

ORCID: 0000-0002-4680-1466

В. В. МОРОЗОВИЧ

лаборант навчальної лабораторії фізико-хімічних досліджень,
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна,
vladmorozua@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7015-1662

Ю. О. ЛЯШЕНКО

професор кафедри фізики, ННІ ІНФОТЕХ
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна,
lyashenko.yurij@gmail.com

DOI: 10.31651/2076-5851-2025-189-198

PACS 52.80.-c 02.60.-x, 02.70.-c,
05.70.Fh, 05.70.Ln**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОБРОБКИ ІНТЕРФЕЙСУ МІДНОЇ ПОВЕРХНІ НА
МОРФОЛОГІЮ ТА РІСТ ФАЗ В РЕКЦІЯХ МІДІ З ОЛОВОМ**

У роботі досліджено вплив попередньої поверхневої модифікації міді на морфологію інтерметалідних фаз та пористість контактної зони в системі Cu–Sn після термічного відпалу. Для формування контактних зон використовували мідні зразки з різними типами обробки поверхні, зокрема, SMAT-обробки, хімічного осадження олова на мідь та електроосадження міді на мідні підкладки у стаціонарному та стохастичному режимах. Після модифікації поверхні зразки занурювали в рідке олово, а потім відпалювали протягом 190 годин за температури 210 °C в атмосфері аргону. Морфологію контактних зон досліджували методом растрової електронної мікроскопії.

Встановлено, що після відпалу в контактній зоні формується інтерметалідний прошарок, представлений фазами Cu_3Sn та Cu_6Sn_5 . Тип попередньої обробки поверхні суттєво впливає на товщину цих фаз, їх співвідношення та характер пороутворення на межі Cu/ Cu_3Sn . Найбільшу сумарну товщину інтерметалідного шару зафіксовано для зразка, отриманого із застосуванням стохастичного режиму електроосадження на мідні підкладки. Для нього характерне різке збільшення товщини фази Cu_6Sn_5 та найбільше співвідношення Cu_6Sn_5/Cu_3Sn . На межі Cu/ Cu_3Sn виявлено пори та локальні розриви контакту, які можуть бути пов'язані з вакансійним механізмом пороутворення під час дифузійно-контрольованого росту інтерметалідних фаз.

Ключові слова: електроосадження, хімічне осадження, мідь, олово, растрова електронна мікроскопія.

1. Вступ

Надійність та довговічність мікроелектронних з'єднань значною мірою визначаються процесами фазоутворення та еволюції мікроструктури в контактних зонах металевих систем. Однією з найбільш поширених і технологічно важливих є система Cu–Sn, яка широко використовується у паяних з'єднаннях, електронних компонентах та елементах силової електроніки. У цій системі при взаємодії міді з оловом формуються

інтерметалідні фази, насамперед Cu_6Sn_5 та Cu_3Sn , що суттєво впливає на механічні та електрофізичні властивості контактної зони.

Ріст інтерметалідних фаз у системі Cu–Sn має дифузійно-контрольований характер і супроводжується нерівноважними ефектами, зокрема формуванням вакансійних потоків та пор типу Кіркендалла [1]. Морфологія інтерметалідних прошарків, їх товщина, суцільність та пористість визначають стабільність з'єднання при термічному навантаженні та циклічній експлуатації. У зв'язку з цим особливого значення набуває контроль початкового стану поверхні міді, який визначає кінетику реакційної дифузії та характер фазоутворення [2, 3].

Сучасні дослідження показують, що попередня обробка поверхні міді (механічна, хімічна, електролітична, а також методи інтенсивної пластичної деформації, зокрема SMAT) призводить до суттєвих змін її структурного стану: зменшення розміру зерен, підвищення густини дефектів, формування градієнтних наноструктур [4]. Такі зміни впливають на дифузійну рухливість атомів та дефектів, щільність активних центрів зародження фаз та умови росту інтерметалідів. Водночас питання комплексного впливу різних типів обробки поверхні на морфологію та кінетику росту фаз у системі Cu–Sn залишається недостатньо дослідженим [5].

