

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГАРБУЗ ДМИТРО ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 539.21

ДИСЕРТАЦІЯ
СТРУКТУРНІ ТА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОЧКОВО-
КОНТАКТНИХ СЕНСОРНИХ МУЛЬТИСТРУКТУР

105 – Прикладна фізика та наноматеріали

10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії

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

 Д. О. Гарбуз

Наукові керівники:
Зубарев Євгеній Миколайович,
доктор фізико-математичних наук,
професор

Камарчук Геннадій Васильович,
доктор фізико-математичних наук,
професор

Харків – 2024

АНОТАЦІЯ

Гарбуз Д.О. Структурні та електрофізичні властивості точково-контактних сенсорних мультиструктур. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали (Галузь знань 10 – Природничі науки). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків, 2024.

Дисертаційна робота присвячена розробці методу створення точково-контактних сенсорних матриць з характеристиками, що відтворюються, удосконаленню технології отримання таких нанооб'єктів, проведенню досліджень, що спрямовані на поглиблення розуміння природи точково-контактних сенсорів видихуваного газу на основі сполуки тетраціанохінодіметану, а також розробці методологічної основи для аналізу спектральних сенсорних профілів газу, що видихається, з медичним застосуванням.

Робота виконана на кафедрі фізики металів і напівпровідників Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та в Фізико-технічному інституті низьких температур (ФТІНТ) ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України у відділі «Спектроскопії молекулярних систем і наноструктурних матеріалів».

Метою даної роботи є поглиблення розуміння природи та особливостей функціонування точково-контактних сенсорів видихуваного газу на основі сполуки тетраціанохінодіметану, розробка методу створення точково-контактних сенсорних матриць з характеристиками, що відтворюються, удосконалення технології отримання таких нанооб'єктів, а також розробка методологічної основи методу аналізу точково-контактних сенсорних профілів складних газових сумішей для медичної діагностики.

Об'єкт дослідження – процеси, що відбуваються під час синтезу та функціонування точково-контактних мультиструктур, їх впливу на структуру, морфологію та властивості експериментальних газових сенсорів.

Предмет дослідження – особливості структури, росту та фазового складу точково-контактних сенсорів на основі органічних провідників, сигнал відгуку сенсорних матриць на дію складних газових сумішей.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами, описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведено відомості стосовно апробації роботи і публікацій результатів досліджень.

Перший розділ «Основні особливості точкових контактів Янсона та фізичні передумови їх використання у якості газочутливих сенсорів» присвячений огляду сучасних уявлень про фізичні явища, що мають місце у точкових контактах Янсона, розглянуто основні сучасні моделі таких нанооб'єктів, режими та особливості протікання струму крізь такі наноструктури. Обговорюється взаємозв'язок фундаментальних властивостей точкових контактів Янсона та їх сенсорних застосувань. Приведено інформацію щодо основних сучасних принципів газової сенсорики з використанням наноструктурних матеріалів.

У *другому розділі* «Обладнання та методика проведення досліджень» надається опис матеріалів, що використовувались під час виконання дисертаційної роботи. Наведено методи отримання експериментальних тестових зразків. Надано опис використаного протягом роботи наукового обладнання. Обговорюються методи вивчення структури досліджуваних об'єктів та підходи, що використовуються для аналізу відгуку сенсорів на дію газової суміші.

Третій розділ «Структурні особливості точково-контактних сенсорів газу, що видихається людиною» присвячено дослідженню впливу режимів

отримання сенсорів на їх структуру, властивості та фазовий склад матеріалу зразків, що створювались. Докладно описані особливості методики проведення експериментальних досліджень. Проаналізована залежність поверхневої морфології зразків від методів осадження речовини. Досліджено взаємозв'язок між параметрами відгуку сенсорів на дію газового середовища та їх морфологією. З'ясовано набір параметрів осадження для отримання нанооб'єктів з високою амплітудою відгуку на дію газового середовища.

