ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
Львівського національного
університету імені Івана Франка
академік НАН України, д.х.н.,
професор Роман ГЛАДИШЕВСЬКИЙ

“ 01 ” 07 2022 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційної роботи доцента кафедри фізичної та колоїдної хімії Львівського національного університету імені Івана Франка

Бойчишин Лідії Михайлівни
“Наноструктурування та його вплив на фізико-хімічні властивості аморфних сплавів на основі алюмінію та заліза”,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук за спеціальністю 02.00.04 – фізична хімія

Призначені рішенням Вченої ради Львівського національного університету імені Івана Франка від 25 травня 2022 року, протокол № 29/5, рецензенти, а саме:

- Аксіментьєва Олена Ігорівна – д-р хім. наук за спеціальністю 02.00.04 – фізична хімія, професор, головний науковий співробітник кафедри фізичної та колоїдної хімії;
- Бабіжецький Володимир Станіславович – д-р хім. наук за спеціальністю 02.00.01 – неорганічна хімія, старший дослідник, провідний науковий співробітник кафедри неорганічної хімії;
- Дутка Володимир Степанович – д-р хім. наук за спеціальністю 02.00.04 – фізична хімія, доцент, професор кафедри фізичної та колоїдної хімії,

розглянувши докторську дисертацію Бойчишин Лідії Михайлівни “Наноструктурування та його вплив на фізико-хімічні властивості аморфних сплавів на основі алюмінію та заліза” (тема дисертації затверджена ухвалою Вченої ради Львівського національного університету імені Івана Франка від 29 червня 2022 р., протокол 33/6), наукові публікації, в яких висвітлені основні отримані наукові результати, а також результати фахового семінару кафедри фізичної та колоїдної хімії від 13 червня 2022 року, протокол № 20, **ухвалили**:

1. Дисертаційна робота **Бойчишин Лідії Михайлівни**, представлена на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук за спеціальністю 02.00.04 – фізична хімія, є кваліфікаційною науковою працею, підготовленою у вигляді рукопису. За обсягом, актуальністю, рівнем наукової новизни та практичної цінності робота **відповідає** вимогам пп. 7–9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року.

Актуальність теми. Аморфні металеві сплави (АМС) незалежно від способу виготовлення не знаходяться у стані конфігураційної рівноваги, а повільно релаксують до «ідеального» метастабільного аморфного стану з меншою енергією шляхом процесу гомогенізації. Структура виготовленого аморфного сплаву, який містить дефекти, відрізняється від ідеальної аморфної структури. Вважається, що релаксація в металевих аморфних сплавах може здійснюватися шляхом відпалу сплаву з дефектними включеннями невідомої структури за рахунок зміни вільного об'єму, тобто, зміни топологічного і композиційного ближнього порядку. Низькотемпературний відпал, який ще не викликає кристалізацію, зумовлює зміну фізичних властивостей АМС, таких як магнітна анізотропія, температура Кюрі, електроопір, надпровідність, теплоємність, втрата пластичності.

Одним із важливих напрямків дослідження АМС є кінетика нанокристалізації та зокрема впливу природи легуючих додатків на механізм утворення нанокристалів у аморфній металевій матриці, а також термодинамічні характеристики їх стабільності в умовах цільового використання. Оскільки як відомо аморфний стан метастабільний, то згідно із законами термодинаміки може переходити у стабільний кристалічний. Виявлено, що в процесі кристалізації різко погіршуються найбільш перспективні властивості АМС: висока твердість і міцність, пластичність, а також антикорозійні властивості. Отже, при застосуванні АМС необхідно розуміти механізм кристалізації на мікроскопічному рівні, щоб можна було запобігати, або регулювати його. Практично, стабільність до кристалізації визначає межі ефективного використання аморфних металевих сплавів. З іншого боку, контрольований процес кристалізації АМС можна використовувати для формування особливих частково або повністю кристалізованих наноструктур, які не вдається отримати безпосереднім охолодженням з рідкого розплаву.

Процес кристалізації важливий не тільки з технічних причин, але і викликає особливе наукове зацікавлення. Так, величезне значення має використання аморфних сплавів, що кристалізуються в одну фазу сталого складу, для порівняння таких властивостей, як структура, питома теплоємність,

термоелектрорушійна сила, корозійна стійкість та ін. Температурний інтервал і кінетика кристалізації АМС залежать від різних чинників, з яких, в першу чергу, є композиційний елементний склад АМС (основний базовий метал, легуючі та аморфізуючі додатки та їх кількісне співвідношення), а також спосіб кристалізації, число центрів кристалізації, енергія активації, дифузія компонентів, різниця вільних енергій аморфної і можливої кристалічних фаз. Багато досліджень проводиться в галузі синтезу та вивчення властивостей аморфних сплавів, метастабільних матеріалів з ближнім упорядкуванням атомів. Результати досліджень показують, що АМС володіють цінними електричними, магнітними, механічними та хімічними властивостями. Дослідження гетерогенних каталізаторів на основі аморфних сплавів проводяться з 1980 року. Класичні роботи Ямашіта та Масумото у 1980 році стимулювали швидкий ріст досліджень АМС як каталізаторів. Синтезовані АМС різного складу та застосовані в каталізі, включаючи електроліз, гідрування (наводнення), гідрогеноліз, окиснення, ізомеризацію і т. д. Метод швидкого охолодження розплаву металів із швидкістю 10^5-10^6 К/с (метод спінінгування) є оптимальним методом одержання АМС із високим ступенем аморфності. При цьому одержують аморфну стрічку шириною від кількох міліметрів до декількох сантиметрів і товщиною 15-35 мкм. Такі АМС можуть бути синтезовані в широкому діапазоні елементного складу. Це дає можливість коректувати їх електронні характеристики. Однофазність і можлива поверхнева сегрегація легуючих елементів сприяють утворенню активних дрібнодисперсних частинок в гомогенному середовищі. На поверхні АМС концентруються координовані частинки, які є адсорбційними та реакційними центрами. Нанопориста структура АМС сприяє ефективній дифузії поверхневих атомів та контакту реагентів з активною поверхнею. Ці особливості АМС є підставою для використання їх у гетерогенному каталізі, зокрема, відкриває нові можливості використання аморфних металевих матеріалів в екотехнологіях. Для цього потрібно детально дослідити взаємозв'язок швидкості і селективності електрохімічних реакцій з фізичними та фізико-хімічними властивостями поверхонь, на яких перебігають каталітичні процеси. Серед електрокаталітичних реакцій найпоширенішою і важливою є реакція виділення водню на металевих поверхнях. Враховуючи метастабільний стан та існування вільного об'єму в АМС, можна передбачити високу активність цих матеріалів у електрокаталітичних реакціях виділення водню. Перехід АМС в нанокристалічний стан сприяє підвищенню адсорбційної здатності та електроактивності АМС.