Особливої уваги потребує встановлення взаємозв'язку між структурним станом поверхневого прошарку міді, сформованого різними технологічними методами (електроосадження, хімічне осадження, механічна активація), та особливостями формування інтерметалідних фаз при взаємодії з оловом. Зокрема, недостатньо вивченими є питання впливу дефектної структури та морфології поверхні на зародження фаз, їх морфологічну еволюцію та розвиток пористості в контактній зоні [7, 8].

У зв'язку з цим метою даної роботи є встановлення закономірностей впливу попередньої обробки поверхні міді на морфологію та кінетику росту інтерметалідних фаз у контактній зоні Cu–Sn. Для досягнення цієї мети використано комплекс експериментальних методів, зокрема електроосадження та хімічне осадження олова, а також растрову електронну мікроскопію для аналізу мікроструктури та морфології реакційних зон.

Отримані результати підтверджують, що керування структурним і хімічним станом поверхні міді перед взаємодією з оловом є ефективним способом впливу на фазоутворення, морфологію інтерфейсу та дефектність контактної зони.

2. Опис експерименту та методів дослідження

Для проведення експериментальних досліджень морфології та росту фаз у реакціях міді з оловом було підготовлено мідні пластинки розміром 10×10 мм. Підготовка поверхні зразків включала послідовне шліфування та полірування у декілька етапів із використанням абразивних кругів зернистістю від P180 до P2400. Після кожного етапу механічної обробки зразки очищували в ультразвуковій ванні з метою видалення з поверхні залишків абразиву та продуктів обробки. Після механічної підготовки підкладки відпалювали в атмосфері аргону за температури 500°C протягом 2 годин для зменшення внутрішніх мікронапружень, що могли виникнути внаслідок попередньої обробки.

Окрему серію становили мідні підкладки, поверхня яких була модифікована оловом методом хімічного осадження. Для цього використовували частково ізольовані мідні підкладки з робочою площею 1 см^2 та розчин для хімічного осадження олова. Модифікацію поверхні підкладок оловом виконували за методикою, наведеною в роботі [9].

Для виготовлення зразків з електроосадженими мідними покриттями використовували мідні підкладки з робочою площею поверхні 1 см^2 . Перед

електроосадженням частину поверхні підкладок ізолювали, залишаючи відкритою робочу ділянку площею 1 см². Як електроліт для осадження міді використовували розчин складу 0,36 М CuSO₄·H₂O + 1,22 М H₂SO₄ [10]. Для видалення оксидної плівки, що могла утворитися на поверхні підкладок під час відпалу, безпосередньо перед електроосадженням проводили анодне травлення.

Зразки, модифіковані за технологією поверхневої механічної обробки SMAT, виготовляли згідно з методикою, описаною в роботі [11, 12].

Після модифікації поверхні, на робочу/модифіковану поверхню наносили флюс, розігрівали до 130 °С, для активації флюса та знищення оксидних плівок, та занурювали в рідке олово, що було розігріте до 300 °С за 1 секунду, після чого загартовували в воді.

Таблиця 1. Типи зразків

Table 1. Sample types

№	Електроосадження	SMAT	Хімічне осадження Sn
Зразок 1	-	До	Після
Зразок 2	-	Після	До
Зразок 3	Стаціонарний[7]	-	Після
Зразок 4	Стохастичний[7]	-	Після
Зразок 5	-	+	-
Зразок 6	-	-	+
Еталон	-	-	-

Після виготовлення зразків проводився термічний відпал дослідних зразків протягом 190 годин за температури 210 °С в атмосфері аргону.

Дослідження контактних зон зразків проводився на растровому електронному мікроскопі РЕМ-200, додатково знімки аналізувалися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення [13].

