

**Відгук**  
офіційного опонента  
на дисертацію **Кайкан Лариси Степанівни «Синтез, структура та фізичні властивості нанорозмірних заміщених літєвих феритів»**, представлену до захисту на здобуття наукового ступеня  
доктора фізико-математичних наук за спеціальністю  
01.04.18 – фізика і хімія поверхні

**Актуальність тематики**

Ферити зі структурою типу шпінелі демонструють цікаві електричні і магнітні властивості. Вони широко використовуються в багатьох важливих технологічних галузях, наприклад, в мікрохвильових пристроях типу циркуляторів, зсувачів фаз, комірках пам'яті, магнітних записуючих пристроях, дросельних котушках, високочастотних пристроях, накопичувачів даних, поглиначах шумів і записуючих головках внаслідок їх високої магнітної проникності і низьких магнітних втрат. На сфери застосувань феритових матеріалів для мікрохвильових пристроїв сильно впливають фізичні і хімічні властивості, які, в свою чергу, залежать від способу синтезу. Для отримання необхідних властивостей найбільш важливими є вибір складу фериту і природи заміщуючого іона, а також температура і час спікання. Валентний стан іона-допанта у складі фериту суттєво впливає на структурні, електричні і магнітні властивості феритового матеріалу.

Серед різних методів синтезу матеріалів метод цитрат-гель автоспалювання є одним з найбільш привабливих методів для отримання різноманітних сполук для спеціалістів твердотільної хімії, фізиків і матеріалознавців тому що отриманий продукт, як правило, має високу хімічну чистоту, хорошу однорідність і малий розмір частинок. Це є наслідком того, що змішування заміщуючих катіонів має місце на атомарному рівні у прекурсорах і при цьому не потрібне використання високих температур спікання в процесі формування феритів. Більше того, в продуктах, отриманих цим методом, часто спостерігаються нові фізико-хімічні властивості у порівнянні з матеріалами, котрі синтезовані з використанням керамічних технологій.

Оскільки в дисертаційній роботі досліджуються нанорозмірні заміщені ферити, що були синтезовані методом золь-гель автоспалювання, то тема дослідження, безперечно, є актуальною. Ключовим результатом даного дослідження є встановлення взаємозв'язків між умовами отримання та морфологією, електричними та магнітними властивостями нанорозмірних літій-залізних феритів зі структурою шпінелі, а також цілеспрямованої зміни характеристик отриманого продукту шляхом оптимізації процесу синтезу та заміщення низки хімічних елементів іншими іонами. Дослідження впливу такого заміщення на структуру і властивості синтезованого матеріалу стало центральною ідеєю цієї дисертації.

Аналізуючи сучасні літературні дані за цією проблематикою, варто зазначити, що тематика даної дисертації знаходиться у фокусі актуальних проблем сучасного матеріалознавства. Кожна із задач, поставлених в роботі, є логічно побудованою, містить конкретні завдання і відображає важливі питання

досліджуваної проблеми. Для їх вирішення автором було вдало підібрано взаємодоповнюючі експериментальні методики і використано сучасні наукові підходи при аналізі, інтерпретації та узагальненні експериментальних даних. Слід також зазначити важливість даної роботи для подальшого розвитку фундаментальної науки в сфері фізики та хімії складних оксидних сполук у нанорозмірному стані.

У цьому аспекті **актуальність роботи** Кайкан Л.С., метою якої стало встановлення впливу умов синтезу і заміщення атомів заліза іонами  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  на структуру, морфологію, електричні та магнітні властивості нанорозмірних вихідних і заміщених літій-залізних феритів, не викликає жодного сумніву.

Тема дисертації безпосередньо пов'язана з низкою науково-дослідних робіт, що виконуються в наукових лабораторіях кафедри матеріалознавства і новітніх технологій ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника" в рамках досліджень, пов'язаних із науковою тематикою Міністерства освіти і науки України: «Синтез, структура та електрохімічні властивості поліфункціональних наноматеріалів на основі оксидів заліза» (№ 0112U001659, МОН України), «Дослідження особливостей електронно-йонних процесів в нанодисперсних і нанокомпозитних матеріалах на основі оксидів металів і металоїдів» (№ 0104U002441), що відповідає пріоритетному тематичному напрямку наукових досліджень, зазначеному у постанові Кабінету Міністрів України від 07 вересня 2011 року № 942 - створення та застосування нанотехнологій і технологій наноматеріалів. **Актуальність даної роботи** підтверджується також тим, що дослідження проводились не тільки у рамках науково-дослідних тем Міністерства освіти і науки України, а також за підтримки міжнародного проекту «Наноматеріали в пристроях генерації та накопичення енергії» (№ 0109U007767, МОН України, UKX 2-9200-IF-08 CRDF/USAID США).

