

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Найдьонова Арсенія Олександровича
на тему «Гнучкі сенсори на основі наноцелюлози та її композитів для
біомедичних застосувань»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування
за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка

Актуальність теми дисертації.

Створення провідних гнучких композитів, що поєднують механічну міцність, еластичність і електропровідність, є вкрай актуальною задачею для приладів гнучкої електроніки. У дисертаційній роботі пропонується розробка планарних гнучких сенсорів згину на основі композитів з використання наноцелюлози. Наноцелюлоза характеризується високою міцністю та гнучкістю є екологічно безпечним матеріалом і таким чином є перспективним матеріалом для розробки різних тензосенсорів. Інтерес до гнучких сенсорів вигину обумовлений їх практичним використанням у робототехніці, спортивних та реабілітаційних тренажерах, біомедичних застосуваннях, де потрібно точно вимірювати деформацію або кут вигину, з метою контролю рухів тіла людини. Запропоновані автором композити на основі наноцелюлози є технологічно простими у виробництві, перспективними для масштабування та не потребують спеціальної утилізації. Для сучасного матеріалознавства важливим підходом є розробка приладів гнучкої електроніки не тільки з точки зору їх функціональності, а й з погляду на екологічну безпеку. Тому, вивчення біорозкладності композитів, запропоноване в дисертаційній роботі, безумовно, є актуальним завданням.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- Вперше розроблено високоефективні гнучкі сенсори вигину з композитних матеріалів на основі тонких плівок нікелю у якості тензочутливого елементу та наноцелюлози і полівінілового спирту у якості біорозкладних підкладок. Створені сенсори демонструють коефіцієнт чутливості на рівні 16 і, таким чином, перевершують існуючі аналоги за чутливістю до деформації.
- Вперше було запропоновано новий підхід у розробці сенсорів, а саме, інтеграції функцій підкладки та чутливого елемента в одному

біорозкладному матеріалі на основі наноцелюлози, полівінілового спирту та графіту, що спростило технологію виготовлення сенсорів та підвищило екологічність такого роду виробів.

- Вперше було розроблено екологічно безпечний біокомпозит на основі наноцелюлози, полівінілового спирту та дрібнодисперсного заліза з коефіцієнтом тензочутливості на рівні 3,7. Сенсори, розроблені з використанням такого біокомпозиту, в залежності від вмісту заліза, придатні для реєстрації рухів малої та великої амплітуди та створення датчиків дотику.

Достовірність наукових результатів, представлених у дисертаційній роботі, підтверджується застосуванням комплексної методології дослідження, що охоплює фізичні експерименти, сучасні аналітичні методи та чисельне моделювання електричних властивостей сенсорів. Крім того, результати дослідження опубліковані у вітчизняних і закордонних фахових наукових виданнях, а також апробовані на низці міжнародних науково-практичних конференцій, що додатково засвідчує їхню наукову значущість та достовірність.

Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання - синтезувати та дослідити плівки гнучких композитів на основі наноцелюлози для сенсорів вигину виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Найдьонова А. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 153 – Мікро- та наносистемна техніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Нові речовини і матеріали».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна Найдьонова Арсенія Олександровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Робота написана відповідно до вимог до дисертаційних досліджень: логіка викладу дотримана, розділи узгоджені за змістом і послідовністю. Стиль – академічний, без відхилень, використано фахову термінологію у межах прийнятих стандартів. Ілюстративний матеріал інформативний і доречно пояснений. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 193 сторінки.

У вступній частині автор мотивує вибір теми екологічними, інженерними та медичними викликами сучасності, формулює гіпотези, завдання і структуру дослідження.

Перший розділ є оглядово-аналітичним і добре відображає поточний стан розробок у галузі сенсорних матеріалів на базі наноцелюлози, враховуючи їхню класифікацію, властивості та методи отримання.

Другий розділ базується на чисельному моделюванні, що дозволило автору дослідити взаємозв'язок між структурними параметрами композиту на основі наноцелюлози та його електропровідністю, включно з ефектом перколяції.