3. Результати дослідження виготовлених зразків

На Рис. 1 приведено зображення із скануючого електронного мікроскопа поперечного перерізу зразків після термічного відпалу. Знімки робилися за збільшення в 1000 разів.

Після відпалу зразків протягом 190 год за температури 210 °С в атмосфері аргону на межі між мідною основою та фазою Cu₃Sn спостерігається утворення пористості. На РЕМ-зображеннях пори проявляються у вигляді темних ділянок, для наглядності на зображеннях пори на інтерфейсі Cu/Cu₃Sn виділено зеленим кольором, локалізованих переважно вздовж інтерфейсу Cu/Cu₃Sn. Їх розподіл має нерівномірний, переривчасто-ланцюговий характер: поряд з окремими ізольованими порами спостерігаються протяжні ділянки часткового розриву контакту між міддю та інтерметалідним шаром.

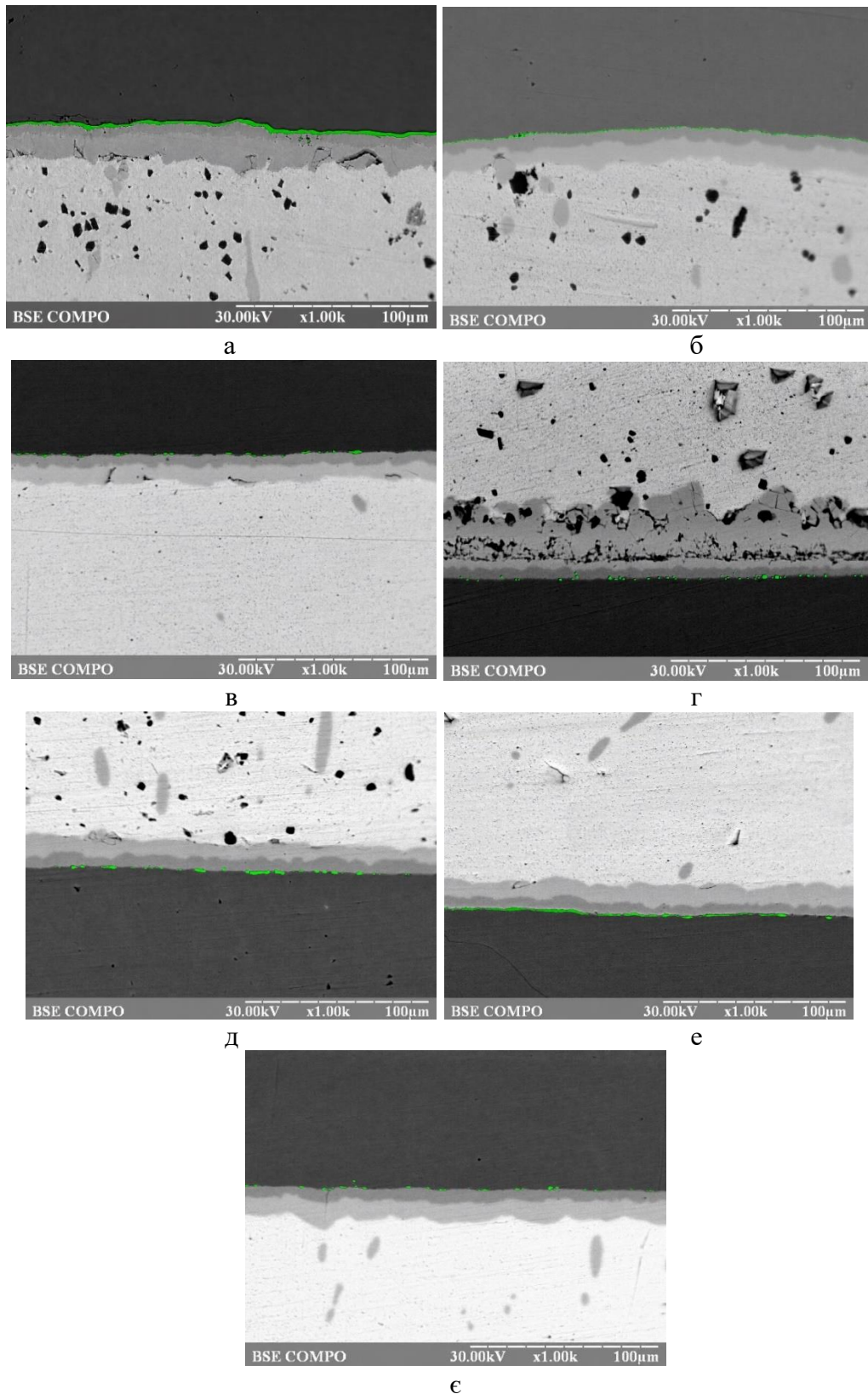


Рис. 1. SEM-зображення дослідних зразків після термічного відпалу протягом 190 годин за температури 210⁰С. а – Зразок 1; б – Зразок 2; в – Зразок 3; г – Зразок 4; д – Зразок 5; е – Зразок 6; е – Еталон.

Fig. 1. SEM-image of the experimental samples after thermal annealing for 190 hours at 210⁰С. а – Sample 1; б – Sample 2; в – Sample 3; г – Sample 4; д – Sample 5; е – Sample 6; е – Reference standard

У результаті аналізу поперечних перерізів зразків після відпалу встановлено, що інтенсивність пороутворення на межі Cu/Cu₃Sn суттєво залежить від типу попередньої поверхневої обробки міді. Найбільш виражена пористість спостерігається для зразка, у якому SMAT-обробку проводили до процесу хімічного осадження олова. У цьому випадку пори локалізуються вздовж міжфазної границі Cu/Cu₃Sn і місцями формують протяжні ділянки часткового розриву контакту.