Дисертація складається зі вступу, містить 7 розділів, висновки, перелік використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 401 сторінку, з них: 67 таблиць та 154 рисунки, 408 літературних джерел. Отже, всі вимоги щодо структури роботи та її обсягу були дотримані.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання роботи, визначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів в рамках предмету досліджень – встановлення загальних закономірностей між умовами синтезу нанорозмірних заміщених літійєвих феритів зі структурою шпінелі та їх морфологією та електричними і магнітними властивостями.

У **першому розділі** розглянуто перспективність використання методу золь-гель автогоріння для синтезу нанорозмірних феритів порівняно з традиційними способами синтезу. Ретельно проаналізовані фактори, що впливають на перебіг реакції формування фериту. Особлива увага приділена особливостям застосування дрібних і ультрадрібних порошків синтезованого матеріалу. Зокрема, проведено аналіз причин незадовільності використання традиційних методів синтезу для отримання літійєвих чи літійвмісних феритів.

Значна увага приділена способам модифікації синтезованого матеріалу з огляду на перспективи його застосування.

У **другому розділі** детально описано структуру шпінелі, її можливі структурні модифікації та умови існування. Представлено методіку отримання літєвого фериту шпінелі методом золь-гель автоспалювання. Також викладені модифікації стандартного процесу, що дають більш повний та інтенсивний перебіг реакції синтезу.

Розглянуті також фізичні основи основних методів дослідження, особливо тих їх аспектів, що стосуються особливостей дослідження матеріалів нанорозмірного діапазону. Проведено аналіз методів Шеррера і Вільямсона-Холла для визначення областей когерентного розсіювання X-променів, та розглянуто сфери їх застосувань. Проаналізовано можливості застосування імпедансного та температурного імпедансного аналізів для дослідження діелектричних та транспортних властивостей синтезованих матеріалів. Описано методіку магнітних досліджень порошкових феритів за допомогою вібраційного магнетометра зразків і отримання на базі кривих перемагнічування основних магнітних характеристик.

У **третьому розділі** представлені результати досліджень незаміщеної літій-залізної шпінелі  $Li_{0.5}Fe_{2.5}O_4$ , отриманої двома способами: традиційним керамічним способом подвійного спікання та методом золь-гель автоспалювання. Показано переваги методу автогоріння порівняно з традиційним, керамічним. Зокрема, золь-гель метод дозволив зменшити близько у 4 рази розміри кристалітів, що говорить про високу дисперсність системи Li-фериту, та збільшити у 20 разів площу питомої поверхні матеріалу. Також запропоновано сферу застосування даного фериту і показано, що він демонструє хороші результати при використанні його як катоду в літєвих джерелах струму. Також проведено дослідження електричних і магнітних властивостей отриманого матеріалу, які показали, що такий ферит поводить себе як напівпровідник n-типу і його магнітні характеристики є доволі високими, порівняно з об'ємними аналогами, що були синтезовані традиційним керамічним способом подвійного спікання.

Отримана інформація має принципове значення при дослідженні впливу заміщення на морфологію, електричні та магнітні властивості наноферитів.

У **четвертому розділі** наведені результати дослідження впливу заміщення іонів літію та заліза іонами кобальту на структуру, електричні та магнітні властивості літєвого фериту, отриманого методом золь-гель автоспалювання. В розділі також показана роль величини рН реакційного середовища під час синтезу на морфологію і властивості нанорозмірних літєвих феритів, заміщених іонами кобальту.

Структурні дослідження виявили, що в процесі заміщення відбувається зміна розташування катіонів і має місце перебудова ґратки в межах структури шпінелі від впорядкованої до розвпорядкованої, які мають різні просторові групи симетрії.

