

## РІШЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ ПРО ПРИСУДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ДОКТОРА ФІЛОСОФІЇ

Спеціалізована вчена рада ДФ 64.175.016 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 «Синтез та особливості фізичних властивостей вуглецевих наноструктур і композитів» 22 листопада 2024 року.

**Чередниченко Сергій Володимирович**, 1993 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2019 році Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут», кафедру «Матеріалознавство» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство». Дисертація подана до захисту під час навчання в аспірантурі Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України. С.В. Чередниченко успішно виконав освітньо-наукову програму підготовки доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Дисертаційну роботу було виконано у відділі теплових властивостей і структури твердих тіл та наносистем Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор Долбин Олександр Вітольдович.

Здобувач має 8 наукових публікацій за темою дисертації, з них 3 статті у міжнародних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз (Scopus, Web of Science), що належать до квартилю Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, 0 монографій:

1. A. V. Dolbin, N. A. Vinnikov, V. B. Esel'son, V. G. Gavrillo, R. M. Basnukaeva, M. V. Khlistyuck, **S. V. Cherednychenko**, The impact of treating graphene oxide

- with a pulsed high-frequency discharge on the low-temperature sorption of hydrogen, *Low Temperature Physics*, 46, 293 (2020). <https://doi.org/10.1063/10.0000701>, (Q3).
2. N. A. Vinnikov, **S. V. Cherednychenko**, A. V. Dolbin, V. B. Eselson, V. G. Gavrilkov, R. M. Basnukaeva, and A. M. Plokhotnichenko, The new approach for obtaining aqueous solutions of fullerene  $C_{60} @ \{H_2O\}_n$  by the cryogenic sublimation method *Low Temperature Physics*, 48, 336 (2022). <https://doi.org/10.1063/10.0009739> (Q3).
3. **S. V. Cherednichenko**, G. V. Andrievsky, N. A. Vinnikov, A. V. Dolbin, M. V. Kosevich, V. S. Shelkovsky, et al., Raman, UV-Vis, MS, and IR characterization of molecular-colloidal solution of hydrated fullerenes  $C_{60}$  obtained using vacuum-sublimation cryogenic deposition method. Is the  $C_{60}$  molecule truly highly hydrophobic?, *Low Temperature Physics*, 50, 248 (2024). <https://doi.org/10.1063/10.0024965> (Q3).

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

1. Опонент **Зубарєв Євгеній Миколайович**, (професор кафедри фізики металів та напівпровідників Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», професор, доктор фізико-математичних наук) надав позитивний відгук із наступними зауваженнями:
- 1) Автор стверджує на стор. 78 “Як можна побачити (з Рис 3.1), обробка плазмою водню призвела до суттєвого розшарування декількашарового графену”. За якими ознаками контрасту на наведених електронно-мікроскопічних зображеннях зразків ТВОГ та МТВОГ можна зробити такий висновок.
  - 2) Автор у своїй роботі користується поняттям декількошарового оксиду графену. В роботі не приводяться дані по кількості шарів, атомних площин (0001) графену в лусочках оксиду графену, електронно-мікроскопічні зображення яких, наприклад, наведені на рис. 2.2, 2.3 та 3.1.

3) Немонотонну залежність характерних часів сорбції молекулярного водню від температури  $\tau(T)$  для зразків ТВОГ і МТВОГ автор пояснює конкуренцією між термоактиваційним дифузійним механізмом, який домінує при температурах вище 40 К, і механізмом продольної дифузії, внесок якого переважає при низьких температурах. У тексті дисертаційної роботи не описується, чим ці механізми дифузії принципово відрізняються.

4) Виникають питання до електронно-мікроскопічних зображень, представлених на Рис. 5.11. По-перше, за якою методикою готувався зразок з водно-колоїдної субстанції  $C_{60}@H_2O$  для електронно-мікроскопічних досліджень, а саме, на якій підкладці здійснювався процес сушки. По-друге, на мій погляд, важко спостерігати в електронному мікроскопі окремі молекули фулерену на підкладці.

5) Для деяких експериментальних залежностей, наприклад, наведених на рис. 3.2 та 3.4 бажано було б оцінити похибку вимірювань, оскільки розкид експериментальних точок на цих графіках досить великий.

Є також зауваження до оформлення дисертаційної роботи.

Зазначені недоліки не є принциповими, не знижують наукової і практичної значимості дисертаційної роботи і не впливають на її позитивну оцінку.

