

РІШЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ ПРО ПРИСУДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ДОКТОРА ФІЛОСОФІЇ

Спеціалізована вчена рада ДФ 64.175.012 Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України, м. Харків, прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» на підставі прилюдного захисту дисертації «Сенсорні властивості дендритних точково-контактних наноструктур» 23 лютого 2024 року.

Герус Анна Олегівна, 1992 року народження, громадянка України, освіта вища: закінчила у 2015 році Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" та здобула ступінь магістра за спеціальністю "хімічні технології рідкісних розсіяних елементів та матеріалів на їх основі".

Закінчила навчання в аспірантурі Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України 31 жовтня 2021 р. Успішно виконала освітньо-наукову програму підготовки доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія». З 1 листопада 2021 року працює молодшим науковим співробітником у відділі спектроскопії молекулярних систем і наноструктурних матеріалів Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України.

Дисертаційну роботу виконано у відділі спектроскопії молекулярних систем і наноструктурних матеріалів Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України.

Науковий керівник: професор, завідувач відділу спектроскопії молекулярних систем і наноструктурних матеріалів ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, доктор фіз.-мат. наук **Камарчук Геннадій Васильович**.

Здобувачка має 4 наукові публікації за темою дисертації, з них 3 статті у міжнародних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз (Scopus, Web of Science), що належать до квартилю Q1 (1 стаття), Q2 (1 стаття), Q4 (1 стаття) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, 0 монографій:

1. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, A.V. Savytskyi, **A.O. Herus**, Yu.S. Doronin, V.L. Vakula, E. Faulques, Conductance quantization as a new selective sensing mechanism in dendritic point contacts, Springer Nature Appl. Sci, 1:244 (2019),
DOI:org/10.1007/s42452-019-0241-x. (Scopus, квартиль Q2)

2. A. Savytskyi, A. Pospelov, **A. Herus**, V. Vakula, N. Kalashnyk, E. Faulques, G. Kamarchuk, Portable Device for Multipurpose Research on Dendritic Yanson Point Contacts and Quantum Sensing, *Nanomaterials*, 13(6), 996 (2023), <https://doi.org/10.3390/nano13060996> (Scopus, квартиль Q1)
3. **A. Herus**, A. Pospelov, A. Savytskyi, Yu. Doronin, V. Vakula, E. Faulques, G. Kamarchuk, Quantum sensor of new generation, *Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series Physics*, № 32, 65-70 (2020), DOI:10.26565/2222-5617-2020-32-08
4. G. Kamarchuk, A. Pospelov, A. Savytskyi, V. Gudimenko, V. Vakula, **A. Herus**, D. Harbuz, L. Kamarchuk, M. F. Pereira, On the prospect of application of point-contact sensors to solving the global security problems: an analytical review, in: M.F. Pereira, A. Apostolakis (Eds), *Terahertz (THz), Mid Infrared (MIR) and Near Infrared (NIR) Technologies for Protection of Critical Infrastructures Against Explosives and CBRN*, Springer, Dordrecht, 203-225 (2021), DOI: 10.1007/978-94-024-2082-1_15 (Scopus, квартиль Q4)

У дискусії взяли участь голова і всі члени спеціалізованої вченої ради:

1. Опонент **Рогачова Олена Іванівна**, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» надала позитивний відгук із зауваженнями:

1. При описі методики експериментів в розділі 2 було би бажано, щоб були більш-менш компактно вказані точності визначення фізичних величин, які безпосередньо вимірювались в даній роботі (електропровідності, час), або могли впливати на результати експерименту (температура зовнішнього середовища, хімічний склад і концентрація сумішей газів та інших речовин, що використовувалися, якість виготовлення деталей приладів, кількість проведених експериментів для будування гістограм електропровідності і, відповідно, точність визначення енергетичних станів квантової системи та інші). Наприклад, у розділі 3 серед численних експериментальних даних немає інформації про можливий вплив температури на характеристики дендритних точкових контактів Янсона, і, у зв'язку з цим, виникає питання: чи може змінити режим протікання струму в точковому контакті зміна температури оточуючого середовища у діапазоні 5-10 градусів під час експериментів?

2. В розділі 4 на рис 4.2,а наведена експериментальна залежність опору R дендритних точкових контактів від часу експозиції t в іонопровідному середовищі в процесі циклічного електрохімічного комутаційного ефекту в усьому інтервалі часу ($t = 1000$ сек), і червоним прямокутником виділено малу ділянку

($\Delta t = (926,1-927,3)$ с, яка показана на рис 4.2,б в другому масштабі. На рис. 4.2,б для цієї ділянки наведені експериментальна залежність $R(t)$ і, для порівняння, залежність $R(t)$, яка одержана на основі теоретичних розрахунків для опису процесу розчинення дендритного точкового контакту Янсона. Але, по перше, було би бажано, щоб таке порівняння було зроблено не для однієї вузької ділянки, а хоча б для двох-трьох з різних часових областей, а, по друге, на рис. 4.2,б не наведені експериментальні точки, а проведена крива. Оскільки в тексті не вказано, з якою точністю визначались t і R , не вказані довірчі інтервали, судити про ступінь відповідності теоретичної та експериментальної кривих важко.