Зразки з хімічно осадженим оловом також характеризуються підвищеною пористістю порівняно з еталоном. Це свідчить про те, що попереднє нанесення Sn на поверхню міді сприяє активнішому росту інтерметалідної фази Cu₃Sn під час подальшого відпалу. Унаслідок різної рухливості атомів Cu і Sn у зоні реакційної дифузії може відбутися накопичення вакансій, які згодом коалесціюють з утворенням пор.

Найменш інтенсивне пороутворення спостерігається у зразках з електроосадженими мідними покриттями та в еталонному зразку. Для них характерна переважно дискретна пористість без формування суцільних зон розриву контакту. Це може свідчити про більш рівномірне формування інтерметалідного шару Cu₃Sn та меншу локалізацію вакансій на міжфазній межі.

Таким чином, попередня модифікація поверхні міді істотно впливає на морфологію інтерфейсу Cu/Cu₃Sn. Найбільш критичним щодо пороутворення є поєднання інтенсивної механічної активації поверхні SMAT з подальшим нанесенням олова, тоді як електроосаджені мідні покриття демонструють більш стабільну та менш дефектну контактну зону.

Таблиця 2. Результати аналізу морфології фаз в контактній зоні після термічного відпалу.

Table. 2 Results of the analysis of phase morphology in the contact zone after thermal annealing.

№	Середні товщини фаз Cu ₃ Sn+Cu ₆ Sn ₅ мкм	Середня товщина фази Cu ₃ Sn	Середня товщина фази Cu ₆ Sn ₅	Співвідношення Cu ₆ Sn ₅ /Cu ₃ Sn
Зразок 1	18	4,7	13,3	2,8
Зразок 2	16,9	6	10,9	1,8
Зразок 3	13,6	5,5	8,1	1,5
Зразок 4	36,3	4,5	31,8	7
Зразок 5	15,2	5,8	9,3	1,6
Зразок 6	15,4	5,5	9,9	1,8
Еталон	14,7	5,8	8,9	1,5

Аналіз середніх товщин інтерметалідних фаз показав, що тип попередньої обробки поверхні суттєво впливає на морфологію контактної зони після термічного відпалу. Для більшості зразків сумарна товщина фаз Cu₃Sn + Cu₆Sn₅ перебуває в межах 13,6–18 мкм. Винятком є зразок 4, для якого сумарна товщина інтерметалідного шару становить 36,3 мкм. Таке значне збільшення зумовлене переважним ростом фази Cu₆Sn₅, товщина якої досягає 31,8 мкм, тоді як товщина Cu₃Sn становить лише 4,5 мкм.