Отже, вище перелічений обсяг проблемних питань є предметом дослідження зв'язку між нанокристалізацією і фізико-хімічними властивостями

аморфних металевих сплавів на основі алюмінію або заліза, легованих РЗМ та/або ПМ, під дією різних зовнішніх чинників: температура та тривалість термообробки, механічні та корозійні навантаження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Одержані результати увійшли до звітів семи держбюджетних науково-дослідних робіт, які виконувалися в рамках напряму відповідно до Закону України *«Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (до 2020 року)*, *«Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціальноекономічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави»* та пріоритетного, згідно з Постановою Кабінету міністрів України *«Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року»*, тематичного напряму *«Найважливіші фундаментальні проблеми хімії та розвитку хімічних технологій»*, та входили до Тематичних планів науково-дослідних робіт Львівського національного університету імені Івана Франка, а саме: 1) Комплексне дослідження фізико-хімічних та структурних особливостей аморфних металевих сплавів як каталізаторів (2003–2005 рр., № д/р 0103U001907); 2) Формування і фізико–хімічні властивості захисних та реакційних шарів на поверхні аморфних металевих сплавів (2006–2008 рр., № д/р 0106U001325); 3) Наноструктурування аморфних металевих сплавів на основі алюмінію як фактор регулювання їх фізико-хімічних властивостей (2009–2011 рр., № д/р 0109U002087); 4) Електрокаталітична активність аморфних металевих сплавів та їх змішаних оксидів в реакціях виділення водню (2012–2014 рр., № д/р 0112U001295); 5) Об'ємні та стрічкові аморфні сплави на основі заліза, леговані d-елементами, як основа нових матеріалів (2015–2016 рр., № д/р 0115U0032631); 6) Фізико-хімія формування магнітних кластерів, їхній вплив на властивості аморфних сплавів, легованих перехідними та рідкісноземельними металами (2017–2019 рр., № д/р 0117U001236); 7) Структура, кінетика формування та фізико-хімічні властивості нанофазних композитів на основі алюмінію (2020–2022 рр., № д/р 0120U102128). Частина результатів була отримана під час реалізації міжнародного українсько-польського проекту №М/37 «Магнітні властивості і нанокристалізація м'яких магнітних аморфних сплавів, одержаних методом melt spinning»; (№ д/р 0109U005156; 2009–2011 рр.), у виконанні яких дисертантка приймала безпосередню участь як відповідальний виконавець та науковий керівник. З 2012 року дослідження в рамках держбюджетних тем виконувалися відповідно до *Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010–2014 роки.*

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, які сформульовані в дисертації. В дисертаційній роботі використані сучасні методи дослідження, а саме: диференціальну скануючу калориметрію при різних швидкостях нагрівання для встановлення температур фазових переходів та розрахунку кінетичних параметрів утворення наноелементів у аморфній металевій матриці; Х-променевий метод вивчення структури, на основі якого розраховано параметри перших координаційних сфер, змодельовано ближнє впорядкування атомів, а також розраховано розміри та встановлено тип структур утворених внаслідок температурної модифікації АМС; наноелементи різної дисперсності та складу охарактеризовані методами високороздільної трансмісійної електронної мікроскопії, скануючої електронної мікроскопії та енергодисперсійним мікроаналізом; механічні властивості АМС досліджено вимірюванням мікро-твердості за Вікерсом; методи дослідження магнітних властивостей; атомно-силову мікроскопію для вивчення стану поверхні зразків; методи електрохімічної імпедансної спектроскопії, хронопотенціометрії та вольтамперометрії для дослідження корозійної тривкості зразків, їх електрохімічних та електрокаталітичних (щодо реакції виділення водню) властивостей.

Використаний набір експериментальних методів та комплекс програмного забезпечення для опрацювання одержаних результатів створює основи для системного обґрунтування взаємозв'язку особливостей формування наноструктури та фізико-хімічних властивостей нанофазних композитів на основі алюмінію. Використання декількох взаємодоповнюючих методів досліджень, а також комплексне використання набору сучасних методик, відтворюваність експериментального матеріалу дозволяє зробити висновки про обґрунтованість та достовірність отриманих результатів, що відповідають сучасним уявленням в галузях фізичної хімії, неорганічної хімії та хімічного матеріалознавства.

