

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

професора кафедри фізики металів та напівпровідників

Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,

професора, доктора фізико-математичних наук

ЗУБАРЄВА Євгенія Миколайовича

на дисертаційну роботу **ЧЕРЕДНИЧЕНКА Сергія Володимировича**

«Синтез та особливості фізичних властивостей вуглецевих наноструктур і

композитів», яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 104 «фізика та астрономія»

(галузь знань 10 «природничі науки»)

Актуальність обраної теми.

Жорсткі вимоги, що пред'являються до складних з технологічної точки зору виробів, а також до їх вузлів і агрегатів, висувують на перший план такі їх якості, як високі механічні характеристики, можливість надійного функціонування в широкому діапазоні температур, тривалий час безвідмовної роботи. Перш за все, ці вимоги стосуються виробів аерокосмічної і оборонної галузей, а також найбільш вразливих температурно- і механічно навантажених частин їх конструкцій. Зважаючи на це, актуальною є дисертаційна робота С.В. Чередниченка, яка присвячена дослідженню новітніх вуглецевих наноструктур, що є перспективними для створення легких високоміцних матеріалів, таких як композити на основі оксиду графену та полімерів з високими показниками ударної в'язкості та розривної напруги.

З іншого боку, сумісність вуглецевих структур з біологічними системами відкриває перспективи їхнього застосування у біофізичних дослідженнях та у медицині. З цієї точки зору, здається цікавим та актуальним запропонований автором роботи оригінальний кріогенний метод отримання розчинного фулерену C_{60} . Отриманий автором гідратований фулерен C_{60} , особливо, його тверда фаза, яка була утворена спільною конденсацією пари фулерену і води на охолоджувану поверхню, також є цікавою як з точки зору фундаментальних досліджень її структури і теплових

властивостей, так і надає перспективні можливості для створення нових молекулярних сполук.

Окремий інтерес в дисертаційній роботі С.В. Чередниченка являє використаний автором метод підвищення сорбційної ємності вуглецевих наноструктур, зокрема, застосований до термічно відновленого оксиду графену, шляхом його обробки високочастотним імпульсним розрядом в середовищі водню. Такий метод обробки вуглецевих сорбентів є актуальним та перспективним з точки зору створення нових систем газового накопичення і зберігання.

Таким чином, вважаю тему дисертаційного дослідження Чередниченка С.В. важливою та актуальною.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих у дисертаційному дослідженні Чередниченка С.В. результатів полягає у наступному:

1. Надано основні найважливіші особливості низькомірних вуглецевих структур в огляді джерел інформації, таких як вплив кривизни графеноподібного шару (стеричні особливості) на хімічну та механічну стабільність вуглецевих структур. Також наведено теоретичний поріг хемосорбції. Ці дані як найкраще передують наступним дослідженням даної дисертаційної роботи.
2. Виявлено суттєвий позитивний вплив обробки імпульсним високочастотним розрядом в атмосфері газоподібного водню на сорбційні властивості термічно відновленого оксиду графену.
3. Показано, що додавання модифікованого імпульсним високочастотним розрядом термічно відновленого оксиду графену (ТВОГ) до складу композиту поліефірна смола-скловолокно значно підвищує механічні характеристики означеного композиту. Продемонстровано суттєвий вплив ТВОГ на адгезійні та механічні характеристики епоксидного клейового композиту.
4. Новітнім вакуумно-криогенно-сублімаційним методом була отримана тверда фаза суміші фулерена C_{60} та молекул води, плавлення якої утворює колоїдний водний розчин фулерену C_{60} . Шляхом досліджень, виконаних різними фізичними методами,

доведено, що такий розчин містить чистий фулерен C_{60} без будь-яких продуктів його хімічної модифікації.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати досліджень даної дисертаційної роботи важливі не тільки з фундаментальної точки зору, але і мають суттєве практичне значення:

1. Отриманий методом обробки імпульсним високочастотним розрядом в атмосфері водню термічно відновлений оксид графену є перспективним з точки зору використання у якості ефективного сорбенту у елементах паливних комірок, а також у якості наповнювача для створення полімерних композитів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.
2. Розроблений вакуумно-криогенно-сублімаційний метод може бути використано не тільки для виробництва водорозчинного гідратованого фулерену, але і для створення інших молекулярних сумішей і клатратів, які є чутливими до підвищеної за кімнатну температуру.
3. Створений за допомогою вакуумно-криогенно-сублімаційного методу гідратований фулерен C_{60} , який легко розчиняється у воді, може бути використано для біофізичних досліджень, сенсорів тощо.