Четвертий розділ «Метод селективного детектування компонентів газу, що видихається людиною» присвячено дослідженню можливості визначення вмісту таких гормонів як кортизол та серотонін в організмі людини за допомогою аналізу її видихуваного газу. Проаналізовано залежність параметрів відгуку точково-контактного сенсору на дію видихуваного газу від вмісту гормонів в організмі людини. Розроблено метод визначення вмісту серотоніну та кортизолу в організмі людини за допомогою дихального тесту. Продемонстровано принципіальну можливість визначення гормонального складу у організмі з використанням точкових контактів Янсона, як інструменту дослідження, та видихуваного газу, як середовища, що досліджується.

П'ятий розділ «Експрес-метод визначення мелатоніну в організмі людини» присвячено дослідженню можливості визначення вмісту мелатоніну в організмі людини за допомогою аналізу її видихуваного газу. На основі отриманих кореляційних матриць побудована математична модель залежності параметрів відгуку сенсора від вмісту мелатонін сульфату в сечі пацієнтів. Продемонстровано ефективність та універсальність запропонованого підходу. Показано, що новий експрес-метод визначення мелатоніну має достатню точність для використання у медичній діагностиці.

У *висновках* приведено основні результати, що були досягнені у процесі дисертаційних досліджень.

1. *Вперше* розроблено та створено експериментальну установку для автоматизованого осадження точково-контактних сенсорів видихуваного газу.

2. *Вперше* методами рентгено-дифракційного аналізу і скануючої електронної мікроскопії визначено фазовий склад та морфологію поверхні точково-контактних наносенсорів на основі сполуки тетраціанохінодиметану.

3. *Вперше* показано взаємозв'язок властивостей точково-контактних сенсорів, морфології їх поверхні та умов отримання.

4. *Вперше* розроблено універсальний підхід до процедури сенсорного аналізу широкого спектра компонентів газової суміші, що видихається людиною.

5. *Розроблено нові* експрес-методи визначення концентрації гормонів серотоніну, мелатоніну та кортизолу в організмі людини неінвазивним шляхом за допомогою точково-контактних сенсорів на основі сполуки Cu-TCNQ.

Практичне значення отриманих результатів:

Результати, що отримані під час виконання дисертаційної роботи, мають великі перспективи для створення новітніх газочутливих наноструктурних сенсорів та у медичній діагностиці. Удосконалення технології виготовлення точково-контактних сенсорів, створює передумови для розробки промислової технології виробництва інноваційних точково-контактних наносенсорів. Ці наносенсори мають унікальні можливості завдяки квантовим властивостям точкових контактів Янсона, що є базовим елементом точково-контактних сенсорних матриць на основі сполуки Cu-TCNQ. Таким чином, вперше з'являється можливість для створення промислових зразків квантових сенсорів, що працюють на принципі зміни електричної провідності.

Виявлення взаємозв'язку властивостей точково-контактних сенсорів, морфології їх поверхні та умов отримання є важливою складовою інформації, що необхідна для розробки промислової технології виробництва інноваційних газових датчиків. Це дозволить заздалегідь прогнозувати властивості сенсорів, що створюються, та цілеспрямовано змінювати методіку за наявної потреби.

Розробка універсального підходу до процедури сенсорного аналізу широкого спектра багатоконпонентних газових сумішей, яка була проведена

під час виконання дисертаційної роботи, фактично закладає основи нового напрямку досліджень та оригінальних інноваційних розробок в сенсоріці складних газових середовищ, що не потребує визначення окремих компонентів на етапі експериментальних вимірювань.

Запропоновані експрес-методи визначення концентрації гормонів серотоніну, мелатоніну та кортизолу в організмі людини неінвазивним шляхом за допомогою точково-контактних сенсорів на основі сполуки $Cu-TCNQ$, які були розроблені та успішно випробувані в процесі дисертаційних досліджень, мають великі перспективи для застосування в роботах по створенню провідних методів медичної діагностики в рамках розвитку існуючого співробітництва з колективом ДУ «Інститут охорони здоров'я дітей та підлітків Національної академії медичних наук України». Зазначені розробки мають значні переваги перед існуючими медичними технологіями, тому нові методи медичної діагностики, що будуть створюватись під час цих робіт, матимуть велику конкурентоспроможність на світовому ринку.