2. Опонент **Хижний Юрій Анатолійович** (доктора фізико-математичних наук, старшого дослідника, старшого наукового співробітника НДІ «Спектроскопія конденсованого стану речовини» фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка) надав позитивний відгук із зауваженнями:

1) В тексті роботи відсутні висновки або припущення щодо можливих атомно-молекулярних механізмів підвищення параметрів міцності композитів поліефірна смола-скловолокно внаслідок додавання до них обробленого розрядом окисованого графену. Аналіз таких можливих механізмів є дуже бажаним в дисертаційній роботі, яка подається на здобуття за спеціальністю «фізика».

- 2) З тексту, що описує Рис. 5.9 b) не є зрозумілим, які саме особливості спектрів поглинання розчинів можна вважати доказами існування гідратованих фулеренів  $C_{60}@{H_2O}_n$  в розчинах, одержаних вакуумно-криогенно-сублімаційним методом.
- 3) На Рис. 5.15 відсутня інформація щодо походження спектральної кривої рожевого кольору.
- 4) В тексті роботи міститься певна кількість одруківок, русизмів та елементів науково-жаргонної термінології.

Наведені зауваження жодним чином не применшують високу наукову цінність роботи та вагу одержаних в ній результатів і висновків.

**3. Рецензент Савченко Олена Володимирівна** (провідний науковий співробітника Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор) надала позитивний відгук із зауваженнями:

- 1) Серед методів, які використовував автор, у розділі «Методи дослідження», у вступі поряд з термопрограмованою десорбцією мають бути висвітлені також наступні: просвічуюча електронна мікроскопія, скануюча електронна мікроскопія, оптичні методи – оптична мікроскопія, оптичне поглинання у видимій та інфрачервоній області, мас-спектрометрія з лазерною десорбцією/іонізацією.
- 2) Вимірювання виконувались на 10 зразках, виникає питання, як відхилялись значення від середніх.
- 3) Було б доцільно описати більш детально алгоритм отримання даних з механічних властивостей композитів.
- 4) Недостатньо уваги приділено похибкам вимірювань. Так тільки у 3 розділі є одна фраза з цього приводу.
- 5) Робота не є вільною від друкарських помилок, як то зайві пропуски, пропущені або помилкові букви.

Відзначені недоліки не впливають на висновки, які зроблено в дисертації та ні в якій мірі не знижують дуже доброго загального враження від роботи та її позитивної оцінки.

**4. Рецензент Зинов'єв Петро Васильович** (старший науковий співробітник відділу теплових властивостей і структури твердих тіл та наносистем Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник) надав позитивний відгук із зауваженнями:

- 1) На мій погляд було б доцільно порівняти властивості полімерно-графенових композитів з іншими, існуючими, наприклад полімерно-графітовими, та з іншими існуючими не вуглецевими добавками.
- 2) Також хотілося б побачити більш розгорнуту характеристику отриманого в рамках даної дисертаційної роботи оксиду графену та модифікованого оксиду графену. Наприклад, стосовно сорбційних досліджень - яким буде вплив обробки високочастотним розрядом в атмосфері водню при інших енергіях?
- 3) Стосовно фулеренгідрату - дана робота була виконана за досить короткий проміжок часу та потребувала створення та налаштування специфічного обладнання. На мою думку, команді, за участю Сергія вдалося це зробити. Отримана водна суміш фулерену - це досить чутливий, складний об'єкт дослідження, що потребує великої кількості методів досліджень. Однак, отримані результати в даній дисертаційній роботі вказують на наявність гідратованого фулерену або схожої на нього за властивостями фази. Тому доцільно було б провести дослідження саме твердої фази конденсату гідратованого фулерену. Безумовно, ця робота сприяла б підтвердженню можливості отримання розчину  $C_{60}$  у воді без використання допоміжних домішок.
- 4) Також в дисертаційній роботі присутні граматичні та стилістичні помилки, вживання специфічних термінів.

Вказані зауваження суттєво не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи, на вагомість отриманих результатів, а становлять на мету точніше позначити шляхи майбутніх досліджень.

5. Голова ради **Константинов Вячеслав Олександрович** (доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу теплових властивостей і структури твердих тіл та наносистем Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України) дав позитивну оцінку роботі, без зауважень.

#### **Загальна оцінка роботи і висновок**

Дисертаційна робота Чередниченка Сергія Володимировича на тему «Синтез та особливості фізичних властивостей вуглецевих наноструктур і композитів» є актуальним завершеним науковим дослідженням.

Дисертаційна робота С.В. Чередниченка присвячена дослідженню новітніх вуглецевих наноструктур, таких як оксид графену, що є перспективними для використання в якості ефективних сорбентів та для створення композитів з підвищеними механічними характеристиками. З іншого боку, гідратований фулерен має значні перспективи у біотехнологіях та в створенні новітніх вуглецевих чистих сполук та полімерів.