Наукова новизна одержаних результатів. Під час виконання дисертаційної роботи дисертанткою вперше:

- синтезовано та фізико-хімічними методами комплексно досліджено дві групи сплавів: 1) $Al_{87}Y_5Ni_8$, $Al_{87}Y_4Gd_1Ni_8$, $Al_{87}Gd_5Ni_8$, $Al_{87}Gd_5Ni_4Fe_4$, $Al_{87}Y_4Gd_1Ni_4Fe_4$, $Al_{87}Dy_5Ni_8$, $Al_{87}Y_4Dy_1Ni_8$ та $Al_{87}Dy_5Fe_8$; 2) $Fe_{84}Nb_2B_{14}$, $Fe_{82}Nb_2B_{14}Y_2$, $Fe_{82}Nb_2B_{14}Dy_2$, $Fe_{82}Nb_2B_{14}Gd_2$, $Fe_{82}Nb_2B_{14}Tb_2$;
- встановлено зв'язок структурно-фазового стану нанокомпозитних сплавів на основі Fe і Al різного хімічного складу з їх фізико-хімічними властивостями (мікротвердістю, електроопором, магнітними властивостями, корозійною тривкістю та електрокаталітичною активністю в реакціях виділення водню);
- запропоновано концепцію кінетичного аналізу нанокристалізації і найімовірніших механізмів утворення центрів кристалізації, на основі якої встановлено кінетичні закономірності формування нанокристалічної фази у

аморфній матриці та взаємозв'язок між структурою ближнього порядку вихідних аморфних сплавів на основі Fe та Al і будовою метастабільних фаз;

- досліджено температурні зміни структури ближнього порядку аморфних сплавів. Встановлено, що мікронеоднорідний характер атомного розподілу в аморфних сплавах зумовлений формуванням хімічно впорядкованих структурних одиниць (кластерів), розподілених в аморфній фазі з топологічним ближнім порядком. Вивчено закономірності впливу заміщення легуючих додатків на температурну стабільність АМС, визначено інтервали термічної стійкості аморфних сплавів та механізм фазових перетворень.
- з'ясовано вплив поверхневої сегрегації атомів легуючих додатків, зокрема *p*- і *d*-елементів, на появу в приповерхневому шарі первинних кристалів α-Fe або α -Al задовго до появи цих кристалів в об'ємі стрічки (так звана рання поверхнева кристалізація). Запропоновано вдосконалений метод виявлення поверхневої нанокристалізації шляхом самочинної епітаксії з низько концентрованих розчинів з однойменним катіоном до основного компоненту сплаву. Вперше встановлено термодинамічні характеристики поверхневої нанокристалізації та відсоткову об'ємну частку нанокристалів.
- показано, що метод миттєвого фіксування ЕРС є більш чутливий до структурних змін при наноструктуруванні АМС порівняно з дифрактометричними методами за рахунок миттєвого утворення епітаксіальних шарів.
- проведено фізико-хімічне дослідження вихідних та відпалених (наноструктурованих) АМС як електродних матеріалів з електрокаталітичними властивостями щодо РВВ з лужних водних розчинів. На основі проведених досліджень запропоновано найперспективніші сплави для використання у промислових електролізерах.

Практичне значення одержаних результатів. Аморфні сплави на основі алюмінію та заліза вирізняються високою міцністю у поєднанні з особливими електричними, магнітними, хімічними властивостями, що визначає напрямки їхнього цільового використання в паливно-енергетичній та оборонній промисловості. Зокрема, формування композитних нанокристалічних структур в аморфній матриці сплавів сприяє підвищенню їхньої мікротвердості, що робить можливим їхнє використання як матеріалів захисного призначення в оборонній промисловості. Авторський пріоритет щодо результатів наукових досліджень структурування, корозійної тривкості, каталітичної активності, та механічної міцності стрічкових сплавів систем Al-РЗМ-ПМ (де РЗМ - рідкісноземельний метал Y, Dy та Gd, ПМ - d-елемент Ni, Fe) захищено 6 патентами України, в т.ч. 1 – на винахід.

Отримані результати фундаментального та прикладного характеру впроваджено в навчальний процес підготовки фахівців за спеціальностями –

"хімія" та "фізика металів" у Львівському національному університеті імені Івана Франка, зокрема у начальні курси «Корозія та антикорозійний захист», «Наноструктури» та «Нанокомпозитні матеріали».

Особистий внесок здобувача. Здобувач особисто здійснила пошук і аналіз наукової літератури за темою дисертації. Визначила та обґрунтувала методи наукових досліджень. Авторкою самостійно здійснено більшість експериментальних досліджень, статистичну обробку отриманих даних. Дисертанту належить основна роль на всіх етапах дослідження, яка полягає у виборі наукового напрямку, постановці завдань, виборі об'єктів та методів дослідження, аналізі літературних даних. Х-променеві дифракційні дослідження були проведені на кафедрі неорганічної хімії Львівського національного університету імені Івана Франка спільно з проф. Котуром Б. Я. та асп. Мікою Т. М. Розрахунок параметрів ближнього впорядкування атомів проведено на кафедрі фізики металів спільно з проф. Мудрим С.І. та старшим наук. співробітником Куликом Ю.О. Дослідження АМС методом електронної скануючої мікроскопії проведено спільно з інженером І кат. науково-технічного і навчального центру низькотемпературних досліджень Серкізом Р. Я., а атомної силової мікроскопії спільно з доцентом кафедри фізики твердого тіла Еліяшевським Ю. І. Дослідження методами високороздільної електронної трансмісійної мікроскопії, електрохімічної імпедансної спектроскопії, магнітних властивостей та електроопору відбувалися у Сілезькому університеті, Катовіце, Польща, спільно з проф. А. Хробак, проф. Гж. Ганечок, проф. М. Каролюс, проф. А. Будньок. Інтерпретацію обговорення, узагальнення результатів та висновків дисертаційної роботи проведено разом з проф. Решетняком О.В. та доц. Ковбуз М.О.

