

УДК 550.378; 539.166

С.А. Головка¹, В.О. Гудименко¹, О.П. Поспелов², Г.В. Камарчук¹

¹Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАНУ

просп. Леніна, 47, м. Харків, 61103, Україна

e-mail: s.golovko@ilt.kharkov.ua

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна

ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ГАЗОЧУТЛИВІ ВЛАСТИВОСТІ ТОЧКОВО-КОНТАКТНИХ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНИХ ПРОВІДНИКІВ

Створені зразки газочутливих сенсорів, які представляють собою мезоскопічну мультиструктуру точкових контактів органічного провідника із сімейства сполук TCNQ. Досліджено електричну провідність сенсорів у рівноважному стані та під впливом складної газової суміші, якою є газ, що видихається людиною. Точково-контактна мультиструктура демонструє інтегральний відгук на дію видихуваного газу. Отримані результати створюють хороші передумови для розробки точково-контактних газочутливих сенсорів для аналізу видихуваного газу.

Ключові слова: мікроконтактна спектроскопія Янсона, мікроконтактний газочутливий ефект, точковий контакт, органічні провідники, електропровідність, сенсори, видихуваний газ.

Вступ

Мікроконтактна спектроскопія Янсона є *всесвітньо відомим* методом, який активно використовується для досліджень широкого кола явищ у твердих тілах [1]. Перш за все це стосується вивчення електрон-фононної взаємодії у нормальних металах та надпровідниках при низьких температурах [2]. При цьому у багатьох випадках цей метод є єдиним експериментальним засобом для отримання достатньо повної та достовірної інформації про фононну систему провідних матеріалів. Іншим прикладом активного застосування мікроконтактної спектроскопії Янсона є дослідження спектру квазічастинкових збуджень у сучасних надпровідниках, а також енергетичної щільності та її фізичних особливостей, які притаманні новим нетрадиційним надпровідним матеріалам [3]. Останнім часом було відкрито низку нових ефектів, які значно розширили можливості та діапазон застосувань мікроконтактної спектроскопії Янсона. Одним із них є мікроконтактний газочутливий ефект, що спостерігається при кімнатних температурах [4]. Ефект полягає в зміні електропровідності точкових контактів на

2-3 порядки під дією малих (порядку одиниць ppm і менше) концентрацій газів, які проявляють в умовах експериментів донорні, або акцепторні властивості. На базі мікроконтактного газочутливого ефекту створені надчутливі наносенсори, які перевершують за своїми параметрами аналоги, що існують на цей час [5].

Основним робочим інструментом у мікроконтактній спектроскопії Янсона є мікроконтакт, який в англійській літературі має назву точковий контакт. Це типовий нанооб'єкт, який може досягати розмірів у межах від діаметру одного атому до кількох нанометрів. Характерною особливістю точкових контактів, що відрізняє їх від широкого кола провідників, які застосовуються в електротехніці, є співвідношення характерних розмірів цих об'єктів та довжини вільного пробігу електронів у відповідному матеріалі. В загальному визначенні контакти із спектроскопічними властивостями мають діаметр звуження d , який менше, ніж середня довжина вільного пробігу електронів l [1, 2]. Саме це співвідношення і визначає приналежність точкових контактів, що застосовуються в мікроконтактній спектроскопії Янсона, до класу

наноструктур. Стан з протіканням струму в мікроконтакті характеризується розподілом електронів, який істотно відрізняється від ситуації в однорідному провіднику. Зміна електростатичного потенціалу має місце виключно в області контактного звуження, де формується опір контакту [6]. Контактуючі «береги»-електроди не дають вкладу в опір контакту завдяки швидкому розтіканню струму на відстанях порядку d . Ця властивість точкового контакту відіграє важливу роль при вивченні мікроконтактного газочутливого ефекту [4, 5].

