

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 за спеціальністю

104 - фізика та астрономія

Актуальність дослідження.

Дисертаційна робота Ткач О.Р. присвячена дослідженню багатокомпонентних сплавів на основі Sn, які вже тривалий час знайшли широке як сплави з низькою температурою плавлення і добрими металічними характеристиками. В останні роки інтерес до них ще більше зростає і в першу чергу завдяки тому що у зв'язку зі шкідливим впливом на оточуюче середовище свинцю виникла необхідність замінити традиційні припої новими безсвинцевими припоями. Однак, перехід на нові матеріали припоїв не є простим завданням, а пов'язаний з необхідністю комплексного і ґрунтовного дослідження значної кількості легкоплавких сплавів на основі олова, індію, галію та інших елементів. Сплави на основі олова виявились найзручнішими і тому стали об'єктом досліджень світових і вітчизняних напрямків фундаментальної та прикладної науки. Головними їхніми перевагами є висока електропровідність, температурна стабільність, корозійна стійкість, задовільні поверхневі властивості і механічні характеристики. Крім того є і недоліки серед яких досить принциповим є поява крихкості завдяки утворенню інтерметалічних фаз. Таким чином стає очевидним, що успішне розв'язання проблем, пов'язаних зі створенням нових без свинцевих припоїв мусить ґрунтуватися на детальних дослідженнях структури, термодинамічних та фізико-хімічних властивостей при різних температурах та концентраціях як базових компонент так легуючих елементів. Отже можна стверджувати що дана дисертаційна робота є актуальною і спрямована на розв'язання важливих фундаментальних та прикладних проблем фізики, які супроводжують пошук нових матеріалів припоїв з покращеними експлуатаційними характеристиками.

Оскільки в останні роки значні успіхи у пошуку матеріалів різного функціонального призначення стали можливими завдяки додаванню до них наночастинок то виявляється логічним і обґрунтованим запропоноване у даній роботі використання наночастинок для модифікації властивостей без свинцевих припоїв на основі олова.

В дисертаційній роботі метою наукових досліджень є встановлення впливу легування матриці розплаву Sn–Ag–Cu структурними елементами наномасштабного рівня і вивчення механізмів такого впливу нам ціле направлене покращення основних експлуатаційних параметрів. При цьому значна увага приділяється вивченню особливостей взаємодії атомів припою зі структурними одиницями легуючих фаз і з атомами матеріалів, які з'єднуються методом паяння. Слід відзначити, що такий процес у більшості випадків є нерівноважний і тому може призводити до утворення низки фаз, непередбачуваних законами класичної термодинаміки та фізичної кінетики. Дана робота якраз передбачає такі дослідження структури і фізико–хімічних властивостей, щоб наблизитись до глибшого розуміння процесів паяння з метою їх покращення з використанням фізико-хімічних явищ, які відбуваються на наномасштабному рівні.

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

Достовірність, отриманих в дисертації результатів, базується на ґрунтовних попередніх знаннях, комплексному дослідженні фізичних характеристик та їх зміни при формуванні нанокompозитних систем, детальному вивченні механізму взаємодії усіх компонент припою і матеріалів що з'єднуються при паянні і задовільним узгодженням основних результатів роботи з подібними результатами інших авторів.

Наукова новизна дисертаційної роботи Ткач О.Р. визначається перш за все тим, що вперше вивчено вплив нанорозмірних металевих домішок різного типу, включаючи металічні наночастинки і карбонові нанотрубки на властивості, структуру та фазовий склад трьохкомпонентних сплавів системи Sn–Ag–Cu. Заслужують уваги і результати по модифікації поверхневих

властивостей з метою покращення умов взаємодії карбонових нанотрубок з металічними структурами матриці припою.

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 містить анотацію, вступ, чотири розділи, висновки та перелік використаних джерел з описом публікацій і участі у конференціях. Загальний обсяг дисертації 159 сторінок, більшість з яких відноситься до основної частини 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 публікацій, присвячених новим дослідженням функціональних матеріалів на основі подвійних та багатокомпонентних металевих сплавів на основі олова евтектичної та біляевтектичної концентрацій. Обґрунтовуються можливості їх практичного використання як припоїв, запобіжників та інших пристроїв. Тут детально проаналізовано вплив різного типу наночастинок на мікроструктуру та властивості сплавів на основі Sn. У трьох заключних підрозділах розглядається останні результати досліджень електрофізичних властивостей металевих сплавів

Другий розділ дисертації присвячено методиці експериментальних досліджень електрокінетичних властивостей металевих розплавів при різних температурах і концентраціях. Особливу увагу виділено на метод вимірювання електропровідності, яка є не лише важливим експлуатаційним параметром паяних конструкцій, а й пов'язана також з важливими фундаментальними фізичними характеристиками. Також описано методику вимірювання інших важливих фізичних характеристик як теплопровідність та теплоємність. Слід відзначити що існує багато методичних проблем при вимірюванні цих величин і особливо таких, які пов'язані з точністю вимірювання. Проаналізовано

похибки і вказано на шляхи зменшення їхнього впливу на результати вимірювань. Особливої уваги заслуговує запропонована в роботі методика отримання мікрокристалічних матеріалів у вигляді тонких стрічок товщиною 20–30 мкм методом швидкого загартування, що важливо для паянні матеріалів з широкими контактними зонами.

