

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію

Ткач Ольги Романівни

“Вплив наночастинок на структурно-чутливі властивості евтектичних та біля евтектичних сплавів на основі Sn”,

подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність дослідження.

Останні роки одним з напрямів у дослідженні нових матеріалів згідно директиви Європейського Союзу **RoHS** (*Restriction of Hazardous Substances* — обмеження небезпечних речовин), яка регламентує застосування свинцю, а також інших потенційно небезпечних елементів в електротехнічному та електронному обладнанні, забезпечуючи необхідний рівень захисту здоров'я людей і навколишнього середовища є отримання і вивчення фізико-хімічних властивостей безсвинцевих припоїв. Дисертація Ткач О.Р. присвячена дослідженню сплавів на основі Sn, зокрема, потрійної системи Sn–Ag–Cu (SAC), які використовують як безсвинцеві припої в електронній промисловості. Поруч з безперечними перевагами цих припоїв, таких як висока електропровідність, температурна стійкість, існують недоліки. Так, наприклад, порівняно зі свинцевим припоєм, у сплавів олова з іншими металами спостерігається зниження змочуваності чи висока температура плавлення. Для подолання цих недоліків існують різні шляхи, зокрема, синтез нанокompatитних матеріалів, у яких нанорозмірні частинки, введені в базовий об'ємний матеріал (матрицю), дозволяють керувати властивостями в широкому діапазоні фізико-хімічних параметрів.

Дисертація Ткач О.Р. присвячена дослідженню впливу легування матриці розплаву Sn–Ag–Cu домішковими елементами на реакції між припоєм на основі Sn і металевою підкладкою, на збільшення або зменшення швидкості реакції, на зміну фізичних властивостей нових фаз, на утворення додаткових шарів реакції на межі припої-підкладка. В даній роботі комплексні дослідження структури і фізико-хімічних властивостей дали відповіді на деякі з цих питань, а також рекомендації щодо покращення технологій паяння.

Ступінь наукової обґрунтованості результатів, сформульованих в роботі, їхня наукова новизна.

Достовірність, отриманих в дисертації результатів, ґрунтується на комплексному, експериментальному і теоретичному, вивченні механізму утворення нанорозмірних композитів та їхнього впливу на електронно-структурно-фазові перетворення в багатокомпонентних евтектичних металевих системах у різних агрегатних станах.

У дисертаційній роботі Ткач О.Р. вперше вивчено вплив нанорозмірних металевих домішок кобальту і нікелю на процеси утворення і динаміку росту інтерметалічних сполук та мікроструктуру з'єднань сплавів Sn–Ag–Cu з Cu. В дисертації також запропоновано методику, яка вирішує проблему незмочуваності карбонових нанотрубок шляхом модифікації їхньої поверхні металевою фазою Au, для поліпшення зчеплення нанотрубок з матрицею основного сплаву.

Структура і зміст дисертації. Результати дисертації відображені у 16 публікаціях: в 9 наукових статтях, з яких 7 індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science, 2 опубліковано у фахових наукових виданнях України, а також у 7 збірниках матеріалів доповідей на міжнародних і вітчизняних наукових конференціях.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань і додатку, що містить перелік публікацій здобувача за темою дисертації.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної тематики, сформульовано мету роботи та задачі дослідження, подано коротку характеристику результатів дослідження, ступінь їх апробації та публікації.

У *першому розділі* дисертації викладено огляд літератури стосовно нових функціональних матеріалів на основі подвійних та багатокомпонентних металевих сплавів на базі олова евтектичної та біляевтектичної концентрацій, які інтенсивно вивчаються, як перспективні матеріали для нового покоління безсвинцевих припоїв. Також у розділі детально проаналізовано вплив ріного сорту наночастинок на мікроструктуру та властивості сплавів на основі Sn. У

трьох заключних підрозділах розглядається останні результати досліджень електрофізичних властивостей металевих сплавів

У *другому розділі* дисертації описано методику експериментальних високотемпературних досліджень електронних властивостей металевих розплавів з врахуванням особливостей нанокompозитних зразків. Також описано методику вимірювання теплопровідності та проаналізовано похибки які виникають при такого роду експериментах. Розроблено методику отримання мікрокристалічних матеріалів у вигляді тонких стрічок товщиною 20–30 мкм методом швидкого загартування, форма яких є зручною для паяння широких ділянок з точно визначеними розмірами, що є перспективним для з'єднання композитів з металевими матрицями.

Третій розділ присвячений дослідженню впливу нанорозмірних домішок Co та Ni на структурно-чутливі властивості сплавів на основі Sn–Ag–Cu.