Для зразка 4 співвідношення Cu₆Sn₅/Cu₃Sn дорівнює 7,0, що суттєво перевищує значення для інших зразків. Це свідчить про різке зміщення фазового балансу в бік утворення Cu₆Sn₅. Ймовірно, нестационарний режим електроосадження типу «Чуа

повільний» [7] приводить до формування структурного стан мідного прошарку, який сприяє інтенсивному росту фази Cu_6Sn_5 під час подальшої взаємодії з оловом.

У зразках 1 і 2 також спостерігається збільшення сумарної товщини інтерметалідного шару порівняно з референтним зразком. Для зразка 1 характерне підвищене співвідношення $\text{Cu}_6\text{Sn}_5/\text{Cu}_3\text{Sn}$, що вказує на переважний ріст Cu_6Sn_5 після SMAT-обробки та подальшого хімічного осадження олова. Зразок 2 демонструє більш збалансоване співвідношення фаз, що може бути пов'язано з іншою послідовністю модифікації поверхні.

Зразки 3, 5, 6 та референтний зразок мають близькі значення сумарної товщини інтерметалідної зони та співвідношення $\text{Cu}_6\text{Sn}_5/\text{Cu}_3\text{Sn}$. Це свідчить про менш інтенсивний вплив відповідних способів обробки на фазоутворення порівняно зі зразком 4. Загалом отримані результати показують, що найбільш виражений вплив на ріст інтерметалідних фаз має стохастичний режим електроосадження, який сприяє значному збільшенню товщини Cu_6Sn_5 і зміні морфології контактної зони.

4. Висновки

Встановлено, що тип попередньої поверхневої обробки міді суттєво впливає на морфологію контактної зони, товщину інтерметалідних фаз та характер пороутворення на межі $\text{Cu}/\text{Cu}_3\text{Sn}$.

У всіх досліджених зразках після відпалу формується інтерметалідна зона, представлена фазами Cu_3Sn та Cu_6Sn_5 , однак їх товщина та співвідношення істотно залежать від типу попередньої обробки. Найбільш інтенсивне фазоутворення встановлено для зразка зі стохастичним режимом електроосадження, для якого характерне переважне зростання фази Cu_6Sn_5 . Комбінація SMAT-обробки та хімічного осадження олова також активує міжфазну взаємодію, проте її вплив на ріст інтерметалідних фаз є менш вираженим порівняно з нестационарним електроосадженням. Зразки зі стаціонарним електроосадженням, окремою SMAT-обробкою або лише хімічним осадженням олова демонструють більш помірний характер росту інтерметалідної зони, близький до референтного зразка.

На межі $\text{Cu}/\text{Cu}_3\text{Sn}$ виявлено пористість і локальні розриви контакту, що свідчить про дефектність цієї міжфазної границі після тривалого відпалу. Локалізація пор уздовж межі $\text{Cu}/\text{Cu}_3\text{Sn}$ вказує на ймовірний зв'язок пороутворення з дифузійно-контрольованим ростом інтерметалідних фаз та накопиченням вакансій у зоні міжфазного контакту.