3. У третьому розділі дисертаційної роботи побудовано залежність параметричної ємності подвійної квантової точки C від амплітуди збуджуючого сигналу A та енергетичної відстройки ϵ , проте у відповідному експерименті було досліджено таку залежність для фазової відповіді резонатора $\Delta\phi$. Чи не правильніше було б досліджувати теоретично саме фазову відповідь резонатора $\Delta\phi$ як функцію відповідних величин, а не параметричну ємність подвійної квантової точки C ?

4. В розділі 4 на рис. 4.3 представлені експериментальна і розрахункова залежності часу переривання прямої провідності точкового контакту (час життя контактів) від його початкового опору із зазначенням довірчих інтервалів при вірогідності 95%. В результаті порівняння цих залежностей виявилось, що розрахункові значення часу життя точкових контактів значно вище, ніж отримані експериментально для тих самих опорів. Після проведеного аналізу причин такої невідповідності дисертантка приходить до висновку, що «розбіжності між модельними та експериментальними значеннями можуть бути пов'язані з тим, що модель електрохімічної кінетики, яка використовується для розрахунків, не враховує підвищену вільну поверхневу енергію, якою володіє наноструктура, що аналізується», що може бути результатом ефекту розміру або наслідком участі новоутвореної поверхні в анодному процесі. Оскільки добре відомо, що в загальному випадку властивості поверхні відрізняються від властивостей в об'ємі, що особливо проявляється при розгляданні квантових об'єктів, було би бажано більш детально розглянути це питання.

Також спостерігаються деякі термінологічні та стилістичні недоліки:

1. Не дуже вдало підібрані ключові слова: їх занадто багато, тому що деякі повторюються, маючи однаковий зміст і трохи іншу назву. Наприклад, одночасно серед ключових слів стоять: електрична провідність, електричний опір, провідність, питомий електричний опір, транспортні властивості (2 рази). Або: квантові розмірні ефекти, квантові ефекти, квантування про-

відності. В склад ключових слів входить «Раманівська спектроскопія», про яку зовсім не йде мова.

2. Дуже часто по тексту йдуть повтори. Наприклад, в різних варіантах, в різних розділах говориться про значення нанотехнологій, точкових контактів Янсона, квантових сенсорів і т.д., неодноразово розповідається про суть тих чи інших ефектів, повторюється опис методики досліджень.

Зазначені зауваження не носять принципового характеру і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

2. Опонент **Хаджай Георгій Ярославович**, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник кафедри фізики низьких температур Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, надав позитивний відгук із наступними зауваженнями:

1. Розділ 3. В описаних експериментах було запроваджено відкачку повітря вакуумним насосом до 10^{-2} мм рт. ст., тобто вода при цьому могла застигати. Чи відбувалась внаслідок цього механічна деформація електродів?

2. Розділ 5. Ви стверджуєте, що використовували бідистильовану воду, яка через гідратацію стає насиченою іонами міді, з тексту дисертації не зрозуміло, чи контролювали Ви якимось даний процес?

Однак, слід вказати, що зазначені зауваження жодним чином не впливають на якість отриманих результатів дисертаційної роботи і на обґрунтованість висновків.

3. Рецензент **Квітницька Оксана Євгенівна**, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу мікроконтактної спектроскопії Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України надала позитивну рецензію із зауваженнями:

1. Недоречність використання терміну «спектроскопія» при вимірюваннях при кімнатній температурі, коли температурне розмиття нівелює отримання спектроскопічної інформації у методі мікроконтактної спектроскопії Янсона.

2. Використання імені І.К. Янсона в терміні «дендритний мікроконтакт Янсона» викликає питання. Це було б доречно, якщо б це Янсон запропонував такий спосіб отримання контактів. Якщо ж мається на увазі, що дендритні контакти демонструють спектроскопічні властивості, як у методі МКС Янсона, то таких експериментальних доказів не наведено. Як вказано вище, таку спектроскопію неможливо реалізувати при кімнатній температурі.

3. Для висновку про ідеальну кристалічну структуру дендритного контакту потрібно надати експериментальні докази щодо цього, тому що з зображень електродів на фотографіях Рис. 5.1 і 5.2, не можна зробити таких висновків.

4. Поступова зміна провідності при рості дендритного контакту пояснюється у розділі 5 оболонковим квантовим ефектом, де наводяться відповідні гістограми провідності. Ці гістограми недостатньо інформативні і по ним неможливо зробити висновки щодо природи квантування та про присутність оболонкового ефекту. З дисертації незрозуміло, під керуванням якого квантового оболонкового ефекту (електронного чи атомного) відбувається формування кристалічної структури контакту і яким чином. Якщо розглянути відомі публікації по виявленню оболонкового ефекту (наприклад, роботи [35] та [98], процитовані в дисертації), то потрібно провести принаймні на порядок більше сканів, і мати для побудови гістограми мінімум декілька десятків тисяч значень опорів (див. рис. 3 у [98]), щоб отримати достовірну картину поведінки провідності.