Одним із шляхів отримання найкращих параметрів точково-контактних сенсорних приладів є створення дослідних зразків на основі новітніх технологічних матеріалів. Поєднання переваг фундаментальних газочутливих властивостей точкових контактів з передовими функціональними матеріалами надає реальних можливостей для створення сенсорних зразків з безпрецедентними характеристиками [5]. Органічні провідники (чи синтетичні метали) знаходяться серед перспективних матеріалів, вартих використання у нових високочутливих сенсорних пристроях. До представників цього класу сполук належать похідні тетраціанохінодіметану (7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane, TCNQ) [7]. Типовою особливістю кристалічної структури цих матеріалів є пакування молекул у стопки. Відстані між молекулами TCNQ у межах однієї стопки є суттєво меншими за відстані між різними стопками. Тобто, структурні особливості комплексів TCNQ добре відображаються лінійними ланцюжками, пакованими у тривимірному кристалі. Електрична провідність кристалів забезпечується завдяки перекриттю хвильових функцій π -електронів сусідніх молекул у стопці. Внаслідок цього, транспортні властивості таких сполук визначаються, головним чином, квазіодновимірним характером руху носіїв електричного заряду вздовж згаданих молекулярних стопок. Ймовірність перестрибування носіїв заряду в інших напрямках (між різними стопками молекул) є значно меншою. Така електрична анізотропія зумовлює сильну залежність електропровідності від розподі-

лу електронної щільності станів, яка, у свою чергу, суттєво змінюється завдяки адсорбції газів на поверхню матеріалу. Ця особливість є однією з основних причин досліджень, які направлені на створення сенсорів з використанням похідних TCNQ. Сполуки на основі TCNQ обіцяють стати важливими матеріалами для перспективних сенсорних технологій [8, 9] завдяки високій чутливості та селективності до впливу зовнішніх агентів різного походження [10]. Враховуючи це, метою даної роботи було створення оригінальних точково-контактних сенсорів на основі сполук TCNQ та дослідження їх принципових метрологічних характеристик в складних газових середовищах.

Методика експериментів

Вихідні солі органічних провідників на основі TCNQ були синтезовані А.В. Кравченко в лабораторії хімічного факультету ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Синтез було виконано згідно процедури, яка детально описана в роботі [11]. Слід зазначити, що чистота хімічних реагентів має виключне значення у процесі синтезу та істотно впливає на параметри сполук, які виробляються. Присутність неконтрольованої кількості домішок у процесі синтезу може призводити до порушення відтворюваності складу та властивостей сполук, які синтезуються. У зв'язку з цим більшість складних органічних речовин, що виготовляються комерційно, у тому числі й солі TCNQ, не відповідають технологічним вимогам, які застосовуються при розробці нових високотехнологічних функціональних матеріалів і приладів. Крім того, органічні сполуки при зберіганні в лабораторних умовах можуть бути схильні до старіння та часткової деградації. Тому високоякісна попередня очистка усіх реагентів є необхідною умовою для успішного синтезу матеріалів з прогнозованими властивостями. Очищення вихідної речовини TCNQ виконувалось на обладнанні, що розроблено та виготовлено у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України. Технологія процесу детально описана в роботі [12].

Для створення зразків точково-контактних сенсорів, результати досліджень яких представлені в даній роботі, було використано сіль TCNQ з катіоном N-алкілізохінолінію $[N-C_4H_9\text{-iso-Qn}](TCNQ)_2$. Зразки створювались на діелектричній підкладці з текстоліту розміром $5 \times 10 \text{ мм}^2$. Текстоліт був вкритий мідною фольгою, яка виконувала роль струмовідводів. Частина фольги розміром $0,15 \times 5 \text{ мм}^2$ видалялась з підкладки і в цьому проміжку формувалася точково-контактний зразок сполуки TCNQ у вигляді плоскої мезоструктури товщиною 10-30 мкм. Для отримання газочутливої речовини використовувалася насичений розчин солі $[N-C_4H_9\text{-iso-Qn}](TCNQ)_2$ в органічному розчиннику з високою пружністю парів, наприклад, ацетоні, що забезпечувало його швидке випаровування при нормальних умовах. Для одержання газочутливого континууму у створених нами сенсорних зразках використовувалася спеціальна технологія, що дозволила сформувати мезоскопічну мікроконтактну мультиструктуру солі TCNQ. Мікроконтакти цієї структури відповідають контактам, що отримані за допомогою методу зсуву [13], який належить до одного з найбільш ефективних та надійних методів в мікроконтактній спектроскопії. Створена структура є оригінальним варіантом точково-контактної сенсорної матриці. Вона реалізує відкритий нами ефект мікроконтактної газової чутливості [4] та забезпечує посилення вихідного сигналу й підвищену вибірковість до газових середовищ, які аналізуються.