Визначення областей когерентного розсіювання виявили наявність напруг у ґратці синтезованої шпінелі, що робить недоцільним застосування методу Дебая-Шеррера. Цей факт вказує на правомірність застосування методу

Вільямсона-Холла як більш інформативного для встановлення розмірів кристалітів подібних структур.

Проведені в роботі магнітні вимірювання показали, що при збільшенні вмісту іонів  $\text{Co}^{2+}$  в складі фериту ширина петлі гістерезису зростає. Цей факт вказує на те, що магнітом'який матеріал змінюється до магнітожорсткого при даному заміщенні. Отримані також ряд залежностей, які показують вплив заміщення як на структурно-морфологічні характеристики, так і на фізичні властивості синтезованого фериту.

В результаті синтезу методом золь-гель автоспалювання при різних значеннях рН реакційного середовища отримано однофазні шпінельні ферити просторової групи  $Fd\bar{3}m$ . Виявлено, що реакційне середовище значною мірою впливає на морфологію отриманого продукту. Так, розмір кристалітів, що отримані при рН=7, знаходиться в межах  $\sim 20$  нм, тоді як при рН=3 і рН=9 кристаліти порівняно більш укрупнені і їх розміри складають  $\sim 25-35$  нм. Це пояснюється впливом аміаку, який збільшує хелатування катіонів металу з цитратами і сприяє утворенню пористої тривимірної (3D) структури в нітрат-цитратних ксерогелях. Підвищення температури і швидкості екзотермічної реакції при рН=7 попереджує агрегацію кристалітів.

Порівняння отриманих результатів з літературними даними свідчить про ефективність використаних методичних підходів для оцінки впливу заміщення на основні характеристики феритових систем.

**У п'ятому розділі** представлені результати дослідження структури, морфології, електричних та магнітних властивостей системи зразків складу  $\text{Li}_{0.5-x/2}\text{Fe}_{2.5-x/2}\text{Ni}_x\text{O}_4$ , де  $x=0,0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  і  $1,0$ , що були синтезовані методом золь-гель автоспалювання.

Авторкою встановлено, що розмір кристалітів синтезованих зразків знаходиться в межах 25-45 нм. Це дозволяє віднести їх до розряду нанокристалічних структур. Збільшення вмісту іонів нікелю у зразках  $\text{Li}_{0.5-x/2}\text{Fe}_{2.5-x/2}\text{Ni}_x\text{O}_4$  призводить до збільшення величини параметра елементарної комірки і довжини стрибка електрона між А- і В позиціями. Оскільки основним механізмом провідності у феритах при кімнатних температурах є стрибковий, який реалізується переміщенням електрона між однотипними іонами, що перебувають у різному валентному стані, то збільшення довжини стрибка призводитиме до зменшення провідності. Мессбауерівські спектри показали три магнітовпорядковані компоненти і парамагнітний дублет, параметри яких змінюються при зміні вмісту іонів нікелю.

Встановлено також, що структурно-морфологічні, мессбауерівські параметри та провідні і діелектричні властивості системи  $\text{Li}_{0.5-x/2}\text{Fe}_{2.5-x/2}\text{Ni}_x\text{O}_4$  є чутливими до вмісту іонів нікелю, і це дає можливість цілеспрямовано модифікувати матеріал у відповідності до технологічних потреб.

Показано, що впровадження іонів  $\text{Ni}^{2+}$  замість  $\text{Fe}^{3+}$  призводить до важливих модифікацій електричних властивостей зразків, а саме, механізм провідності змінюється при зростанні вмісту іонів нікелю (від n- до p-типу).

**У шостому розділі** авторкою представлені результати дослідження  $\text{Li}_{0.5}\text{Al}_x\text{Fe}_{2.5-x}\text{O}_4$  фериту, синтезованого методом золь-гель автоспалювання, в якому рН реакційного середовища дорівнює 7. Порошки в роботі досліджували

методом X-променевої дифракції (XRD) та мессбауерівської спектроскопії. Електричні властивості полікристалічних матеріалів вивчали як функції частоти і складу при кімнатній температурі з використанням діелектричної та імпедансної спектроскопії, а також проводили аналіз температурних залежностей провідності та основних діелектричних параметрів. Також в даному розділі значна увага приділена магнітним дослідженням. Показано, що зміна магнітних параметрів при збільшенні вмісту алюмінію змінюється немонотонно. Цю особливість автор пов'язує з процесом поляризації, що має місце при такому заміщенні.