5. В недавній роботі Julia Hauser et al. Nanotechnology 34, 175703 були досліджені квантові ефекти в провідності наноконтактів міді при кімнатних умовах, але не було виявлено впливу кисню на їх характеристики, що викликає сумнів у тому, як можуть невеликі концентрації інертних газів аргону чи метану впливати на провідність контактів і «керувати оболонковими ефектами».

6. У розділі 3.3 допущена неточність щодо визначення опору мікроконтактів в умовах спектрального режиму.

4. Рецензент **Соловйов Андрій Львович**, доктор фізико-математичних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу мікроконтактної спектроскопії Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України надав позитивну рецензію на роботу, без істотних зауважень до дисертаційної роботи.

5. Голова ради **Долбин Олександр Вітольдович**, доктор фізико-математичних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України дав позитивну оцінку роботі, без зауважень.

Загальна оцінка роботи і висновок. Дисертація Герус Анни Олегівни на тему «Сенсорні властивості дендритних точково-контактних наноструктур» є актуальним завершеним науковим дослідженням.

Дисертацію присвячено детальному дослідженню та аналізу електричної провідності дендритних точкових контактів Янсона в процесі циклічного комутаційного ефекту з метою виявлення сенсорних властивостей цих наноструктур. Циклічний комутаційний ефект надає унікальні можливості для спостереження квантових перетворень у структурі та електричних властивостях дендритних точкових контактів Янсона у режимі реального часу. Таким чином, цей ефект є необхідним інструментом для спостереження реакції квантового об'єкта на вплив зовнішнього середовища. Унікальність ситуації полягає також в тому, що в точкових контактах Янсона реалізується стан з надвисокою густиною струму, що не призводить до руйнації контакту на противагу однорідним зразкам, які в таких умовах неодмінно миттєво будуть зруйновані.

Під час виконання даної дисертаційної роботи вперше відкрито квантовий механізм селективного детектування газів та рідких середовищ на основі зміни електроопору дендритних точкових контактів Янсона. Даний відкритий механізм дозволяє виявляти відмінність гістограм провідності та енергетичних рівнів дендритних точково-контактних систем, синтезованих як в різних газових середовищах, так і в однакових середовищах різної концентрації, що свідчить про високу чутливість означеного механізму детектування речовин, який був відкритий у даній роботі.

За допомогою концепції безщільної електродної електрохімічної системи визначено локалізацію ділянки руйнування каналу провідності дендритного точкового контакту Янсона в рідкому середовищі в умовах протікання електричного струму. Вперше визначено природу процесів синтезу та руйнування дендритних точкових контактів Янсона у рідкому середовищі. Вперше показано, що безщільна електродна електрохімічна система в електричному полі дендритного точкового контакту Янсона функціонує як система з позитивним зворотнім зв'язком, що визначає динаміку зміни опору точкового контакту в іонопровідному середовищі.

Під час виконання дисертаційної роботи доведено можливість практичного використання квантових сенсорних ефектів. Вперше показано, що квантові точково-контактні сенсори спроможні селективно детектувати широке коло газових середовищ, від інертних газів до складних газових сумішей.

Висока достовірність результатів, які були отримані в даній дисертаційній роботі, гарантована завдяки застосуванню сучасного експериментального обладнання, яке використовувалось при виконанні роботи, використанню оригінальних методів та методик, які показали свою ефективність та були апробовані під час попередніх досліджень, визнаних науковою спільнотою.

Результати досліджень, наведені у дисертаційній роботі та опубліковані у наукових статтях, належать автору. Робота виконана з дотриманням усіх вимог академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших

авторів мають посилання на відповідне джерело. За кількістю і рівнем публікацій, апробацією на міжнародних конференціях дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» №44 від 12.01.2022 р.

Рада вважає, що дисертація Герус Анни Олегівни на тему «Сенсорні властивості дендритних точково-контактних наноструктур», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» є завершеним самостійним науковим дослідженням, сукупність результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 10 «Природничі науки», а за актуальністю, науковою новизною і практичною цінністю відповідає вимогам чинного законодавства України, «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23.03.2016 р. № 261 та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44, а здобувачка Герус Анна Олегівна заслуговує присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Результати відкритого голосування:

«За» - 5 членів ради,
«Проти» - 0 членів ради,
«Утримались» - 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада ДФ 64.175.012 присуджує Герус Анни Олегівни ступінь доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Голова разової
спеціалізованої вченої ради
доктор фіз.-мат. наук, професор



Олександр ДОЛБИН