Авторка брала участь у формулюванні наукового напряму, постановці мети і завдань, виконанні експериментальних досліджень, інтерпретації результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата хімічних наук Міки Тараса Мирославовича та керувала виконанням дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата хімічних наук Даниляк Марії–Олени Михайлівни. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертаційній роботі використано тільки ті ідеї та здобутки, що становлять особистий внесок здобувачки.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались і обговорювались на міжнародних та вітчизняних конференціях, Серед них Xth Conference on Intermolecular and Magnetic Interactions in Matter (27–30 September 2009, Sulmona-l'Aquila, Italy); XIV Liquid and Amorphous Metals Conference (11–16 July 2010, Rome, Italy); Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів (2010, Львів, Україна); XVIIth International seminar on physics and chemistry of solids ISPCS'11' (12-15 June 2011, Bystre,

Poland); «Львівські хімічні читання» (2011, 2021 Львів Україна); XVI Polish – Ukrainian Symposium «Theoretical and Experimental Studies of Interfacial Phenomena and Their Technological Applications» (August 28-31, 2018, Lublin, Poland); VIII Український з'їзд з електрохімії та VI Науково-практичний семінар студен-тів, аспірантів і молодих учених «Прикладні аспекти електрохімічного ана-лізу», присвячені 100-річчю Національної академії наук України (4–7 червня 2018, Львів, Україна); 7th International research and practice conference "Nanotechnology and nanomaterials" NANO–2019 (August 27-30, 2019 Lviv, Ukraine).

2. Дисертаційна робота Бойчишин Л.М. містить **особисто отримані** здобувачем науково обґрунтовані результати, а кількість та якість наукових праць опублікованих за її матеріалами **відповідають** Наказу МОН України № 1220 від 23 вересня 2019 року «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук».

За матеріалами дисертації опубліковано 51 наукових роботи, а саме: 1 монографію, 36 статей (зокрема, 14 –у наукових фахових виданнях України, 20 – у наукових журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами Scopus та/або WoS), 1 патент України на винахід та 5 патентів на корисну модель, 8 тез доповідей на наукових конференціях різного рівня. Основні результати дисертації розкрито насамперед в 5 публікаціях у виданнях, які віднесені до першого (Q1) та 9 – до третього (Q3) квартилів, відповідно до класифікації SCImago Journal Rank.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографія:

1. **Бойчишин Л. М.** Морфологія, структура та властивості аморфних сплавів легованих РЗМ: монографія / **Л.М. Бойчишин**, О.М. Герцик, М.О. Ковбуз. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2019. – 242 с.

Статті:

2. Temperatures changes of structure in $Al_{87}Ni_8Y_5$ amorphous alloy / Mudry S., **Bednarska L.**, Kulyk Yu, Kovbuz M, Herstyk O. // Archives of Materials Science. – 2004. – Vol. 25, No. 4. – P. 373–379. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження на Х-променевому дифрактометрі, аналіз всіх одержаних результатів разом із співавторами та написання статті).*

3. Mudry, S.I., Atomic arrangement in a $Fe_{78.5}Ni_{1.0}Mo_{0.5}Si_{6.0}B_{14.0}$ amorphous alloy at different temperatures / Mudry, S.I., Kotur, B.Ya., **Bednarska, L.M.**, Kulyk, Yu.O. // J. Alloy. Compund. – 2004. – Vol. 383, Is. 1-2. - P. 334–337. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus, WoS). Видання віднесене до першого квартилю **(Q1)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків,*

дослідження методом Х-променевої дифрактометрії, аналіз всіх одержаних результатів разом із співавторами та написання статті).

4. Evaluation of the Volume Fraction of the Crystalline Phase in Amorphous Alloys / Mudryi S. I., Korolyshyn A. V., Kotur B. Y., **Bednars'ka L. M.**, Hertsyk O. M., Kovbuz M. O. // Mat. Sci. - 2005. – Vol. 41, Is. 3. - P. 427–431. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). Видання віднесене до третього квартилю **(Q3)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, комп'ютерні розрахунки, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

5. Nanocrystallization and structure of $Fe_{78.5}Ni_{1.0}Mo_{0.5}Si_{6.0}B_{14.0}$ amorphous alloy / **L. Bednarska**, S. Mudry, M. Kovbuz, B. Kotur, O. Hertsyk, G. Haneczok, M. Karolus // J. Non-Cryst. Sol. – 2008. –Vol. 354, Is. 35–39. – P. 4359–4362. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus, WoS). Видання віднесене до першого квартилю **(Q1)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом Х-променевої дифрактометрії, методом миттєвого фіксування ЕРС, аналіз всіх одержаних результатів разом із співавторами та написання статті).*

6. Influence of Gd and Fe on crystallization of $Al_{87}Y_5Ni_8$ amorphous alloy / T. Mika, M. Karolus, G. Haneczok, **L. Bednarska**, E. Łagiewka, B. Kotur // J. Non-Cryst. Sol. - 2008. – Vol. 354, Is. 27. - P. 3099–3106. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus, WoS). Видання віднесене до першого квартилю **(Q1)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом Х-променевої дифрактометрії, методом диференціальної скануючої калориметрії, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

7. Influence of Gd, Dy and Fe doping on electrochemical properties of $Al_{87}Y_5Ni_8$ amorphous metallic alloy / **L. Bednarska**, J. Kubisztal, A. Budniok, M. Kovbuz, O. Hertsyk, B. Kotur // J. Phys.: Conf. Ser. – 2011. – Vol. 289. – 012019. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). Видання віднесене до четвертого квартилю **(Q4)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження корозійних властивостей, розрахунок параметрів корозії участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

8. Influence of iron additives on the corrosion resistance of $Al_{87}Gd_5Ni_8$ amorphous metal alloy / **L. Boichyshyn**, Yu. Kubishtal', A. Budn'ok and M. Kovbuz / Mat. Sci. – 2011. –Vol. 46, No. 5. – P. 599–606. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). Видання віднесене до третього квартилю **(Q3)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження корозійних властивостей, розрахунок параметрів корозії участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