Для порівняння представлені результати досліджень алюміній-заміщеного фериту отриманого як методом золь-гель авто спалювання, так і керамічним методом. Показано, що на відміну від традиційного методу, який дає багатофазну систему, вміст додаткових компонентів якої збільшується при збільшенні ступеню заміщення, метод автоспалювання для всіх концентрацій заміщуючого елемента формує однофазну систему. Порівнюючи структуру і морфологію зразків, що були синтезовані традиційним твердофазним методом і методом золь-гель авто спалювання, видно, що зразки, котрі отримані хімічним методом, володіють вищою однорідністю розподілу елементів за об'ємом, хорошою повторюваністю результату, високою кристалічністю, малим розміром кристалітів та досконалою стехіометрією. З точки зору економічності отримання, метод золь-гель автоспалювання не вимагає високотемпературної тривалої термічної обробки в процесі синтезу, на відміну від твердофазного методу, що дає можливість отримати високоякісні ферити з хорошими характеристиками при малих енергетичних та часових затратах.

Таким чином, в роботі нанорозмірний ферит складу  $Li_{0.5}Fe_{2.5-x}Al_xO_4$  був успішно синтезований методом цитрат гель автоспалюванням при  $pH=7$ . Середній розмір кристалітів складав від 38 до 41 нм. Встановлено, що параметр елементарної комірки, розмір кристалітів і питома густина зменшуються зі збільшенням вмісту Al у зразку. Діелектричні властивості демонструють нормальну залежність від частоти, що пояснюється на основі теорії Купса і моделі Максвелла-Вагнера. Вимірювання комплексного імпедансу показали наявність двох півкіл для всіх досліджуваних зразків. Це свідчить про те, що ємність і опір таких зразків пов'язані з властивостями зерен і границь зерен. Температурна залежність провідності і дійсної частини діелектричної проникності в області температур 350–400 К носить аномальний характер, що дає підставу стверджувати про прояв сегнетоелектричних властивостей в даному околі температур. З отриманих даних можна зробити висновок, що заміщення  $Al^{3+}$  відіграє важливу роль в модифікації магнітних і електричних властивостей літєвих феритів складу  $Li_{0.5}Fe_{2.5-x}Al_xO_4$ .

**В розділі 7** здійснено комплексне дослідження структури, морфології, електричних та магнітних властивостей літій-залізних шпінелей, в котрих іони заліза заміщуються іонами магнію.

В результаті синтезу методом золь-гель автогоріння при різних значеннях  $pH$  реакційного середовища отримано однофазні шпінельні ферити просторової групи  $Fd\bar{3}m$ . Виявлено, що реакційне середовище значною мірою впливає на морфологію отриманого продукту. Так, розмір кристалітів, отриманих при

pH=7 знаходиться в межах ~20 нм, тоді як при pH=3 і pH=9 кристаліти порівняно більш укрупнені з розміром ~25-35 нм. Це пояснюється впливом аміаку, який збільшує хелатування катіонів металу з цитратами і сприяє утворенню пористої тривимірної (3D) структури в нітрат-цитратних ксерогелях. Підвищення температури і швидкості екзотермічної реакції при pH=7 попереджує агломерацію кристалітів.

Мессбауерівські спектри  $^{57}\text{Fe}$  системи  $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{1.9}\text{Mg}_{0.6}\text{O}_4$ , отриманої при значеннях pH рівних 3, 7, та 9, також виявляють залежність від pH реакційного середовища, що проявляється як особливостями морфології, так і розмірами кристалітів, оскільки зміни структурних параметрів викликають відповідні зміни магнітної мікроструктури. Збільшення параметру ґратки при pH=7 викликає збільшення довжин зв'язків  $\text{Me}-\text{Me}$  і  $\text{Me}-\text{O}$ , які є відповідальними за магнітну взаємодію в феритах-шпінелях. Таким чином, умови синтезу, а зокрема значення pH реакційного середовища, відіграють важливу роль у формуванні структури і властивостей матеріалів, синтезованих методом золь-гель автоспалювання.