Третій розділ є одним з основних і містить результати досліджень впливу нанорозмірних домішок Co та Ni на структурно-чутливі властивості досліджуваних сплавів.

При цьому вивчено вплив масивних та нанорозмірних домішок Co і Ni на електропровідність сплавів $\text{Sn}_{95,80}\text{Ag}_{3,28}\text{Cu}_{0,93}$ та $\text{Sn}_{94,56}\text{Ag}_{4,14}\text{Cu}_{1,29}$ і показано що додавання нанорозмірних домішок до базового сплаву призводять до зниження електропровідності, причиною якого є можливість формування інтерметалідів або зростанням частки некогерентних фаз, і як результат збільшенням частки дефектів.

Важливим результатом цього розділу також є те, що у ньому на основі отриманих результатів запропоновано механізм взаємодії атомів сплаву Sn–Ag–Cu з атомами міді, які у більшості випадків є основою паяних металічних сплавів. Показано, що спочатку утворюється інтерметалідний шар Cu_6Sn_5 , а потім фаза Cu_6Sn_5 . Це узгоджується з видом діаграм фазових рівноваг системи паяний матеріал - припій і значеннями термодинамічних функцій, які вказують на існування схильності до хімічного впорядкування між атомами міді та олова. Зрозуміло, що структурний стан таких інтерметалідів та досконалість їх будови на наномасштабному рівні суттєво впливатимуть на комплекс основних характеристик припоїв.

В цьому розділі також представлені результати вимірювань теплопровідності розплавів $\text{Sn}_{94,56}\text{Ag}_{4,14}\text{Cu}_{1,29}$, легованих нанорозмірними домішками Co. Показано, що додавання нанорозмірних частинок Co призводить до зниження коефіцієнта теплопровідності, що є наслідком зменшення електронного вкладу у теплопровідність та формуванням більшої кількості структурних дефектів.

Четвертий розділ дисертації є заключним і у логічній послідовності завершує результати по вивченню впливу наночастинок на структуру та фізичні властивості сплаву $\text{Sn}_{94,56}\text{Ag}_{4,14}\text{Cu}_{1,29}$. За результатами вперше проведених

експериментальних досліджень впливу карбонових нанотрубок на електропровідність розплаву показано, що незначна зміна значення цієї фізичної характеристики пов'язана з низкою різних факторів, але визначальним з них є зміна кінетичних параметрів атомної та електронної структури. При цьому також частково вирішено проблему поганого змочування карбонових нанотрубок шляхом насичення їхньої поверхні атомами золота, що приводить до ліпшого зчеплення нанотрубок з матрицею основного сплаву.

Практичне значення наукових результатів.

Практична цінність дисертаційної роботи Ткач О.Р. мотивується необхідністю пошуку нових безсвинцевих припоїв для зменшення забруднення оточуючого середовища і підвищення ефективності процесу паяння різних металічних матеріалів за участі неметалічних фаз. Запропоновані в роботі матеріали, технології їхнього отримання, а також отримані результати по впливу наночастинок дадуть змогу поліпшити експлуатаційні характеристики існуючих припоїв на основі олова і створять фізико-хімічні основи для пошуку нових сплавів такого функціонального призначення. Крім того, отримані в роботі результати також можуть бути використані і для синтезу інших нанокompозитних систем.

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

Зауваження до дисертації.

1. В роботі вивчається вплив нанотрубок на властивості припоїв на прикладі багат шарових карбонових нанотрубок одного певного розміру і певного типу. Більш повну інформацію можна було би отримати у випадку використання нанотрубок різного діаметру і різного типу. Крім того можна використовувати металічні розплави з найменшим коефіцієнтом поверхневого натягу.
2. В роботі розглядається окремо вплив наночастинок різного типу на розплави припоїв, а саме металічного типу, карбонових нанотрубок і оксидних

наночастинок. На жаль, не показано, які особливості кожного з цих випадків є спільними, а що відрізняється.

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 її авторка, Ткач Ольга Романівна, заслуговує присудження їй ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 - фізика та астрономія.

Рецензент –

Доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри фізики металів
Львівського національного університету
імені Івана Франка

С.І. Мудрий