9. Influence of rare earth elements on crystallization of $Fe_{82}Nb_2B_{14}RE_2$ (RE = Y, Gd, Tb, and Dy) amorphous alloys // A. Chrobak, V. Nosenko, G. Haneczok, **L. Boichyshyn**, M. Karolus, B. Kotur // J. Non-Cryst. Sol. – 2011. –Vol. 357, Is. 1. – P. 4–9. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus, WoS). Видання віднесене до першого квартилю **(Q1)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом Х-променевої дифрактометрії, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

10. Effect of rare earth additions on magnetic properties of $Fe_{82}Nb_2B_{14}RE_2$ (RE = Y, Gd, Tb and Dy) amorphous alloys // A. Chrobak, V. Nosenko, G. Haneczok, **L. Boichyshyn**, B. Kotur, A. Bajorek, O. Zivotsky, A. Hendrych // Mater. Chem. Phys. - 2011. Vol. 130, Is. 1–2. - P. 603–608. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus, WoS). Видання віднесене до першого квартилю **(Q1)**. *Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом Х-променевої дифрактометрії, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

11. Properties of amorphous alloys of Al-REM-Ni and Al-REM-Ni-Fe systems with nanocrystalline structure / **Boichyshyn L.M.**, Hertsyk O.M., Kovbuz M.O., Pereverzeva T.H., Kotur B.Ya. / Mat. Sci. - 2013. – Vol. 48, Is. 4. – P. 555–559. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). Видання віднесене до третього квартилю **(Q3)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження на Х-променевому дифрактометрі, мікротвердості та електроопору, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

12. Corrosion-Electrochemical Properties of Fe –Nb –B Amorphous Alloys Doped with Dysprosium or Terbium / **L.M. Boichyshyn**, O.M. Hertsyk, M.O. Kovbuz, B.Ya. Kotur, V.K. Nosenko // Mat. Sci. – 2015. – Vol. 50, Is. 5. – P. 653–658. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). Видання віднесене до третього квартилю **(Q3)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження електрокаталітичних властивостей аморфних сплавів, розрахунок корозійних та кінетичних параметрів, участь в обговоренні одержаних результатів та написання статті).*

13. Electrodes Based on Amorphous Metallic Aluminum Alloys in the Reactions of Hydrogen Release / **L.M. Boichyshyn**, O.M. Hertsyk, M.O. Kovbuz, B.Ya. Kotur, V.K. Nosenko // Mat. Sci. – 2016. – Vol. 51, Is. 4. – P. 548–554. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). Видання віднесене до третього квартилю **(Q3)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження електро-каталітичних властивостей аморфних сплавів, розрахунок корозійних та кіне-тичних параметрів, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

14. Boichyshyn L. Surface structure and catalytic activity of amorphous metallic alloys Fe-Nb-B-RE (RE =Y, Gd, Tb, Dy) in alkaline solution / **L. Boichyshyn**, M.-O. Danyliak, B. Kotur // Adsorption science and technology. – 2017. – Vol. 35, Is. 7–8. – P. 623–629. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). Видання віднесене до третього квартилю **(Q3)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження структурних особливостей та каталітичних властивостей аморфних сплавів, розрахунок адсорбційних параметрів, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті)*.

15. Danyliak M.-O. Hydrogen evolution reaction on the oxidized surfaces of the Fe-based amorphous alloys / M.-O. Danyliak, **L.M. Boichyshyn**, N.L. Paniak // Acta Phys. Pol. A. - 2018. - Vol. 113, Is. 4. - P. 1103–1107. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). Видання віднесене до третього квартилю **(Q3)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом скануючої електронної мікроскопії та вольтаперометрії, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті)*.

16. L.M. Boichyshyn, Specific Features of the Transition of Amorphous $Al_{87}REM_5Ni_8(Fe)$ Alloys Into the Crystalline State Under the Influence of Temperature / **L.M. Boichyshyn**, Kh.I. Khrushchyk, M. O. Kovbuz, O. M. Hertsyk, T. H. Hula // Mat. Sci. – 2019. – Vol. 55, Is. 1. – P. 17–26. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus, WoS). Видання віднесене до третього квартилю **(Q3)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом Х-променевої дифрактометрії, методом диференціальної скануючої калориметрії, розрахунок кінетичних параметрів нанокристалізації, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті)*.

17. Danyliak M.-O. Thermal Stability of $Fe_{82}Nb_2B_{14}REM_2$ Amorphous Alloys / M.-O. Danyliak, **L.M. Boichyshyn** // Mat. Sci. – 2020 – Vol. 55, Is. 6. – P. 921–929. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). Видання віднесене до третього квартилю **(Q3)**. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом диференціальної скануючої калориметрії, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті)*.

18. S.I. Mudry, Nanocrystallization of amorphous alloys $Al_{87}Ni_8Dy_5$ indused by head treatment / S.I. Mudry, Yu.O. Kulyk, **L.M. Boichyshyn** // Mater. Today: Proc. – 2022. - Vol. 62. – P. 5800-5804. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, розрахунки розмірів нанокристалів за рультатами Х-променевої дифракції, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті)*.