Ключові слова: Наноструктура, Наноматеріали, Електропровідність, Рентгенівська дифракція, Морфологія поверхні, Структура, Напівпровідники, Полікристалічні плівки, Точкові контакти, Видихуваний газ, Газові сенсори, Низьковимірні системи, Кристалічні тверді тіла, Фазовий склад, Геометрія.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

(За стилем АІР)

Наукові праці у наукових фахових виданнях України та у наукових виданнях, проіндексованих у базах Scopus i Web of Science:

1. V.A. Gudimenko, D.A. Garbuz, A.S. Klimkin, V.L. Vakula, A.P. Pospelov, and G.V. Kamarchuk, Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Physics, 27, 26 (2017). (Б).

2. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, D.A. Harbuz, V.A. Gudimenko, L.V. Kamarchuk, A.S. Zaika, A.S. Pletnev, and A.V. Kravchenko, *Biophys. Bul.*, 2(38), 66 (2017). (Б).
3. A.P. Pospelov, V.I. Belan, D.O. Harbuz, V.L. Vakula, L.V. Kamarchuk, Yu.V. Volkova, and G.V. Kamarchuk, *Beilstein J. Nanotechnol.*, 11, 1631 (2020). (Scopus, Німеччина).
4. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, L.V. Kamarchuk, A.V. Savytskyi, D.A. Harbuz, and V.L. Vakula, in *Functional Nanostructures and Sensors for CBRN Defense and Environmental Safety and Security, NATO Science for Peace and Security*, Ed. by. A. Sidorenko and H. Hahn (Springer, Dordrecht, 2020), p. 245. (Scopus, Нідерланди).
5. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, V.I. Belan, V.A. Gudimenko, V.L. Vakula, L.V. Kamarchuk, Y.V. Volkova, and G.V. Kamarchuk, *Low Temperature Physics*, 47(3), 254 (2021). (Scopus, США).
6. G. Kamarchuk, A. Pospelov, A. Savytskyi, V. Gudimenko, V. Vakula, A. Herus, D. Harbuz, L. Kamarchuk, and M. F. Pereira, in *Terahertz (THz), Mid Infrared (MIR) and Near Infrared (NIR) Technologies for Protection of Critical Infrastructures Against Explosives and CBRN*, Ed. By. M.F. Pereira and A. Apostolakis (Springer, Dordrecht, 2021), p. 203. (Scopus, Нідерланди).
7. D.A. Harbuz, A.P. Pospelov, V.A. Gudimenko, A.P. Konotop, P.V. Mateychenko, D.A. Kowalska, E. Faulques and G.V. Kamarchuk. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 718(1), 25 (2021). (Scopus, Велика Британія)

Опубліковані праці апробаційного характеру:

8. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, V.A. Gudimenko, D.A. Garbuz, and L.V. Kamarchuk, Innovative point-contact nanosensors for real-time detection of *Helicobacter pylori* virulent strains. In: *Book of Abstracts "NBP-2017", Kharkiv, Ukraine, October 2-5 2017*, p. 24.
9. D. Harbuz, A. Pospelov, V. Gudimenko, A. Tkachenko, and G. Kamarchuk, Sensor profiling of breath gas as a tool to thwart terror attacks. In: *Book*

of Abstracts "Advanced Research Workshop "Terahertz (THz), Mid Infrared (MIR) and Near Infrared (NIR) Technologies for Protection of Critical Infrastructures Against Explosives and CBRN", Liblice, Czech Republic, November 5-9 2018, P3.