Виконані в даній роботі дослідження вуглецевих наноструктур та композитів безумовно дають підґрунтя для подальших фундаментальних досліджень.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та їх достовірність.

Результати досліджень С.В. Чередниченка базуються на експериментах, які були виконані з використанням надійних сучасних високоточних установок і добре апробованих експериментальних методів дослідження матеріалів, таких як скануюча та просвічуюча електронна мікроскопія, оптична спектроскопія в ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному діапазонах, лазерна мас-спектрометрія, механічні випробування, які добре узгоджуються між собою та з відповідними літературними даними. Результати не суперечать також і загальновідомим фізичним поняттям і принципам. Це дозволяє дати однозначно позитивну відповідь на питання про ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків дисертації, їх достовірності.

Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.

Матеріали дисертації С.В. Чередниченка з достатньою повнотою висвітлені в 3 статтях у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах SCOPUS та Web of Science. Всі три статті опубліковані в журналі кuartилію Q₃, а саме – Low Temperature Physics. Даних публікацій достатньо для дисертаційної роботи доктора філософії згідно встановленим вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 — «Фізика та астрономія». Всі статті написано у співавторстві, в одній з трьох статей – дисертант є першим автором. Результати наукових досліджень даної дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних конференціях та семінарах, опубліковані в збірниках тез наукових міжнародних конференцій (4 тези) і відомі спеціалістам в галузі фізики. З обсягу проведеної в рамках дисертації роботи та з публікацій очевидно, що особистий вклад дисертанта в означені роботи є визначальним.

Зауваження до дисертаційної роботи.

При ознайомленні з дисертаційною роботою С.В. Чередниченка не виникало принципових зауважень, які б стосувалися її основних положень і висновків. Є зауваження, пов'язані з подачею деяких результатів, неясністю деяких формулювань, оформленням роботи:

1. Автор стверджує на стор. 78 “Як можна побачити (з Рис 3.1), обробка плазмою водню призвела до суттєвого розшарування декількашарового графена”. 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

тесті 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:

1. В деяких словах пропущені букви: "...морфологію модифіковано зразка..." (стор. 3), або слова "...оскільки потенційні в центрі вуглецевих гексагонів є мінімальними [71] С (стор. 79).

2. Зустрічаються речення, в яких слова не узгоджені за відмінками: "...отримане з оптичного мікроскопі МБІ-6..." (стор. 93).

3. На стор. 113 є посилання на (Рис. 5.5.3.1 b) замість (Рис. 5.15 b).

4. Цілі числа відокремлюються від десятинних по різному, крапкою або комою.

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

Загальна оцінка та висновок.

Дисертаційна робота С.В. Чередниченка «Синтез та особливості фізичних властивостей вуглецевих наноструктур і композитів» є оригінальною, самостійною та завершеною науковою роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та перспективу для подальших досліджень. Науковий рівень дисертації, безумовно, є високим; новизна, наукове та практичне значення отриманих результатів не викликає сумнівів. Отже, враховуючи актуальність теми, отримані нові наукові результати та їх практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Чередниченка С.В. «Синтез та особливості фізичних властивостей вуглецевих наноструктур і композитів» повністю 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, а її автор, Чередниченко Сергій Володимирович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 — «Фізика та астрономія» з галузі знань 10 — «Природничі науки».

Опонент:

**Професор кафедри фізики металів та
напівпровідників**

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

доктор фізико-математичних наук, професор



Євгеній ЗУБАРЄВ

Особистий підпис професора каф. ФМН, доктора фіз.-мат. наук, проф. Зубарева Є.М.
ЗАСВІДЧУЮ.

Вчений секретар Національного технічного університету
"Харківський політехнічний інститут"

канд. техн. наук., доц., проф.



Юрій ЗАЙЦЕВ