19. Вплив відпалювання на структурні зміни аморфного сплаву на основі алюмінію / Ю. Вербовицький, Т. Міка, **Л. Беднарська**, Б. Котур // Вісник

Львів. ун-ту Серія хім. - 2005. - Вип. 46. - С. 105–108. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

20. Вплив ітрію на корозійну стійкість аморфного металевого сплаву Al-Gd-Ni // Герцик О., Ковбуз М., **Бойчишин Л.**, Переверзєва Т., Котур Б. // Вісник Львів. ун-ту. Сер. хім. – 2011. – Вип. 52. – С. 311–316. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження вольтамперометрії, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

21. Crystallization of $Al_{87}Y_5Ni_8$ amorphous alloys doped with Dy and Fe / T. Mika, M. Karolus, **L. Boichyshyn**, G. Haneczok, B. Kotur, V. Nosenko // Chem. Met. Alloys - 2012. – Vol. 5 – P. 50-58. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом Х-променевої дифракції, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

22. Електрохемічна корозія аморфних стопів $Al_{87}(Y,Dy)_5Ni_8$ / **Л.М. Бойчишин**, М.О. Ковбуз, О.М. Герцик, Котур Б.Я., Носенко В.К. // Металлофиз. новейшие технол. – 2012. – Т.34, № 11. – С. 1585–1593. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження корозійних властивостей, розрахунок параметрів корозії участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

23. Фізико-хімічні особливості аморфних сплавів $Al_{87}Dy_5(Ni/Fe)_8$ / **Л.М. Бойчишин**, М.О. Ковбуз, О.М. Герцик, Котур Б.Я., Носенко В.К. // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2013. – Т. 11, № 2. – С. 313–321. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження на Х-променевому дифрактометрі, дослідження фізико-хімічних властивостей, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

24. Influence of structurization of amorphous metallic alloys $Al_{87}Y_{5-x}Gd_xNi_{8-y}$ (x = 0, 1, 5; y = 0, 4) on their mechanical properties / **Boichyshyn L.**, Kovbuz M., Hertsyk O., Nosenko V., Kotur B. // Physics of the Solid State. – 2013. – Vol. 55, № 2. P. 243–246. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження на Х-променевому дифрактометрі, методом диференціальної скануючої калориметрії, вимірювання мікротвердості, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

25. Вплив поляризації аморфних металевих електродів на формування поверхневих оксидних шарів з каталітичними властивостями / М.О. Ковбуз, **Л.М. Бойчишин**, О.М. Герцик, Т.Г. Переверзєва, Р.Я. Серкіз, Б.Я. Котур // Фіз.-

хім. тверд. тіла – 2014.– Т.15, No2 – С. 401-405. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, електрохімічний синтез поверхневих оксидних шарів, дослідження поверхні аморфних сплавів методом SEM, EDX, розрахунок параметрів, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

26. Вплив ітрію та диспрозію на корозійну тривкість аморфних алюмінієвих сплавів / **Л. Бойчишин**, М. Ковбуз, Б. Котур, М. Осміловська-Крамар// Вісник Львів. ун-ту. Серія хім. – 2015. – Вип. 56. – Ч. 2. – С. 408–413. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження корозійних властивостей, розрахунок параметрів корозії, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

27. The Kinetic Peculiarities of the Nanocrystallization of Amorphous Alloys $Fe_{84}Nb_2B_{14}$, which are doped by Rare Earth Metals / **L. Boichyshyn**, M.-O. Danyliak, B. Kotur, T. Mika // Phys. Chem. Solid State. – 2017. – V. 18, No 1. – P. 122–128. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом диференціальної скануючої калориметрії, дослідження мікротвердості, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

28. Магнітні властивості аморфних металевих сплавів Fe-Nb-B-РЗМ / Даниляк О. **Бойчишин Л.** Ковбуз М. // Праці НТШ Хімічні науки. – 2017. - Т. XLVIII. - С. 138 – 147. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

29. Бойчишин Л. Наногеометрія поверхні аморфних сплавів композиційного складу $Fe_{82}Nb_2B_{14}REM_2$ / **Л. Бойчишин**, М.-О. Даниляк, М. Партика // Вісник Львів. ун-ту. Серія хім. – 2017. – Вип. 58. – Ч. 2. – С. 507–514. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом атомно-силової мікроскопії, визначення параметрів поверхні, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

30. Кінетика кристалізації аморфних сплавів Al-Ni-РЗМ / **Л.М. Бойчишин**, М.О. Ковбуз, О.М. Герцик, Т.Г. Переверзєва, Т.М. Міка // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2018. – Т. 16, No 1. – С. 71-82. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження на Х-променевому дифрактометрі, методом диференціальної скануючої калориметрії, розрахунок кінетичних параметрів нанокристалізації, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

31. Марія-Олена Даниляк, **Лідія Бойчишин**, Особливості наногеометрії поверхні аморфних металевих сплавів. Короткий Огляд / Праці НТШ. Хімічні

науки. – 2018. - Том LIII. – С. 132-144. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом атомно-силової мікроскопії, визначення параметрів поверхні, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

32. Кінетика окисно-відновних реакцій на АМС-електродах $Fe_{82}Nb_2B_{14}RE_2$ (RE = Y, Gd, Tb, Dy) у лужному середовищі / **Л. Бойчишин**, М.–О. Даниляк, В. Андрусик // Вісник Львів. ун-ту, Сер. хім. - 2018. - Вип. 59, Ч. 2. - С. 491–498. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом скануючої електронної мікроскопії та вольтамперометрії, розрахунок елек-трохімічних параметрів, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

33. Корозійна тривкість аморфних сплавів системи Al-Ni-RE в 0,3% розчині натрій хлориду/ Х. Хрущик, М. Лопачак, **Л. Бойчишин** // Вісник Львів. ун-ту. Сер. хім. – 2019 – Вип.60, Ч. 2. – С. 441–448. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом вольтамперометрії, розрахунок електрохімічних параметрів, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

34. М.-О. Даниляк, **Л. Бойчишин**, Дослідження механічної стійкості АМС $Fe_{82}Nb_2B_{14}РЗМ_2$ (РЗМ = Y, Gd, Tb, Dy) // Вісник Львів. ун-ту, Сер. хім. 2019. - Вип. 60. – Ч. 2. - С. 428–433. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом Вікерса, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