Авторкою показано, що основний вклад в діелектричну дисперсію синтезованої системи вносять дипольна і міжгранична поляризації. Високі значення діелектричної проникності в області малих частот при кімнатній температурі виникають внаслідок обміну електронами між іонами заліза за механізмом  $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$  і значним впливом міжзеренних границь. Збільшення низькочастотної діелектричної сталої спричинено впливом електронного обміну  $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$ , що виникає у фериті в результаті локального зміщення електронів в напрямку прикладеного електричного поля.

Провідність синтезованих систем носить напівпровідниковий характер. Для них властиві два механізми провідності: активаційний (в діапазоні високих температур) і стрибковий (в діапазоні кімнатних температур). Енергії активації обох механізмів суттєво відрізняються між собою і складають значення 2.46 eV для активаційного механізму та 1.42 eV для стрибкового. Міграція електронів при стрибковому механізмі провідності здійснюється по октапозиціях з довжиною стрибка  $\sim 2.950 \pm 0.002 \text{ \AA}$ . Отримані дані дають ґрунтовну інформацію про зміну властивостей матеріалу, викликану заміщенням іонів заліза іонами магнію, що може мати суттєвий науковий та практичний інтерес.

### **Достовірність та ступінь обґрунтування наукових положень**

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів дисертаційного дослідження забезпечена:

- використанням комплексу взаємодоповнюючих новітніх методик експериментального дослідження та аналізу отриманих експериментальних даних;
- відповідністю сформованих модельних уявлень з експериментально одержаними результатами;
- узгодженістю отриманих результатів як між собою, так і з літературними даними;
- апробацією результатів роботи на конференціях та наукових семінарах;

– відтворюваністю отриманих експериментальних результатів та їх поясненням на основі сучасних досягнень хімії і фізики наноматеріалів.

Інтерпретація експериментальних результатів є комплексною, із залученням загальноновизнаних та самостійно створених моделей. З огляду на сказане вище, можна зробити висновок, що представлені у дисертаційній роботі результати є **достовірними**.

Основні результати в роботі викладені авторкою у 26 статтях, що опубліковані у фахових журналах (з них 13 статей, котрі індексуються в наукометричній базі Scopus та 3 – у Web of Science), і 2 патентах. Результати доповідались і пройшли необхідну апробацію на 18 наукових конференціях.

Підсумовуючи, вважаю, що основні результати та висновки дисертаційної роботи Кайкан Лариси Степанівни є **науково-обґрунтованими**.

Матеріали докторської дисертації не містять результатів її кандидатської дисертації.

### **Наукова новизна**

Ґрунтуючись на аналізі усіх розділів дисертації Кайкан Л.С. можна стверджувати, що вона містить як окремі, так і загальні наукові положення і здобутки, які дозволили авторці прийти до ряду важливих та вагомих висновків. Авторкою дисертаційної роботи встановлені найбільш оптимальні умови проведення синтезу досліджуваних матеріалів методом золь-гель авто спалювання. Зокрема, встановлено, що відхилення від традиційного співвідношення метал/паливо в бік збільшення останнього призводить до більш інтенсивного і повного перебігу реакцій. Це, в результаті, забезпечує більшу дисперсність і меншу агломерованість отриманих сполук. Встановлено також вплив величини рН реакційного середовища на морфологію отриманих матеріалів. Важливо відзначити висновки, в яких проаналізовано трансформацію магнітних (у випадку заміщення іонами кобальту) і електричних (заміщення іонами нікелю) властивостей, а також пояснена причина таких трансформацій.

### **Практична цінність**

Результати проведених досліджень дозволяють поглибити розуміння процесів, що призводять до формування структури і морфології синтезованих систем, а також враховувати їх вплив на електропровідності і магнітні властивості нанорозмірних феритів. Оскільки сфера застосувань нанорозмірних феритів дуже широка, кожна галузь їх застосування вимагає особливих підходів до формування необхідних властивостей. Результати, отримані в даній роботі, дозволяють передбачати шляхи модифікування синтезованого матеріалу з наперед бажаними властивостями. Встановлені в даній роботі взаємозв'язки між способом отримання, структурою і властивостями дозволяють цілеспрямовано формувати оптимальні функціональні параметри досліджуваних сполук залежно від напрямку їх подальшого застосування.