В даній дисертаційній роботі було розроблено та використано криогенно-сублімаційний метод конденсації для отримання розчину фулерену  $C_{60}$  у воді, за рахунок утворення гідратного комплексу фулерену  $C_{60}$  в процесі конденсації твердої фази на охолоджену до криогенних температур підкладку. Дана методика дозволяє отримати стабільний водний розчин фулерену та, як виявилось в результаті досліджень, гідратований фулерен (фулеренгідрат). Останній факт був підтверджено, перш за все маспектрометрією сухого осаду та УФ спектроскопією рідкого розчину. Перевага даного підходу полягає в досягненні розчинності порошку  $C_{60}$  у воді без його хімічної модифікації та без використання полярних розчинників, як, наприклад, толуол та тетрагідрофуран.

Більш того, в процесі дослідження осаду отриманого висушуванням розчину у вакуумі при 170 °С було виявлено гарну повторну розчинність сухого осаду у воді.

Методика використана для підвищення сорбційної ємності декількашарового оксиду графену а саме обробка оксиду графену (ОГ) високочастотним розрядом в атмосфері водню показала себе перспективною, технологічно досить простою. Результатом такого підходу стало підвищення сорбційної ємності декількашарового оксиду графену в 1,5 рази (фізична сорбція). Причиною такого ефекту, за результатами досліджень виявилось локальне збільшення міжшарової відстані у декількашарових лусках оксиду графену та часткове руйнування шарів та країв лусок. Також десорбційні дослідження виявили 15,4 ат. % хімічно сорбованого водню. Тобто, процес, що виникав при обробці ОГ високочастотним розрядом в атмосфері водню, можна характеризувати, як іонне бомбардування з кінетичною енергією іонів водню, яка є достатньою для здолання бар'єру хемосорбції (5-25 eV) лусок декількашарового ОГ.

Композити, що отримані в даній дисертаційній роботі мають реальні перспективи використання в якості клейових композитів (епоксидна смола – ОГ) та в якості конструкційних композитів (скловолокно-оброблений високочастотним розрядом ОГ в атмосфері водню-поліефірна смола). В результаті механічних випробувань клейова суміш показала підвищення міцності на зсув у три рази, а конструкційний композит продемонстрував підвищення міцності при статичному вигині та ударної в'язкості на ~ 50%, мікротвердість конструкційного композиту виросла на 100%.

В даній дисертаційній роботі було наведено змістовний огляд джерел інформації щодо основних положень проблематики вуглецевих наноструктур, як-то, вплив кривизни та хімічної модифікації структури на хімічну стабільність. Особливу увагу в огляді джерел інформації приділено взаємодії вуглецевих наноструктур з воднем та киснем, оскільки в трьох напрямках досліджень даної дисертаційної роботи проводилася фізична або хімічна

модифікація низьковимірних вуглецевих структур, як у випадку підвищення сорбційної ємності ОГ – хімічна та фізична модифікації. У випадку взаємодії лусок ОГ з епоксидними групами (клеювий композит) присутня як фізична, так і хімічна взаємодія. У випадку утворення гідратованого фулерену – донорно-акцепторну взаємодію можна віднести до фізичної взаємодії. Як свідчать наведені у роботі УФ спектри, кріогенно-сублімаційною методикою можна також отримати і хімічно функціоналізований фулерен при зміні певних факторів процесу утворення гідратованого фулерену.

Загалом, наукові положення, що винесені на захист, добре обґрунтовані та узгоджуються із сучасними теоретичними уявленнями, а їх достовірність забезпечується як високим рівнем проведених теоретичних розрахунків, так і тісним зв'язком із сучасними експериментами.

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», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами від 12 березня 2022 р. № 341, від 19 травня 2023 р. №502 та від 03 травня 2024 р. №507.

**Рада вважає**, що дисертація Чередниченка Сергія Володимировича на тему «Синтез та особливості фізичних властивостей вуглецевих наноструктур і композитів», 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 зі змінами від 12 березня 2022 р. № 341, від 19 травня 2023 р. №502 та від 03 травня 2024 р. №507, а здобувач Чередниченко Сергій Володимирович 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 64.175.016 присуджує Чередниченко Сергію Володимировичу ступінь доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Голова

разової спеціалізованої вченої ради

доктор фізико-математичних наук,

ст. наук. співр., головний

науковий співробітник

*Вконст* Вячеслав КОНСТАНТИНОВ