10. G. Kamarchuk, A. Pospelov, A. Savitsky, V. Gudimenko, V. Vakula, A. Herus, D. Harbuz, and L.Kamarchuk, On the prospect of application of point-contact sensors to solving global security problems. In: *Book of Abstracts Advanced Research Workshop "Terahertz (THz), Mid Infrared (MIR) and Near Infrared (NIR) Technologies for Protection of Critical Infrastructures Against Explosives and CBRN", Liblice, Czech Republic, November 5-9 2018, O21.*

11. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, V.A. Gudimenko, A.A. Tkachenko, and G.V. Kamarchuk, Detection of human emotional states through real-time sensor breath analysis. In: *Book of Abstracts "ICPYS-LTP 2018", Kharkiv, Ukraine, June 4-8 2018, p. 143.*

12. E. Uzun, G. Kamarchuk, A. Pospelov, L. Kamarchuk, D. Harbuz, V. Gudimenko, and V. Vakula, Point-contact nanosensors for solving security problems. In: *Book of Abstracts "Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика", Kharkiv, Ukraine, November 21-22 2019, p. 84-86.*

13. D.O. Harbuz, O.P. Konotop, V.A. Gudimenko, A.P. Pospelov, and G.V. Kamarchuk, Structural features of point-contact sensors based on tetracyanoquinodimethane compounds. In: *Book of Abstracts "ICPYS-LTP 2019", Kharkiv, Ukraine, June 3-7 2019, p. 104.*

14. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, M.D. Romanov, P.V. Mateychenko, A.P. Konotop, V.A. Gudimenko, and G.V. Kamarchuk, Revealing of correlation between morphology and sensing parameters of TCNQ based point-contact sensors, In: *Book of Abstracts "XIV Міжнародна наукова конференція «Фізичні явища в твердих тілах»", Kharkiv, Ukraine, December 3-5 2019, p. 39.*

15. M.D. Romanov, D.O. Harbuz, V.O. Gudimenko, A.P. Pospelov, and G.V. Kamarchuk, The influence of crystallization parameters of TCNQ-based point-contact structures on their electro-physical sensing properties in gases. In: *Book of*

Abstracts “Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців”, Kharkiv, Ukraine, November 19-22 2019, p 538.

16. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, M.D. Romanov, P.V. Mateychenko, A.P. Konotop, V.A. Gudimenko, and G.V. Kamarchuk, Surface morphology of nanostructured gas sensors based on metal-polymer compounds. In: *Book of Abstracts “ICEPOM-12”, Kamianets-Podilskyi, Ukraine, June 1-5 2020, p. 215.*

17. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, V.I. Belan, V.A. Gudimenko, V.L. Vakula, L.V. Kamarchuk, Y.V. Volkova, and G.V. Kamarchuk, Melatonin determination in the human organism by a breath test. In: *Book of Abstracts “II International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Temperature Physics CM<P 2021”, Kharkiv, Ukraine, June 6 - 12 2021, p.146.*

18. D.A. Harbuz, Yu.S. Doronin, V.A. Lototskaya, A.A. Tkachenko, V.L. Vakula, G.V. Kamarchuk, Cluster source of vacuum ultraviolet and ultrasoft x-ray radiation: from basic research to practical application. In: *Book of Abstracts “INTERNATIONAL RESEARCH AND PRACTICE CONFERENCE NANOTECHNOLOGY AND NANOMATERIALS - 2020”, Lviv, Ukraine, August 26-29 2020, p. 477.*

19. O.P. Konotop, D.O. Harbuz, V.A. Gudimenko, A.P. Pospelov, and G.V. Kamarchuk, Structural analysis and surface morphology of point-contact nanosensors based on Cu-TCNQ compound. In: *Book of Abstracts “International school-seminar for young scientists “Functional materials for technical and biomedical applications””, Kharkiv, Ukraine, September 6-10 2021, p. 11.*

20. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, V.I. Belan, V.A. Gudimenko, V.L. Vakula, L.V. Kamarchuk, Y.V. Volkova, and G.V. Kamarchuk Melatonin content determination by a breath test analysis. In: *Book of Abstracts “International school-seminar for young scientists “Functional materials for technical and biomedical applications””, Kharkiv, Ukraine, September 6-10 2021, p. 18.*

21. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, D.O. Harbuz, A.V. Savytskyi, A.O. Herus, V.I. Belan, V.A. Gudimenko, V.L. Vakula, and L.V. Kamarchuk, Point-contact sensors as an advanced tool for real-time analysis of molecular systems. In:

Book of Abstracts “7th International Conference NANOBIOPHYSICS: Fundamental and Applied Aspects”, Kharkiv, Ukraine, October 4-8 2021, L13, p. 52.

22. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, V.I. Belan, V.A. Gudimenko, V.L. Vakula, L.V. Kamarchuk, Y.V. Volkova, and G.V. Kamarchuk, The determination of melatonin content in the human body using exhaled gas analysis. In: *Book of Abstracts “7th International Conference NANOBIOPHYSICS: Fundamental and Applied Aspects”, Kharkiv, Ukraine, October 4-8 2021, O20.*

ABSTRACT

Harbuz D.O. Structural and electrophysical properties of point-contact sensor multistuctures. – Manuscript.

The thesis is submitted to obtain a scientific degree of Doctor of Philosophy, specialty 105 - Applied physics and nanomaterials (10 - Natural sciences). National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2024.

The thesis is devoted to the development of a method for creating point-contact sensor matrices with reproducible characteristics, improvement of the technology for obtaining such nano-objects, carrying out studies aimed at deepening the understanding of the nature of point-contact breath sensors based on the tetracyanoquinodimethane compound, as well as the development of a methodological basis of the approach to analyze the spectral sensor profiles of breath for medical purposes.

The work was carried out at the Department of Physics of Metals and Semiconductors of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" and at B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine at the Department of Spectroscopy of Molecular Systems and Nanostructured Materials.

The purpose of the dissertation is the understanding deepening of the nature of breath point-contact sensors based on the tetracyanoquinodimethane compound, development of a method for creating point-contact sensor matrices with reproducible characteristics, improvement of the technology for obtaining such nano-objects, as well as development of a methodological basis for the method of analysis of point-contact sensor profiles of complex gas mixtures for medical diagnostics.

The object of the study is the process occurring during the synthesis and functioning of point-contact sensor multistuctures, and their influence on the structure, morphology and properties of functional sensors.

The subject of the study is features of the structure, growth and phase composition of point-contact sensors based on organic conductors, peculiarities of the response of sensor matrices to the action of complex gas mixtures.

The introduction substantiates the relevance of the studies performed, formulates the purpose and tasks of the research, defines the object, subject and methods of the research, shows the connection of the work with scientific topics, describes the scientific novelty and practical significance of the obtained results, indicates the personal contribution of the author, provides information about the work approbation and publications of research results obtained.

The first chapter “The main features of Yanson point contacts and the physical prerequisites for their use as gas sensors” presents an overview of modern ideas about physical phenomena occurring in Yanson point contacts, considers the main modern models of Yanson point contacts as well as modes and features of current flow through such objects. The relationship between the fundamental properties of Yanson point contacts and their sensor applications is discussed. Information on the main modern principles of gas sensorics of nanostructured materials is given.

In the second chapter “Equipment and research methods” a description of the materials used during the research work is provided. Methods of experimental test samples obtaining are given. A description of the scientific equipment used during the study is provided. The methods of studying the structure of the investigated objects and the methods used to analyze the response of sensors to the action of the gas mixture are discussed.

The third chapter “Structural features of point-contact human breath sensors” is devoted to the study of the influence of sensor deposition modes on their structure, properties and phase composition of the material of the obtained samples. The peculiarities of the experimental research methodology are described in detail. The dependence of the samples surface morphology on the substance methods of deposition was analyzed. The relationship between the response parameters of the sensors to the action of the gaseous environment and their morphology was

investigated. A set of deposition parameters for obtaining sensors with a high response amplitude to the action of a gaseous environment has been determined.