Використовуючи ряд оригінальних препаративних і технологічних прийомів, нам вдалося виготовити зразки сенсора активного типу. Ці зразки містять у своїй структурі джерело енергії, що дозволяє трансформувати зміни фізико-хімічних параметрів газочутливої речовини у вихідний сигнал. Джерело акумульованої електричної енергії було створено на межі контакту органічного провідника та міді шляхом електрохімічного синтезу. Передумовою для створення зразків сенсорів активного типу стали класичні уявлення про перебіг електрохімічних процесів на

межі розподілу фаз. Найпростіший двох-електродний електрохімічний ланцюг включає дві межі розподілу фаз, які виникають в місці контакту електроліту з твердою фазою кожного електроду. При протіканні струму на цих границях розподілу фаз виникає зміна природи носіїв заряду, яка пов'язана з утворенням продуктів електрохімічних перетворень. Останні супроводжуються цілою низкою супутніх ефектів, які пов'язані з уповільненими процесами транспорту в зоні реакцій, а також з уповільненням фазових трансформацій. Всі ці перетворення забезпечуються енергією зовнішнього електричного поля. Кількісним виразом енергетичних витрат є електродна поляризація – зміщення потенціалу електроду під струмом. При певних умовах продукти, що синтезуються в процесі електролізу, можуть фіксуватися на поверхні твердої фази електроду. У цьому випадку природа такого електроду змінюється. Дану зміну можливо зафіксувати шляхом співставлення стаціонарних потенціалів електроду без струму до електролізу та після нього. Будь-яка різниця значень свідчить про перебіг нових обмінних процесів на межі розподілу фаз, тобто про виникнення нового електроду. Стабільна в часі різниця електродних потенціалів при відсутності струму є ознакою наявності акумульованої електричної енергії. Створені таким чином зразки точково-контактних сенсорів активного типу здатні працювати в автономному режимі без зовнішнього джерела струму. Цей фактор сприятиме мініатюризації сенсорних пристроїв, які будуть розроблятися на основі точково-контактних чутливих елементів.

В якості багатокомпонентної газової суміші було обрано газ, який видихає людина. Видихуваний газ є складною сумішшю газів різного ендогенного походження з респіраторних шляхів, шлункового каналу й ротової порожнини. Насправді, аж до 6 сотень різноманітних летючих органічних компонентів вже було ідентифіковано з цієї видихуваної суміші, а загальний склад і концентрації компонентів залежать від особливостей метаболізму людського організму. Проблема

аналізу газової суміші, яка видихається людиною, останнім часом набула великої уваги, оскільки багато компонентів видихуваного газу є маркерами певних станів організму людини, що дає можливість розробляти неінвазивні методи діагностики різноманітних захворювань [14]. Враховуючи це, дослідження електропровідності сенсорів в середовищі газу, що видихає людина, є актуальною проблемою, а отримані результати будуть мати велику цінність при розробці портативних діагностичних пристроїв.

Було виготовлено і досліджено 250 зразків точково-контактних сенсорів на основі провідної солі $[N-C_4H_9\text{-iso-Qn}](TCNQ)_2$. Вимірювався електричний опір зразків та зміна їх електричної провідності в часі в умовах впливу складної газової суміші, якою є газ, що видихається людиною. Визначення електричного опору виконувалося за допомогою мультиметрів Keithley 2000 та Keithley 2100 (США) шляхом вимірювання струму і напруги з застосуванням зразкових резисторів, які були включені в ланцюг сенсору. Зазначений непрямий підхід до вимірювання електричного опору обумовлений тим, що зразки мають достатньо високий опір, величина якого знаходяться на межі чутливості традиційних мультиметрів. Електричний опір сенсорів вираховувався з використанням визначних значень струму та напруги.

Дослідження зміни електричної провідності сенсорів в часі під дією складної газової суміші здійснювалось за допомогою спеціально створеного електронного приладу, який виконував роль вимірювача та підсилювача сигналу відгуку сенсору на дію газового середовища. Цей прилад у майбутньому може використовуватись як модель для розробки портативного пристрою персонального використання в неінвазивних діагностичних технологіях. У вимірювальну схему послідовно зі зразком сенсору було додано зразковий резистор С2-29В-0,125-1М (виробництво НПО «ЕРКОН», Росія) величиною 1МОм. Вплив газового середовища на чутливу речовину призводив до зміни провідності зразка та, відповідно, до зміни струму в