У третьому розділі представлено експериментальну частину щодо сенсорів вигину з металевою плівкою на поверхні наноцелюлози, проведено комплексне дослідження їх фізико-механічних та електричних характеристик з урахуванням зносостійкості.

У четвертому розділі представлено процес розробки сенсорів на базі провідного нанокompозиту, що містить наноцелюлозу, полівініловий спирт і графіт, де один і той самий шар виконує функції як гнучкої підкладки, так і чутливого елемента. Досліджено фізичні властивості композитів та електричні характеристики сенсорів вигину на їх основі. Наведено експериментальні результати, які підтверджують можливість використання таких пристроїв для реєстрації рухів людини.

У п'ятому розділі розглянуто сенсори, створені на основі композитів із залізовмісними частинками, просторово впорядкованими за допомогою магнітного поля. Вивчено, як орієнтація частинок впливає на анізотропію провідності, гнучкість матеріалу та його біорозкладність. Проведено випробування на відтворюваність та стабільність електричних характеристик під час багаторазового вигину, а також проаналізовано перспективність таких сенсорів для використання в системах моніторингу рухів.

У висновках автор зазначив, що всі поставлені завдання вирішено, а результати мають прикладне значення для біомедичних та екологічно чистих сенсорних технологій.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 11 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 7 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого – третього квартилів (Q1–Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації здобувача підтверджують високий рівень отриманих результатів. Вони охоплюють повний спектр дослідження: синтез, аналіз властивостей, моделювання та практичне застосування сенсорів. Публікації у виданнях категорії Б та журналах Q3, індексованих у Scopus і WoS, відповідають вимогам до рівня підготовки докторів філософії. Усі публікації виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Представлена на рис. 2.21 модельна та експериментальна залежність опору нанокompозиту на основі наноцелюлози, полівінілового спирту та графіту від концентрації графітового наповнювача суттєво відрізняються одна від одної величиною електроопору, що не може бути пояснена тільки відмінностями в площі поперечного перерізу провідника моделі і експериментального зразка, як зазначено в дисертації. Не зрозуміло чому опір в моделі при високій концентрації графіту, вище порогу перколяції, не зменшується зі збільшенням графіту, а становить 10^4 - 10^5 Ом.

2. В табл. 4.2 та в табл. 5.3 вживається, на мою особисту думку, неправильний термін «опір по поверхні», правильно було б зазначати «поверхневий опір». В табл. 3.4. вживається термін «лінійний опір», в табл. Б6, Б7 – «опір» та «вимірний опір», відповідно. При порівнянні електропровідності створених біокompозитних матеріалів бажано було б порівнювати їх питомий опір або поверхневий опір при однаковій товщині матеріалу.

3. При моделюванні низькоомних тензорезистивних матеріалів бажано використовувати більш реалістичні значення напруги, а не напругу в 1 В, яка забезпечує протікання струму більше 1 А, що на практиці призвело б до перегорання такого резистора.

4. Робота не враховує вплив температури на електропровідність сенсорів, що може бути критично важливим при майбутньому використанні на тілі людини.

5. Відсутні багатоциклічні випробування механічної втоми сенсорів, тобто дослідження від 1000 циклів згинання і більше, що дозволило б оцінити довготривалу надійність сенсорів.

6. В розділі 5 бажано було б порівняти властивості композитів з наноцелюлози, полівінілового спирту та заліза, синтезованих з використанням магнітного поля та без поля.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Найдьонова Арсенія Олександровича на тему «Гнучкі сенсори на основі наноцелюлози та її композитів для біомедичних застосувань» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань Автоматизація та приладобудування. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «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 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Найдьонов Арсеній Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка.

Опонент:

старший науковий співробітник відділу №35,
Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича
Національної академії наук України

к. ф-м. н. старший дослідник

СВ

Віталій КАРПИНА



« 26 » травня 2025 року

С.В. Прохоренко
С.В. Прохоренко