The fourth chapter “A method of selective detection of the human breath components” is devoted to the study of the possibility of determining the content of such hormones as cortisol and serotonin in the human body using breath analysis. The dependence of the response parameters of the point-contact sensor under the breath action on the content of hormones in the human body was investigated. An approach for the determination of the content of serotonin and cortisol in the human body using a breath test has been developed. The fundamental possibility to investigate the hormonal composition in the human organism using Yanson point contacts as a research tool and breath as the medium under study is demonstrated.

The fifth chapter “Express method for melatonin determination in the human body” is devoted to the study of the possibility for determination of the melatonin content in the human body using breath analysis. The mathematical model of the dependence of sensor response parameters on the content of melatonin sulfate in the urine of patients was developed on the basis of correlation matrices. The efficiency and universality of the proposed approach are demonstrated. It is shown that the new express method for determination of melatonin has sufficient accuracy for use in medical diagnostics.

The main results achieved in the process of dissertation research are presented in the *conclusions*.

1. An experimental device for the automated deposition of point-contact sensors was developed and created *for the first time*.

2. The phase composition and surface morphology of point-contact nanosensors based on the tetracyanoquinodimethane compound were determined *for the first time* using X-ray diffraction and scanning electron microscopy.

3. *For the first time*, the relationship between the properties of point-contact sensors, the morphology of their surface, and the conditions of production is shown.

4. The universal approach to the procedure of sensory analysis of a wide range of components of a gas mixture exhaled by a person has been developed *for the first time*.

5. *A new* express methods of determining the concentration of serotonin, melatonin and cortisol hormones in the human body were developed in a non-invasive way using point-contact sensors based on the Cu-TCNQ compound.

Practical significance of the results:

The results obtained during the dissertation work have great prospects for nanostructured sensors production and for the medicine purposes. The improvement of the manufacturing technology of point-contact sensors creates prerequisites for the development of industrial technology for the production of innovative point-contact nanosensors. These nanosensors have unique capabilities due to the quantum properties of Yanson point contacts, which is the basic element of point-contact sensor matrices based on the Cu-TCNQ compound. Thus, for the first time, an opportunity to create industrial samples of quantum sensors that work on the principle of changing electrical conductivity appears.

Identifying the relationship between the properties of point-contact sensors, the morphology of their surface, and the conditions of production is an important component of the information necessary for the development of industrial technology for the production of innovative nanosensors. This will make it possible to predict the properties of the objects being created and purposefully change the methods as needed.

The development of a universal approach to the procedure of sensory analysis of a wide range of multicomponent gas mixtures, which was carried out during the dissertation work, lays the foundations for a new direction of research and original innovative developments in the sensorics of complex gas environments, which does not require the determination of individual components at the stage of experimental measurements. This result emphasizes the perspective of further work to be performed.

Express methods for determining the concentration of serotonin, melatonin and cortisol hormones in the human body in a non-invasive way using point-contact sensors based on the Cu-TCNQ compound, which were developed and successfully tested in the course of dissertation research, have great prospects for use in creation of a new methods for medical diagnostics within the framework of the development of the existing cooperation with the staff of the SI "Institute for Children and Adolescents Health Care" of the NAMS of Ukraine ". The mentioned developments have significant advantages over existing medical technologies, therefore, new methods of medical diagnostics, which will be created during these works, will have great competitiveness on the world market.

Keywords: Nanostructure, Nanomaterials, Electrical conductivity, X-ray diffraction, Surface morphology, Structure, Semiconductors, Polycrystalline films, Point contacts, Breath gas, Gas sensors, Low-dimensional systems, Crystalline solids, Phase composition, Geometry.