Список використаної літератури:

1. Wang, J. Forming mechanism and growth of Kirkendall voids of Sn/Cu joints for electronic packaging: A recent review / J. Wang, J. Chen, L. Zhang, Z. Zhang, Y. Han, X. Hu, H. Lu, S. Zhang // Journal of Advanced Joining Processes. – 2022. – 100125. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2022.100125>
2. Kannoja, H. K. Effect of surface roughness on void formation and intermetallic growth in electrodeposited Cu-Sn stacks / H. K. Kannoja, P. Dixit // Materials Letters. – 2019. – Vol. 257. – 126710. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126710>
3. Chan, P.-F. Effect of Copper Grain Size on the Interfacial Microstructure of a Sn/Cu Joint / P.-F. Chan, H. Lee, S.-I. Wen, M.-C. Hung, C.-M. Chen, W.-P. Dow // ACS Applied Electronic Materials. – 2020. – Vol. 2, №2. – P. 464–472. Режим доступу: <https://doi.org/10.1021/acsaelm.9b00720>
4. Lee, J.-Y. Effects of Initial Morphology on Growth Kinetics of Cu_6Sn_5 at SAC305/Cu Interface during Isothermal Aging / J.-Y. Lee, C.-M. Chen // Materials. – 2022. – Vol. 15, №14. – 4751. Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/ma15144751>

5. Roy, A. Predicting the Cu₆Sn₅ Growth Kinetics During Thermal Aging of Cu-Sn Solder Joints Using Simplistic Kinetic Modeling / A. Roy, A. Luktuke, N. Chawla, K. Ankit // *Journal of Electronic Materials*. – 2022. – Vol. 51, № 7. – P. 4063-4072. Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s11664-022-09643-2>
6. Peng, X. Kinetics of Cu₆Sn₅ and Cu₃Sn intermetallic compounds growth and isothermal solidification during Cu-Sn transient liquid phase sintering process / X. Peng, Y. Wang, W. Wang, Z. Ye, J. Yang, J. Huang // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2023. – № 949. – P. 169631. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.169631>
7. Морозович, В. В. Influence of copper pretreatment on the phase and pore formations in the solid phase reactions of copper with tin / В. В. Морозович, А. Р. Honda, Ю. О. Lyashenko, Ю. Д. Korol, О. Ю. Liashenko, С. Cserhati, А. М. Gusak // *Металлофізика и новейшие технологии*. 2018. – Vol. 40, №12. – P. 1649-1673. Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/mfint.40.12.1649>
8. Морозович, В. В. Структурний стан гальваноосаджених прошарків міді / В. В. Морозович, Я. Д. Король, Ю. О. Ляшенко // *Вісник Черкаського університету. Серія: Фізико-математичні науки*. – 2018. №1, – С.50-59. Режим доступу: <https://doi.org/10.31651/2076-5851-2018-1-50-59>
9. Ніколенко Ю. В. Вплив ультразвуку на процес хімічного осадження олова на мідний порошок / Ю. В. Ніколенко, В. В. Морозович, Ю. О. Ляшенко // *Вісник Черкаського університету. Серія: «Фізико-математичні науки»* – 2021. №1. – С. 90-99. Режим доступу: <https://doi.org/10.31651/2076-5851-2021-90-99>
10. Ніколенко Ю. В. Розробка та застосування апаратно-програмного комплексу у правлінні процесом електролітичного осадження міді в режимі стохастичних коливань / Ю. В. Ніколенко, В. А. Дідук, Я. Д. Король, Ю. О. Ляшенко // *Вісник Черкаського університету. Серія «Фізико-математичні науки»*. – 2016. №1. – С. 27-29. Режим доступу: <http://phys-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/1372/1396>
11. Дерев'янку С. І., Морозович В. В., Красовський Т. А., Ляшенко Ю. О. Вплив обробки поверхні за технологією SMAT на механічні властивості поверхневих шарів міді // *Вісник Черкаського університету. Серія: Фізико-математичні науки*. – 2019, № 1. – С. 60-68. Режим доступу: <https://doi.org/10.31651/2076-5851-2019-1-60-68>
12. Тютенко В. М., Морозович В. В., Дідук В. А., Колінько С. О., Ляшенко Ю. О. Вплив SMAT обробки на структуру електроосаджених в стаціонарному, реверсному та стохастичному режимах прошарків міді // *Вісник Черкаського університету. Серія: Фізико-математичні науки*. – 2017. – № 1. – С. 63-78. Режим доступу: <https://phys-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/2334/2406>
13. Морозович В. В. Застосування попередньої обробки зображень із растрового електронного мікроскопа для покращення ідентифікації структурних елементів / В. В. Морозович, А. Р. Гонда, Ю. О. Ляшенко // *Вісник Черкаського університету. Серія «Прикладна математика. Інформатика»*. – 2017. No 1-2. С. 15-24. Режим доступу: <http://eprints.cdu.edu.ua/id/eprint/4373>

