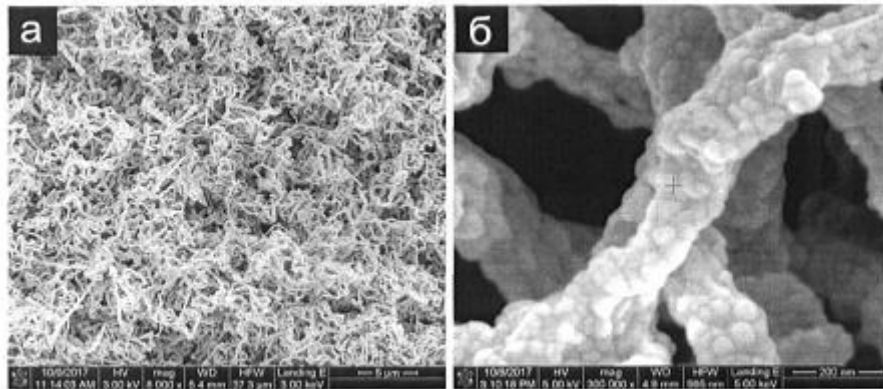
Спосіб аналізу складу газових сумішей, у якому вимірюють щонайменше одну вольт-амперну характеристику  $I(U)$ , поміщеного в досліджувану газову суміш газочутливого напівпровідникового детектора, нагрітого нагрівальним елементом до температури 100÷700 °С, та здійснюють попереднє калібрування шляхом розміщення детектора в чистому повітрі і в газовій суміші, що містить відому кількість домішок стороннього газу, який **відрізняється** тим, що як газочутливий напівпровідниковий детектор використовують оксиди металів у фрактально-перколяційній формі з локальними діаметрами напівпровідникових каналів протікання струму, які менші двох товщин дебаєвського екранування, а виміри вольт-амперних характеристик у фрактально-перколяційних детекторах оксидів металів виконують у вигляді безперервних циклів у цифровому варіанті з визначеними швидкостями зміни напруги до того часу, поки вольт-амперна характеристика останнього циклу не співпадає з попередньою, при цьому масив інформації у вигляді значень струму  $I_i$  та напруги  $U_i$  в  $n$  точках вольт-амперної характеристики останнього циклу піддають математичній обробці і по одержаних при цьому параметрах визначають склад тієї чи іншої газової суміші.



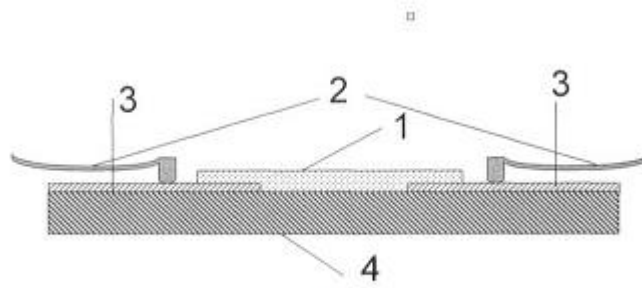
Фиг. 1



Фиг. 2

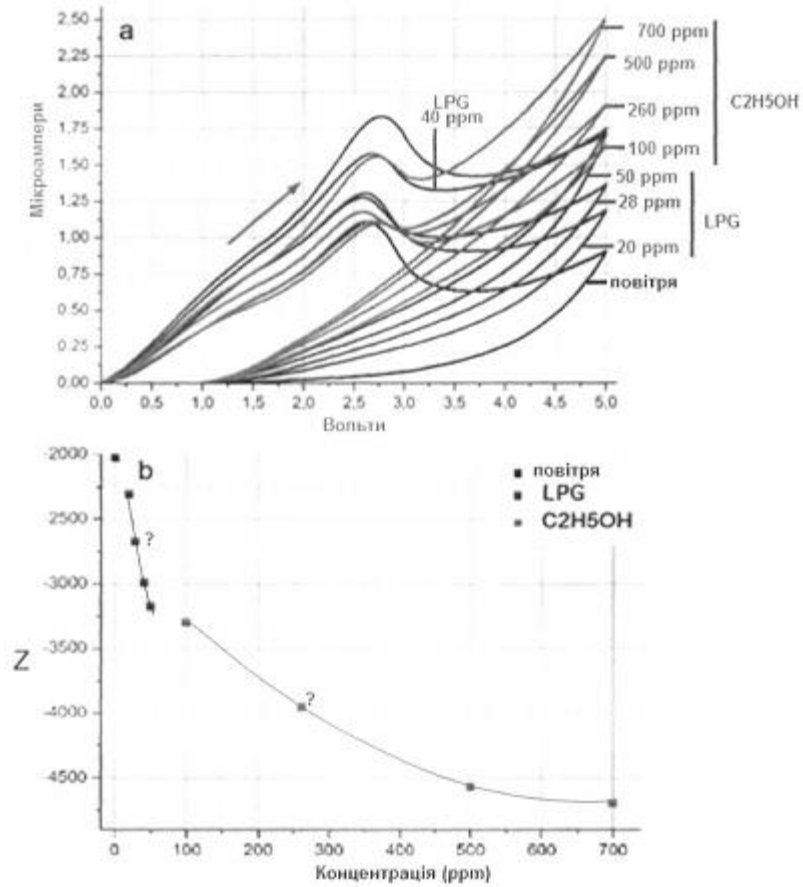


Фиг. 3



Фиг. 4





Фиг. 5

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601