LIST OF PUBLICATIONS ON THE SUBJECT OF THE THESIS (AIP Style)

Scientific papers, in scientific professional editions of Ukraine and in scientific publications indexed in Scopus and Web of Science databases

1. V.A. Gudimenko, D.A. Garbuz, A.S. Klimkin, V.L. Vakula, A.P. Pospelov, and G.V. Kamarchuk, Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Physics, 27, 26 (2017). (B).
2. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, D.A. Harbuz, V.A. Gudimenko, L.V. Kamarchuk, A.S. Zaika, A.S. Pletnev, and A.V. Kravchenko, Biophys. Bul., 2(38), 66 (2017). (B)
3. A.P. Pospelov, V.I. Belan, D.O. Harbuz, V.L. Vakula, L.V. Kamarchuk, Yu.V. Volkova, and G.V. Kamarchuk, Beilstein J. Nanotechnol., 11, 1631 (2020). (Scopus, Germany)

4. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, L.V. Kamarchuk, A.V. Savytskyi, D.A. Harbuz, and V.L. Vakula, in *Functional Nanostructures and Sensors for CBRN Defense and Environmental Safety and Security, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*, Ed. by. A. Sidorenko and H. Hahn (Springer, Dordrecht, 2020), p. 245. (Scopus, Netherlands)
5. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, V.I. Belan, V.A. Gudimenko, V.L. Vakula, L.V. Kamarchuk, Y.V. Volkova, and G.V. Kamarchuk, *Low Temperature Physics*, 47(3), 254 (2021). (Scopus, USA)
6. G. Kamarchuk, A. Pospelov, A. Savytskyi, V. Gudimenko, V. Vakula, A. Herus, D. Harbuz, L. Kamarchuk, and M. F. Pereira, in *Terahertz (THz), Mid Infrared (MIR) and Near Infrared (NIR) Technologies for Protection of Critical Infrastructures Against Explosives and CBRN*, Ed. By. M.F. Pereira and A. Apostolakis (Springer, Dordrecht, 2021), p. 203. (Scopus, Netherlands)
7. D.A. Harbuz, A.P. Pospelov, V.A. Gudimenko, A.P. Konotop, P.V. Mateychenko, D.A. Kowalska, E. Faulques and G.V. Kamarchuk. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 718(1), 25 (2021). (Scopus, UK)

Published works of approbation nature:

8. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, V.A. Gudimenko, D.A. Garbuz, and L.V. Kamarchuk, Innovative point-contact nanosensors for real-time detection of *Helicobacter pylori* virulent strains. In: *Book of Abstracts "NBP-2017", Kharkiv, Ukraine, October 2-5 2017*, p. 24.
9. D. Harbuz, A. Pospelov, V. Gudimenko, A. Tkachenko, and G. Kamarchuk, Sensor profiling of breath gas as a tool to thwart terror attacks. In: *Book of Abstracts "Advanced Research Workshop "Terahertz (THz), Mid Infrared (MIR) and Near Infrared (NIR) Technologies for Protection of Critical Infrastructures Against Explosives and CBRN", Liblice, Czech Republic, November 5-9 2018*, P3.
10. G. Kamarchuk, A. Pospelov, A. Savitsky, V. Gudimenko, V. Vakula, A. Herus, D. Harbuz, and L.Kamarchuk, On the prospect of application of point-contact sensors to solving global security problems. In: *Book of Abstracts Advanced*

Research Workshop “Terahertz (THz), Mid Infrared (MIR) and Near Infrared (NIR) Technologies for Protection of Critical Infrastructures Against Explosives and CBRN”, Liblice, Czech Republic, November 5-9 2018, O21.

11. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, V.A. Gudimenko, A.A. Tkachenko, and G.V. Kamarchuk, Detection of human emotional states through real-time sensor breath analysis. In: *Book of Abstracts “ICPYS-LTP 2018”, Kharkiv, Ukraine, June 4-8 2018, p. 143.*

12. E. Uzun, G. Kamarchuk, A. Pospelov, L. Kamarchuk, D. Harbuz, V. Gudimenko, and V. Vakula, Point-contact nanosensors for solving security problems. In: *Book of Abstracts “Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика”, Kharkiv, Ukraine, November 21-22 2019, p. 84-86.*