References:

1. Wang, J., Chen, J., Zhang, L., Zhang, Z., Han, Y., Hu, X., ... & Zhang, S. (2022). Forming mechanism and growth of Kirkendall voids of Sn/Cu joints for electronic packaging: A recent review. *Journal of Advanced Joining Processes*, 6, 100125. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2022.100125>

2. Kannoja, H. K., & Dixit, P. (2019). Effect of surface roughness on void formation and intermetallic growth in electrodeposited Cu-Sn stacks. *Materials Letters*, 257, 126710. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126710>
3. Chan, P. F., Lee, H., Wen, S. I., Hung, M. C., Chen, C. M., & Dow, W. P. (2020). Effect of copper grain size on the interfacial microstructure of a Sn/Cu joint. *ACS Applied Electronic Materials*, 2(2), 464-472. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/acsaelm.9b00720>
4. Lee, J. Y., & Chen, C. M. (2022). Effects of initial morphology on growth kinetics of Cu₆Sn₅ at SAC305/Cu interface during isothermal aging. *Materials*, 15(14), 4751. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ma15144751>
5. Roy, A., Luktuke, A., Chawla, N., & Ankit, K. (2022). Predicting the Cu₆Sn₅ growth kinetics during thermal aging of Cu-Sn solder joints using simplistic kinetic modeling. *Journal of Electronic Materials*, 51(7), 4063-4072. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11664-022-09643-2>
6. Peng, X., Wang, Y., Wang, W., Ye, Z., Yang, J., & Huang, J. (2023). Kinetics of Cu₆Sn₅ and Cu₃Sn intermetallic compounds growth and isothermal solidification during Cu-Sn transient liquid phase sintering process. *Journal of Alloys and Compounds*, 949, 169631. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.169631>
7. Morozovych, V. V., Honda, A. R., Lyashenko, Y. O., Korol, Y. D., Liashenko, O. Y., Cserhati, C., & Gusak, A. M. (2018). Influence of copper pretreatment on the phase and pore formations in the solid phase reactions of copper with tin. *Metallophysics and Advanced Technologies*, 40(12), 1649-1673. Retrieved from <https://doi.org/10.15407/mfint.40.12.1649>
8. Morozovich, V. V., Korol, Y. D., & Lyashenko, Y. O. (2018). Structural state of electroplated copper layers. *Cherkasy University Bulletin: Physical and Mathematical Sciences*, (1), 50–59. Retrieved from <https://doi.org/10.31651/2076-5851-2018-1-50-59>
9. Nikolenko, Y. V., Morozovych, V. V., & Lyashenko, Y. O. (2021). The effect of ultrasound on the chemical deposition of tin onto copper powder. *Cherkasy University Bulletin: Physical and Mathematical Sciences*, 1(1), 90–99. Retrieved from <https://doi.org/10.31651/2076-5851-2021-90-99>
10. Nikolenko, Y. V., Diduk, V. A., Korol, Y. D., & Lyashenko, Y. O. (2016). Development and application of a hardware-software system for controlling the electrolytic copper deposition process under stochastic fluctuations. *Cherkasy University Bulletin: Physical and Mathematical Sciences*, (1), 26–35. Retrieved from <http://phys-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/1372/1396>
11. Derevianko, S. I., Morozovich, V. V., Krasovsky, T. A., & Lyashenko, Y. O. (2019). The effect of SMAT surface treatment on the mechanical properties of copper surface layers. *Cherkasy University Bulletin: Physical and Mathematical Sciences*, (1), 60–68. Retrieved from <https://doi.org/10.31651/2076-5851-2019-1-60-68>
12. Tyutenko, V. M., Morozovich, V. V., Diduk, V. A., Kolinko, S. O., & Lyashenko, Y. O. (2017). The effect of SMAT treatment on the structure of copper layers deposited in steady-state, reverse, and stochastic modes. *Cherkasy University Bulletin: Physical and Mathematical Sciences* (1), 63–78. Retrieved from <https://phys-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/2334/2406>
13. Morozovich, V. V., Gonda, A. R., & Lyashenko, Y. O. (2017). Application of preprocessing of scanning electron microscope images to improve the identification of structural elements. *Cherkasy University Bulletin: Applied Mathematics. Computer Science Series*, (1-2), 15-24. Retrieved from <http://eprints.cdu.edu.ua/id/eprint/4373>