Свідченням практичної цінності результатів дисертаційної роботи є також їх фіксація в охоронних документах - двох патентах України на корисну модель. Матеріали дисертації можуть бути використані у наукових

дослідженнях, які проводяться в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Національному університеті «Львівська політехніка», Донецькому національному технічному університеті, Інституті магнетизму НАН України та інших наукових установах, а також у навчальному процесі підготовки бакалаврів, магістрів та аспірантів фізичних, хімічних та матеріалознавчих спеціальностей під час викладання спецкурсів циклу “Фізика магнітних матеріалів і приладів”, “Фізика і хімія поверхні”, “Наноматеріали”, “Прикладне матеріалознавство”, тощо.

### **Запитання та зауваження**

Незважаючи на велику кількість цікавих результатів та науково обґрунтованих висновків, стосовно інтерпретації отриманих результатів робота не позбавлена деяких недоліків та зауважень:

1. На рис. 3.1. наведена залежність дійсної частини діелектричної проникності від температури і поруч представлена така ж залежність, що взята з літературних джерел. Однак, представлена на вказаному рисунку експериментальна залежність обмежується температурою 700 К, хоча видно, що досліджувана крива зі зростанням температури виходить ще на один максимум. На мій погляд, в даному випадку варто було розширити температурний діапазон досліджень, щоб отримати залежність дійсної частини діелектричної проникності від температури в області двох піків.

2. З тексту дисертації не зовсім зрозуміло, що мається на увазі, коли мова йде про присутність впорядкованої чи не впорядкованої фази у досліджуваних сполуках (розділ 4, таблиця 4.1).

3. На рис. 5.13а наведена залежність дійсної частини провідності нікель-заміщених літєвих феритів. Чим же пояснюється немонотонна залежність провідності від вмісту іонів нікелю у цих феритах?

4. З тексту дисертації не зрозуміло, як часткове заміщення *Mg* на *Fe* впливає на фазову стабільність системи сполук *Li-Mg-Fe-O*, котрі були синтезовані запропонованим у роботі «низькотемпературним» методом, адже відомо, що для вихідної шпінелі *LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>* характерна фазова нестабільність в процесі інтеркаляції літію?

5. Не зовсім зрозуміло також, яким механізмом провідності можна пояснити зростання її з температурою в досліджуваних системах, адже ферити не можна назвати напівпровідниками в класичному уявленні.

Вказані вище зауваження носять рекомендаційний характер і не впливають на висновки та наукові положення, що формують наукову новизну отриманих результатів, ніяким чином не зменшуючи їх наукову та практичну цінність.

### **Висновок**

Оцінюючи дисертаційну роботу Кайкан Лариси Степанівни в цілому, слід підкреслити, що вона є об'ємною, завершеною, ґрунтовною експериментальною науковою працею, в якій з необхідною повнотою викладено всі етапи отримання наукових результатів – від критичного аналізу літературних джерел



до повноцінного опису методів і процедур виконання експерименту та  
детального аналізу усієї сукупності отриманих експериментальних  
характеристик досліджуваних явищ і побудови несуперечливих моделей  
перебігу фізико-хімічних процесів. Текст автореферату повністю відображає  
основні наукові результати та положення дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота Кайкан Лариси Степанівни «Синтез,  
структура та фізичні властивості нанорозмірних заміщених літєвих  
феритів», повністю відповідає вимогам МОН України, що висуваються до  
дисертаційних робіт (пп. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових  
ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від  
24.07.2013 р., зі змінами, внесеними згідно з постановами Кабінету Міністрів  
України №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р. та №567 від  
27.07.2016 р.). Перекоаний, що авторка вказаної роботи, Кайкан Лариса  
Степанівна, заслуговує на присвоєння їй наукового ступеня доктора фізико-  
математичних наук зі спеціальності 01.04.18 – «Фізика і хімія поверхні».

**Офіційний опонент:**

завідувач відділу спектроскопії  
поверхні новітніх матеріалів  
Інституту проблем матеріалознавства  
ім. І.М. Францевича НАН України,  
доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник

  
О.Ю. Хижун

Підпис зав. від., д.ф.-м.н., с.н.с. Хижун О.Ю. засвілюю:  
Учений секретар Інституту проблем матеріалознавства  
ім. І.М. Францевича НАН України,  
кандидат фізико-математичних наук

  
В.В. Каргузов