35. Даниляк М.-О. М. Корозійна тривкість аморфних стопів $Fe_{82}Nb_2B_{14}РЗМ_2$ (РЗМ = Y, Gd, Tb, Dy) у середовищі NaCl / М.-О. М. Даниляк, **Л. М. Бойчишин** // Metallofiz. Noveishie Tekhnol. – 2020. – Т. 42, Вип. 7. – С. 977–987. (входить до наукометричних баз, що індексуються Scopus). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом вольтамперометрії, розрахунок електрохімічних параметрів, участь в обгово-ренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

36. Елекрохімічні властивості аморфних сплавів системи Al-(Gd,Y)-Ni в лужному середовищі / Х. Хрущик, С. Івашко, М. Лопачак, **Л. Бойчишин** // Вісник Львів. ун-ту. Сер. хім. – 2020. – Вип. 61, Ч. 2. – С. 453–460. (фахове видання). *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом вольтамперометрії, розрахунок електрохімічних параметрів, участь в обговоренні всіх одержаних результатів та написання статті).*

37. Електрохімічні ефекти аморфного сплаву $Al_{87,0}Gd_{5,0}Ni_{8,0}$, викликані нанокристалізацією /Лідія Беднарська, Мирослава Ковбуз, Оксана Герцик [та ін.] // Фіз.-хім. мех. мат. – 2010. – Спец. вип. No 8. – С. 163–167. *(Особистий внесок здобувача: Підготовка зразків, дослідження методом вольтамперометрії та*

ЕІС, розрахунок електрохімічних параметрів, участь в обгово-ренні всіх одержаних результатів та написання статті).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

38. **Bednarska L.** Influence of Iron Additives on Semiconduction Properties of Al-based Amorphous Metallic Alloys / **Bednarska L.**, Kovbuz M., Budniok A. [et al.] // Xth Conference on Intermolecular and Magnetic Interactions in Matter: Book of Abstracts. September 27–30, Sulmona-l'Aquila, Italy. - 2009. - P.139.

39. Mika T. Influence of Dy and Fe doping on crystallization and short-range ordering of $Al_{87}Y_5Ni_8$ amorphous alloy / T. Mika, M. Karolus, G. Haneczok, **L. Bednarska**, S. Mudry, V. Nosenko, B. Kotur // XIV Liquid and Amorphous Metals Conference: 11–16 July 2010, Rome, Italy. – P. 149.

40. Dependence of corrosion properties of the amorphous metallic systems Al-rem-TM from the heat treatment temperature / **L. Boichyshyn**, J. Kubisztal, T. Mika, M. Kovbuz, [et al.] // XVIIth International seminar on physics and chemistry of solids ISPCS'11' Seminar Program& Book of Abstracts: 12-15 June 2011, Bystre, Poland. - P. 93.

41. Електричні властивості аморфних металевих сплавів на основі $Al_{87}Y_5Ni_8$, легованих Gd (Dy) та/або Fe при термічній обробці / Тарас Міка, **Лідія Бойчишин**, Богдан Котур, Гжегож Ханечок // Збірник наукових праць: Тринадцята наукова конференція «Львівські хімічні читання – 2011». Львів, 28 травня – 1 червня 2011 року – Львів: Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка, 2011. – С. Н49.

42. Role of sorption during electrochemical hydrogen evolution on the Al-based amorphous alloys from alkaline solution / **L.M. Boichyshyn**, Kh.I. Khrushchyk// XVI Polish – Ukrainian Symposium «Theoretical and Experimental Studies of Interfacial Phenomena and Their Technological Applications», August 28-31, 2018, Lublin, Poland. – P. 10.

43. **Бойчишин Л.** Електрохімічна імпедансна спектроскопія у дослідженнях міжфазової межі АМС/корозійне середовище / Лідія Бойчишин // VIII Український з'їзд з електрохімії та VI Науково-практичний семінар студен-тів, аспірантів і молодих учених «Прикладні аспекти електрохімічного ана-лізу», присвячені 100-річчю Національної академії наук України (Львів, 4–7 червня 2018 р.): Збірник наукових праць : В 2-х частинах : Ч. 2 / А. О. Омельчук, Р. Є. Гладишевський, О. В. Решетняк (ред.). - Львів: Дослідно-видавничий центр Наукового товариства ім. Шевченка, 2018. - С. 185–187

44. Kinetic parameters of nanostructures of the Al-based amorphous alloys / Khrushchyk Kh.I., Hula T.H., **Boichyshyn L.M.** // 7th International research and practice conference "Nanotechnology and nanomaterials" NANO–2019: abstract

book, Lviv, Ukraine, August 27-30, 2019. – Kiev: LLC "Computer-publishing, information center", 2019. - P. 484.

45. **Бойчишин Л.** Дизайн структури в умовах термічної модифікації аморфних сплавів системи Al-Ni-RE / Л. Бойчишин // Зб. наук. праць: XVIII наук. гонф. «Львівські хімічні читання – 2021». Львів, 31 травня – 2 червня 2021. – Львів, 2021. – С. У30.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

46. Патент на корисну модель №40157, МПК (2009): C01N 27/00, B82B 1/00 Спосіб виявлення нанокристалізації у аморфних металевих сплавах / **Беднарська Лідія Михайлівна (UA)**, Ковбуз Мирослава Олексіївна (UA), Герцик Оксана Миронівна (UA), Котур Богдан Ярославович (UA); власник: Львівський національний університет імені Івана Франка. – № u 2008 12818; заявл. 03.11.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл.№ 6. – 7 с.

47. Патент на корисну модель №63819, МПК (2011.01): C22F 1/00 Спосіб одержання тернарних сполук кристалічної ромбічної структури типу $Gd_3Ni_5Al_{19}$ з аморфних сплавів Al-ПМ-РЗМ / **Бойчишин Лідія Михайлівна**, Ковбуз Мирослава Олексіївна, Міка Тарас Мирославович, Герцик Оксана Миронівна, Котур Богдан Ярославович; власник: Львівський національний університет імені Івана Франка. – № u 2011 02622; заявл. 09.03.2011; опубл. 25.10.2011, Бюл.№ 20. – 5 с.