його ланцюзі, що забезпечувало зміну падіння напруги на зразковому резисторі. Падіння напруги на зразковому резисторі вимірювалось за допомогою вищевказаного приладу. Під час досліджень зразок сенсору розміщувався в тримачі, який підключався до приладу. Тримач сенсору включав змінну пластикову насадку, що виконувала роль комірки, в якій забезпечувалась взаємодія газочутливої речовини точково-контактної мультиструктури сенсору з видихуваним газом. Сигнал, що вимірювався приладом, подавався в автоматичному режимі на персональний комп'ютер. Провідність зразків точково-контактних сенсорів на основі сполуки TCNQ розраховувалась з використанням результатів вимірювань падіння напруги на зразковому резисторі та струму, який протікав в ланцюзі зразка. Реєстрація та обробка результатів здійснювалася за допомогою оригінального програмного забезпечення, розробленого у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України.

Результати експериментів та їх обговорення

Характерною особливістю органічної провідної сполуки $[N-C_4H_9\text{-iso-Qn}](TCNQ)_2$, яка також типова і для інших аніон-радикальних солей, є планарність окремих молекул. В кристалах органічні молекули упаковані в стопки. Тенденція до створення стопок відповідає максимальному просторовому заповненню структури та максимальному ступеню не спряжених (не валентних) взаємодій (наприклад, сил Ван-дер-Ваальса). Можливо частково покращити стабілізацію стопок, якщо врахувати, що добре перекриття хвильових функцій делокалізованих π -електронів найближчих сусідів забезпечується при нахилі площин молекул по відношенню до осей стопок. Структурний агрегат із стопок молекул, площини яких нахилені по відношенню до осі стопки, фактично найбільш часто зустрічається в іон-радикальних солях.

Електропровідність кристалів іон-радикальних солей максимальна у напрямку осі стопок за рахунок доброго перекрит-

тя хвильових функцій π -електронів найближчих сусідів. Величина електропровідності у несприятливому для переносу заряду напрямку, який є перпендикулярним до осі стопки, становить близько 10^{-3} від значення в напрямку високої провідності, тобто вздовж осі стопок. Вірогідно, носії заряду рухаються головним чином у тій стопці, у якій вони створюються, та лиш зрідка

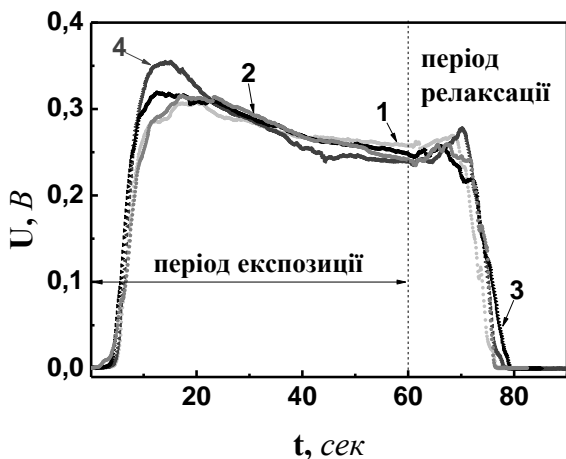


Рис. 1. Характерний вигляд кривої відгуку сенсорів на основі точково-контактної мультиструктури органічного провідника на дію газу, що видихається людиною. 1-4 – результати чотирьох послідовних вимірювань. U – падіння напруги на сенсорі, t – час.

вистрибують із неї. Якщо б не існувало сил взаємодії між сусідніми стопками, ця система була б фактично одномірною, а її електропровідність дорівнювала б нулю у двох інших напрямках (тобто напрямках, які перпендикулярні осі стопки). Проте, оскільки для формування кристалу потрібні сили тяжіння поміж стопками, кристали іон-радикальних солей можливо вважати усього лиш квазіодновимірними системами. Така висока анізотропія провідних властивостей є хорошою передумовою для пошуку їх змін під впливом газових середовищ.