13. D.O. Harbuz, O.P. Konotop, V.A. Gudimenko, A.P. Pospelov, and G.V. Kamarchuk, Structural features of point-contact sensors based on tetracyanoquinodimethane compounds. In: *Book of Abstracts “ICPYS-LTP 2019”, Kharkiv, Ukraine, June 3-7 2019, p. 104.*

14. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, M.D. Romanov, P.V. Mateychenko, A.P. Konotop, V.A. Gudimenko, and G.V. Kamarchuk, Revealing of correlation between morphology and sensing parameters of TCNQ based point-contact sensors, In: *Book of Abstracts “XIV Міжнародна наукова конференція «Фізичні явища в твердих тілах»”, Kharkiv, Ukraine, December 3-5 2019, p. 39.*

15. M.D. Romanov, D.O. Harbuz, V.O. Gudimenko, A.P. Pospelov, and G.V. Kamarchuk, The influence of crystallization parameters of TCNQ-based point-contact structures on their electro-physical sensing properties in gases. In: *Book of Abstracts “Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців”, Kharkiv, Ukraine, November 19-22 2019, p 538.*

16. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, M.D. Romanov, P.V. Mateychenko, A.P. Konotop, V.A. Gudimenko, and G.V. Kamarchuk, Surface morphology of nanostructured gas sensors based on metal-polymer compounds. In: *Book of Abstracts “ICEPOM-12”, Kamianets-Podilskyi, Ukraine, June 1-5 2020, p. 215.*

17. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, V.I. Belan, V.A. Gudimenko, V.L. Vakula, L.V. Kamarchuk, Y.V. Volkova, and G.V. Kamarchuk, Melatonin determination in the human organism by a breath test. In: *Book of Abstracts "II International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Temperature Physics CM<P 2021"*, Kharkiv, Ukraine, June 6 - 12 2021, p.146.

18. D.A. Harbuz, Yu.S. Doronin, V.A. Lototskaya, A.A. Tkachenko, V.L. Vakula, G.V. Kamarchuk, Cluster source of vacuum ultraviolet and ultrasoft x-ray radiation: from basic research to practical application. In: *Book of Abstracts "INTERNATIONAL RESEARCH AND PRACTICE CONFERENCE NANOTECHNOLOGY AND NANOMATERIALS - 2020"*, Lviv, Ukraine, August 26-29 2020, p. 477.

19. O.P. Konotop, D.O. Harbuz, V.A. Gudimenko, A.P. Pospelov, and G.V. Kamarchuk, Structural analysis and surface morphology of point-contact nanosensors based on Cu-TCNQ compound. In: *Book of Abstracts "International school-seminar for young scientists "Functional materials for technical and biomedical applications"*", Kharkiv, Ukraine, September 6-10 2021, p. 11.

20. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, V.I. Belan, V.A. Gudimenko, V.L. Vakula, L.V. Kamarchuk, Y.V. Volkova, and G.V. Kamarchuk Melatonin content determination by a breath test analysis. In: *Book of Abstracts "International school-seminar for young scientists "Functional materials for technical and biomedical applications"*", Kharkiv, Ukraine, September 6-10 2021, p. 18.

21. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, D.O. Harbuz, A.V. Savytskyi, A.O. Herus, V.I. Belan, V.A. Gudimenko, V.L. Vakula, and L.V. Kamarchuk, Point-contact sensors as an advanced tool for real-time analysis of molecular systems. In: *Book of Abstracts "7th International Conference NANOBIOPHYSICS: Fundamental and Applied Aspects"*, Kharkiv, Ukraine, October 4-8 2021, L13, p. 52.

22. D.O. Harbuz, A.P. Pospelov, V.I. Belan, V.A. Gudimenko, V.L. Vakula, L.V. Kamarchuk, Y.V. Volkova, and G.V. Kamarchuk, The determination of melatonin content in the human body using exhaled gas analysis. In: *Book of*

Abstracts “7th International Conference NANOBIOPHYSICS: Fundamental and Applied Aspects”, Kharkiv, Ukraine, October 4-8 2021, O20, p. 45.