Вивчено вплив об'ємних та нанорозмірних домішок Co і Ni на електропровідність сплавів $\text{Sn}_{95,80}\text{Ag}_{3,28}\text{Cu}_{0,93}$ та $\text{Sn}_{94,56}\text{Ag}_{4,14}\text{Cu}_{1,29}$, зокрема, додавання нанорозмірних домішок до базового сплаву призводять до зниження електропровідності, що зумовлено збільшенням у сплаві вмісту інтерметалічних сполук.

Дослідження мікроструктури показало, що у процесі взаємодії сплаву Sn–Ag–Cu з Cu початково утворюється гребенеподібний інтерметалічний шар Cu_6Sn_5 . З часом, між шаром Cu_6Sn_5 та мідною підкладкою починає формуватися інший, збагачений Cu, відносно плоский інтерметалічний шар Cu_3Sn . Товщина обидвох інтерметалічних шарів Cu_6Sn_5 та Cu_3Sn з часом збільшується внаслідок процесів дифузії.

В розділі також подані вперше експериментально отримані результати вимірювань теплопровідності розплавів $\text{Sn}_{94,56}\text{Ag}_{4,14}\text{Cu}_{1,29}$ з нанорозмірними домішками Co. Показано, що теплопровідність розплаву $\text{Sn}_{94,56}\text{Ag}_{4,14}\text{Cu}_{1,29}$ є нижчою, ніж теплопровідність Sn і знижується зі збільшенням вмісту наночастинок.

В *четвертому розділі* вивчався вплив домішок вуглецевих нанотрубок на структурно-чутливі властивості сплаву $\text{Sn}_{94,56}\text{Ag}_{4,14}\text{Cu}_{1,29}$. За результатами вперше проведених експериментальних досліджень впливу домішок багат шарових карбонових нанотрубок на питомий електроопір розплавів

показано, що незначна зміна значення питомого електричного опору пов'язана з низькою об'ємною часткою пористості в композитних сплавах та низькою кількістю домішок карбонових нанотрубок. Також вирішено проблему незмочуваності карбонових нанотрубок за допомогою методики, що полягає в модифікації їхньої поверхні металевою фазою Au, для покращення зчеплення нанотрубок з матрицею основного сплаву.

Практичне значення наукових результатів.

Практична цінність дисертаційної роботи Ткач О.Р. не викликає сумніву, оскільки вона присвячена дослідженню закономірностей впливу металевих наночастинок та карбонових нанотрубок на структурно-чутливі та механічні властивості багатокomпонентних сплавів на основі олова та дозволяють вдосконалити новітні технології виготовлення нанокомполитних матеріалів. Наукові результати дисертації, удосконалені методики вимірювань фізичних і механічних властивостей досліджених сплавів та встановлені закономірності їхньої поведінки мають практичне застосування у створенні технологій виробництва матеріалів для безсвинцевих припоїв і можливістю цілеспрямованого керування їхніми структурою та властивостями.

Відомості про дотримання академічної доброчесності. У дисертації та наукових публікаціях Ткач О.Р. відсутні порушення академічної доброчесності.

Зауваження до дисертації.

1. У третьому висновку до другого розділу сказано про комп'ютеризацію системи збору інформації, що уможливила швидку обробку великого масиву експериментальних даних в режимі прецизійного вимірювання температурних залежностей електропровідності металевих розплавів у широкому інтервалі температур, але на жаль у тексті розділу мало уваги приділено, як саме ця комп'ютеризація справді унікальних установок була проведена.
2. У третьому розділі в таблицях, які містять дані коефіцієнтів поліномів рівнянь величини коефіцієнтів дані з надто великою точністю до четвертого знаку після коми, а значення їх змінюються в менших порядках.

Всі наведені недоліки аж ніяк не впливають на позитивну оцінку дисертації. Зауваження можуть бути предметом подальших досліджень автора.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам.

Вважаю, що дисертація Ткач О.Р. «Вплив наночастинок на структурно-чутливі властивості евтектичних та біля евтектичних сплавів на основі Sn» є завершеною науковою працею, яка містить низку нових, актуальних та достовірних результатів, що свідчать про її складність, систематичність та важливе значення для сфери матеріалознавчих наук. Дисертація повністю відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. “Про затвердження Вимог до оформлення дисертації” (з наступними змінами) та “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022, а авторка, Ткач Ольга Романівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю **104 «Фізика та астрономія»**.

Рецензент :

кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізики металів
Львівського національного університету
імені Івана Франка

А.В. Королишин