Дія газів на сенсорні елементи активного типу на основі аніон-радикальної солі $[N-C_4H_9-iso-Qn](TCNQ)_2$ призводить до зменшення опору газочутливого шару, що викликає зміну струму в ланцюзі сенсорю. Це дозволяє вивчати реакцію сенсорів шляхом електричних вимірювань. В

результаті дослідів було встановлено, що в рівноважному стані (до контакту з видихуваним газом) опір більшості зразків сенсорів перевищує 200 МОм. Отримані дані наводять на твердження, що електропровідність сенсорів активного типу в рівноважному стані дуже мала і можливо припустити, що будь-який струм в сенсорі при цьому відсутній. В момент видиху опір сенсора різко падає на 2-3 порядки до величини нижче 0,5 МОм, а потім після припинення впливу знову повертається до початкового значення (рис. 1). Можливо зробити висновок, що протягом дії видихуваного газу певні компоненти газової суміші, що видихається людиною, адсорбуються точково-контактною газочутливою матрицею, завдяки чому значно покращуються її провідні властивості, тобто цей процес супроводжується зростанням струму в ланцюзі сенсорю. Це легко бачити на частині кривої $U(t)$ (рис. 1), яка відповідає періоду експозиції зразка в газовому середовищі. В результаті дії видихуваного газу на поверхні сенсору виникає зсув адсорбційно-десорбційної рівноваги, яка має місце в умовах контактування газочутливої речовини з атмосферним повітрям [15]. Швидкість адсорбції прямо пропорційна концентрації молекул газу, що адсорбуються, і поверхневій концентрації вакантних активних центрів [15]. При подальшому контакті сенсора з видихуваним газом швидкість адсорбції поступово знижується з-за зменшення концентрації активних центрів. Після припинення дії видихуваного газу починається десорбція молекул газової суміші і відновлення початкового поверхневого стану газочутливої речовини у контакті з атмосферою, що веде до збільшення опору сенсора. Різкий, практично безінерційний перехід електропровідності зразка у фазу релаксації після припинення безпосереднього контакту його поверхні з видихуваним газом може свідчити про переважний внесок низькоенергетичної фізичної адсорбції зовнішніх шарів адсорбованих молекул.

Раніше ми довели, що солі TCNQ можуть виявляти особливу чутливість до дії газу, який видихається людиною [15]. Встановлено, що при контакті з газом, що

видихає людина, плівкові зразки цих матеріалів змінюють свої провідні властивості. Показово, що винайдений газочутливий ефект спостерігається як в вакуумі, так і при знаходженні зразка в умовах атмосфери. Було також доведено, що особливості електронного спектру квазі-одновимірних органічних провідників

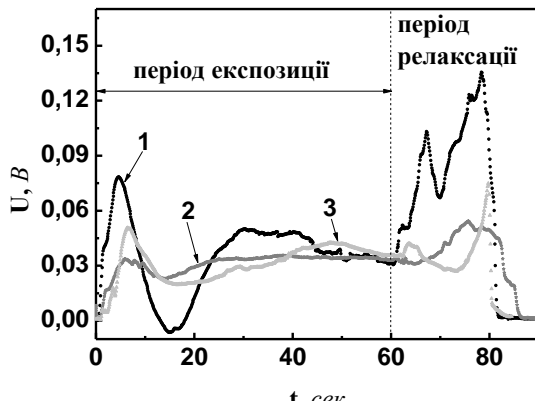


Рис. 2. Зміна електропровідності сенсорів у залежності від складу видихуваного газу різних добровольців. 1-3 – результати вимірювань для трьох добровольців. U – падіння напруги на сенсорі, t – час.

обумовлюють сенсорні властивості цих сполук [12]. При експозиції аніон-радикальної солі $[N-C_4H_9-iso-Qn](TCNQ)_2$ в середовищах низької концентрації газів з концентрацією до 10^4 ppm значного впливу на електропровідність зразків не було виявлено [16]. Експериментально доведено, що амплітуди сигналів відгуку на видихуваний газ більші, ніж на 2 порядки перевищують найбільші рівні сигналів відгуків для інших газоподібних речовин. При цьому швидкодія сенсорів у середовищі видихуваного газу також істотно вище і перевершує швидкодю цих же зразків у досліджених газових середовищах у 50-100 разів. Це свідчить про домінуючий вплив компонентів газу, видихуваного людиною, на матеріал чутливого шару зразків і високу селективність досліджених сполук TCNQ до даного біологічного середовища. Виходячи з отриманих раніше даних та аналізуючи складні криві відгуку, представлені на рис. 1, можна зробити висновок, що точко-

во-контактна мультиструктура демонструє інтегральний відгук на дію видихуваного газу з урахуванням вкладів як окремих компонентів цієї складної газової суміші, так і певних взаємодій поміж окремими компонентами, які мають місце в газовому середовищі після експозиції.