48. Патент на корисну модель №72336, МПК (2012.01): C21D 9/00, C21D 1/70 (2006.01) C21D 1/26 (2006.01) Спосіб одержання нанокристалічних матеріалів на основі Al з підвищеною мікротвердістю / **Бойчишин Лідія Михайлівна** (UA), Герцик Оксана Миронівна (UA), Ковбуз Мирослава Олексіївна (UA), Котур Богдан Ярославович (UA); власник: Львівський національний університет імені Івана Франка. – № u 2012 02409; заявл. 29.02.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл.№ 15. – 9 с.

49. Патент України на корисну модель № 107116 Україна, МПК C01B 3/50 (2006.01) C01B 3/54 (2006.01) C25B 11/04 (2006.01) C25B 11/06 (2006.01). Спосіб інтенсифікації реакції електрокаталітичного виділення водню з лужних розчинів / Герцик Оксана Миронівна (UA), **Бойчишин Лідія Михайлівна** (UA), Ковбуз Мирослава Олексіївна (UA), Носенко Віктор Костянтинович (UA), Переверзєва Тетяна Георгіївна (UA); заявник і власник – Львівський Національний Університет імені Івана Франка. – № u 2015 10789; заявл. 05.11.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. – 8 с.

50. Патент на корисну модель № 101084 Україна, МПК (2015.01) C25B 11/04 (2006.01) C25B 11/06 (2006.01) C22C 38/06 (2006.01) C22C 38/08 (2006.01) C22C 45/00. Аморфна металева композиція на основі Al-Ni-РЗМ для каталітичного виділення водню / Герцик Оксана Миронівна (UA), **Бойчишин Лідія**

Михайлівна (UA), Ковбуз Мирослава Олексіївна (UA), Котур Богдан Ярославович (UA), Носенко Віктор Костянтинович (UA) / заявник і власник – Львівський національний університет імені Івана Франка. Заявка № u201502075 від 10.03.2015 р.; опубл. 25.08.2015, Бюл. №16.-6 с.

51. Патент України на винахід № 117979 Україна, МПК C01B 3/50 (2006.01) C01B 3/54 (2006.01) C25B 11/04 (2006.01). Спосіб виділення водню з лужного розчину / **Бойчишин Лідія Михайлівна** (UA), Герцик Оксана Миронівна (UA), Ковбуз Мирослава Олексіївна (UA), Даниляк Марія-Олена Михайлівна (UA), Переверзєва Тетяна Георгіївна (UA); заявник і власник – Львівський національний університет імені Івана Франка. – № a2017 02641; заявл. 21.03.2017; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20. – 7 с.

3. Дисертаційна робота доцента Бойчишин Лідії Михайлівни "Наноструктурування та його вплив на фізико-хімічні властивості аморфних сплавів на основі алюмінію та заліза", відповідає паспорту спеціальності 02.00.04 – фізична хімія, затвердженому МОН України, за такими напрямками:

- теорія хімічних реакцій, кінетика й механізм реакцій у газах, рідинах, твердих тілах і молекулярно організованих системах;
- взаємозв'язок хімічної будови речовин з їх реакційною здатністю;
- вплив фізичних факторів – температури, тиску, ультрафіолетового, інфрачервоного, радіаційного та інших видів випромінювання, електричного і магнітного полів, тощо на хімічні процеси.

4. Дисертаційна робота доцента кафедри фізичної та колоїдної хімії Бойчишин Лідії Михайлівни "Наноструктурування та його вплив на фізико-хімічні властивості аморфних сплавів на основі алюмінію та заліза" є завершеним науковим дослідженням в галузі хімії (фізичної хімії), яке вирішує важливу наукову проблему впливу термічно ініційованих процесів нанокристалізації на кристалічну структуру, морфологію та елементний склад, а також фізико-хімічні властивості аморфних металевих сплавів на основі алюмінію та заліза. Робота має істотне значення для розвитку фізичної хімії, а також суміжних галузей – неорганічної хімії, хімії та фізики високоентропійних систем, фізики металів і сплавів, електрохімії, хімічної енергетики, хімічної технології та матеріалознавства.

Дисертація містить обґрунтовані висновки на основі одержаних особисто здобувачем достовірних результатів, характеризується єдністю змісту , свідчить про особистий внесок здобувача в науку щодо розв'язання важливої теоретичної та ряду прикладних проблем. Робота відповідає принципам академічної доброчесності.

5. Рекомендувати дисертаційну роботу доцента кафедри фізичної та колоїдної хімії ЛНУ імені Івана Франка **Бойчишин Лідії Михайлівни** "Наноструктурування та його вплив на фізико-хімічні властивості аморфних сплавів на основі алюмінію та заліза" до подання на спеціалізовану вчену раду за спеціальністю 02.00.04 – фізична хімія.

30 червня 2022 року

Рецензенти:

Доктор хімічних наук, професор,
головний науковий співробітник
кафедри фізичної та колоїдної хімії
Львівського національного університету
імені Івана Франка _____ Олена АКСІМЕНТЬЄВА

Доктор хімічних наук, старший дослідник,
провідний науковий співробітник
кафедри неорганічної хімії
Львівського національного університету
імені Івана Франка _____ Володимир БАБІЖЕЦЬКИЙ

Доктор хімічних наук, доцент
професор кафедри фізичної та колоїдної хімії
Львівського національного університету
імені Івана Франка _____ Володимир ДУТКА

Власноручні підписи докторів хімічних наук, головного наукового співробітника Олени Аксіментьєвої, провідного наукового співробітника Володимира Бабіжецького та професора Володимира Дутки підтверджую.

Вчений секретар
Львівського національного
університету імені Івана Франка,
кандидат філологічних наук, доцент _____ Ольга ГРАБОВЕЦЬКА