Слід особливо зауважити добру відтворюваність результатів для одного і того ж зразка сенсору під впливом видихуваного газу приблизно однакового складу (рис. 1). Оскільки відомо [14], що видихуваний газ людини – це середовище, склад якого змінюється в часі, то для демонстрації відтворюваності результатів проводилось декілька послідовних вимірювань відгуку сенсорів з залученням добровольця до досліджень натщесерце. У той же час сенсори на основі точково-контактної мультиструктури солі TCNQ відображають особливості профілю видихуваного газу різних добровольців (рис. 2). Після проведення вимірювань сигналу на дію видихуваного газу різного складу спостерігалася повна релаксація зразків сенсорів до первинного стану в умовах атмосферного повітря. Така властивість точково-контактної мультиструктури солі TCNQ є важливою передумовою для продовження досліджень та розробки оригінальних сенсорів, які здатні працювати в умовах оточуючого середовища та використовуватись для розробки методів неінвазивної діагностики станів організму людини [17]. Реєстрація відгуку точково-контактного сенсору на дію газу, що видихається людиною, з подальшим статистичним аналізом отриманого профілю може стати витонченим і легким у використанні методом неінвазивної медичної діагностики.

Таким чином, наші всебічні дослідження дозволяють зробити висновок, що мезоскопічна точково-контактна мультиструктура випробуваних зразків сенсорів демонструє інтегральний відгук на дію видихуваного газу. Отримані та досліджені зразки створюють хороші передумови для розробки газочутливих сенсорів активного типу для аналізу видихуваного газу, що надає можливості розвитку вискоєфективної неінвазивної діагностики захворювань людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Naidyuk Yu.G. and Yanson I.K. Point-contact spectroscopy. New York: Springer, 2005. – P. 297.
2. Khotkevich A.V. and Yanson I.K. Atlas of Point Contact Spectra of Electron-Phonon Interactions in Metals. Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers, 1995. – P. 144.
3. Naidyuk Yu.G., Kvitnitskaya O.E., Tiutrina L.V., Yanson I.K., Behr G., Fuchs G., Drechsler S.-L., Nenkov K., and Schultz L. Peculiarities of the superconducting gaps and the electron-boson interaction in TmNi₂B₂C as seen by point-contact spectroscopy // *Phys. Rev. B* – 2011. – Vol. 84 (9). – P.094516-1–094516-9.
4. Kamarchuk G.V., Pospelov O.P., Yeremenko A.V., Faulques E., Yanson I.K. Point-Contact Sensors: New Prospects for a Nanoscale Sensitive Technique // *Europhys. Lett.* – 2006. – Vol.76. – P. 575-581.
5. Kamarchuk G.V., Kolobov I.G., Khotkevich A.V., Yanson I.K., Pospelov A.P., Levitsky I.A., Euler W.B. New chemical sensors based on point heterocontact between single wall carbon nanotubes and gold wires // *Sensors and Actuators B*. – 2008. – Vol. 134. – P. 1022-1026.
6. Кулик И.О., Омелянчук А.Н., Шехтер Р.И. Электропроводность точечных микроконтактов и спектроскопия фононов и примесей в нормальных металлах // *ФНТ*. – 1977. – Том 3. №12. – С. 1543-1558.
7. Schegolev I.F. Electric and Magnetic Properties of Linear Conducting Chains // *Phys. Stat. Sol., Ser. a* – 1972. – Vol. 12. – P. 9-45.
8. Ho K.-C., Liao J.-Y. NO₂ gas sensing based on vacuum-deposited TTF-TCNQ thin films // *Sensors and Actuators B* – 2003. – Vol. 93. – P. 370-378.
9. Liao J.-Y., Ho K.-C. A study of partially irreversible characteristics in TTF-TCNQ gas sensing system // *Sensors and Actuators B* – 2008. – Vol. 130. – P. 343-350.
10. Pospelov A.P., Ved M.V., Sakhnenko N.D., Alexandrov Yu.L., Shtefan V.V., Kravchenko A.V., Kamarchuk G.V. High-conductivity organic metals as electrode materials // *Materials Science* – 2002. – Vol.20 (3). – P.65–72.
11. Kravchenko A.V., Starodub V.A., Kazachkov A.R., Khotkevich A.V., Pyshkin O.S., Kamarchuk G.V. Spectral and electrophysical properties of anion-radical salts of TCNQ and methyl-TCNQ with N-alkylpirazinium cations. In: *Spectroscopy of Emerging Materials*, Ed. by E.C. Faulques, D.L. Perry and A.V. Yeremenko, Boston/Dordrecht/ London: Kluwer Academic Publishers, NATO Science Series, 2004 – Vol. 165. – P. 319-330.
12. Pyshkin O., Kamarchuk G., Yeremenko A., Kravchenko A., Pospelov A., Alexandrov Yu. and Faulques E. Evidence for sensory effects of a 1D organic conductor under gas exposure // *J. Breath Res.* – 2011. – Vol.5(1), P. 016005 (9pp).
13. Чубов П.Н. Электрон-фононное взаимодействие в алюминиевых микроконтактах / П.Н. Чубов, И.К. Янсон, А.И. Акименко // *ФНТ*. – 1982. – Том 8, №1. – С. 64-80.
14. Amann A. and Smith D. (Eds). *Volatile biomarkers: non-invasive diagnosis in physiology and medicine*, Amsterdam: Elsevier, 2013. – P. 570.
15. Kamarchuk G.V., Pospelov O.P., Alexandrov Yu.L., Yeremenko A.V., Kravchenko A.V., Kushch E.G., Kamarchuk L.V., Faulques E. TCNQ derivatives-based sensors for breath gas analysis. *Breath Analysis for Medical Diagnosis and Therapeutic Monitoring*, Ed. by A. Amann and D. Smith, Singapore: World Scientific, 2005 – P. 85-99.
16. Александров Ю.Л., Пospelov А.П., Заика А.С., Стрелец В.А., Камарчук Г.В. Газочувствительные сенсоры на основе соединений TCNQ // *Сенсорна електроніка і мікросистемні технології* – 2007 – Том 2. – С. 41-48.

17. Kamarchuk G.V., Pospelov A.P. and Kushch I.G. Sensors for exhaled gas analysis: an analytical review. Volatile

biomarkers: non-invasive diagnosis in physiology and medicine, Ed. by A. Amann and D. Smith, Amsterdam: Elsevier, 2013. – P. 265-300.

Стаття надійшла до редакції 20.05.2013

S.A. Golovko¹, V.A. Gudimenko¹, A.P. Pospelov², G.V. Kamarchuk¹

¹B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering

47 Lenin Ave., Kharkov, 61103, Ukraine

²National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”

21 Frunze Str., Kharkov, 61002, Ukraine

ELECTRIC AND GAS-SENSITIVE PROPERTIES OF ORGANIC CONDUCTORS-BASED POINT-CONTACT SENSORS

Samples of gas-sensitive sensors have been created. They were designed as a point-contact mesoscopic multistructure of the TCNQ-based organic conductive compounds family. Sensors' electric conductivity was investigated at the equilibrium state as well as under action of a composite gas medium, namely, human exhaled breath. The point-contact mesoscopic multistructure demonstrates a complicated integral response curve on exposure to the breath gas. The obtained results are prerequisites for development of point-contact gas sensors for breath analysis.

Keywords: Yanson point-contact spectroscopy, point-contact gas-sensitive effect, point contact, organic conductors, electric conductivity, sensors, breath gas.

С.А. Головко¹, В.А. Гудименко¹, А.П. Поспелов², Г.В. Камарчук¹

¹Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАНУ

просп. Ленина, 47, Харьков, 61103, Украина

²Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ул. Фрунзе, 21, Харьков, 61002, Украина

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ТОЧЕЧНО-КОНТАКТНЫХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ

Созданы образцы газочувствительных сенсоров, которые представляют собой мезоскопическую мультиструктуру точечных контактов органического проводника из семейства соединений TCNQ. Исследована электрическая проводимость сенсоров в равновесном состоянии и под влиянием сложной газовой смеси, которой является газ, выдыхаемый человеком. Точечно-контактная мультиструктура демонстрирует интегральный отклик на действие выдыхаемого газа. Полученные результаты создают хорошие предпосылки для разработки точечно-контактных газочувствительных сенсоров для анализа выдыхаемого газа.

Ключевые слова: микроконтактная спектроскопия Янсона, микроконтактный газочувствительный эффект, точечный контакт, органические проводники, электропроводность, сенсоры, выдыхаемый газ.