V. V. MOROZOVYCH

Laboratory assistant in the educational laboratory for physical and chemical research,
The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine,
vladmorozua@gmail.com

YU. O. LYASHENKO

Professor of the Department of Physics,
Educational-Scientific Institute of Informational and Educational Technologies
The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine,
lyashenko.yurij@gmail.com

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF COPPER SURFACE INTERFACE
TREATMENT ON THE MORPHOLOGY AND PHASE GROWTH IN COPPER-TIN
REACTIONS**

DOI: 10.31651/2076-5851-2025-189-198

PACS 52.80.-c 02.60.-x, 02.70.-c,
05.70.Fh, 05.70.Ln

This study investigates the influence of preliminary surface modification of copper on the formation, morphology, and defect structure of the Cu–Sn contact zone after thermal annealing. The research focuses on the development of intermetallic phases and porosity at the Cu/Cu₃Sn interface, which is one of the critical regions determining the stability and reliability of copper–tin contact systems. Several types of surface preparation were used, including surface mechanical attrition treatment, chemical tin deposition, stationary copper electrodeposition, and non-stationary copper electrodeposition regime. After surface modification, the working surface of the samples was treated with flux and heated to 130 °C to activate the flux and remove oxide films. The samples were then immersed in molten tin at 300 °C for 1 s and quenched in water. Subsequent thermal annealing was carried out for 190 h at 210 °C in an argon atmosphere. The morphology of the contact zones was studied using scanning electron microscopy.

The results show that thermal annealing leads to the formation of a reaction zone consisting mainly of Cu₃Sn and Cu₆Sn₅ intermetallic phases. The thickness and morphology of these phases depend significantly on the initial state of the copper surface. The most pronounced growth of the intermetallic layer was observed for the sample prepared using non-stationary electrodeposition regime followed by chemical tin deposition. In this case, the total thickness of the Cu₃Sn + Cu₆Sn₅ layer was considerably higher than that of the reference sample, mainly due to the intensive growth of the Cu₆Sn₅ phase. Samples treated by a combination of SMAT and chemical tin deposition also demonstrated enhanced interfacial reactions, although the effect was less significant than in the case of non-stationary electrodeposition.

Special attention was paid to the Cu/Cu₃Sn boundary, where dark regions corresponding to pores, voids, and local discontinuities of contact were observed. These defects were mainly localized along the interphase boundary and often formed discontinuous chains. Such morphology suggests that pore formation is associated with diffusion-controlled growth of intermetallic phases and the accumulation of vacancies near the Cu/Cu₃Sn interface. The observed porosity may therefore be considered as a manifestation of vacancy-related degradation processes, which can reduce the effective contact area and negatively affect the mechanical and electrical stability of the joint.

The obtained results demonstrate that the structural and chemical state of the copper surface before interaction with tin is a key factor controlling the kinetics of phase formation, the balance between Cu₃Sn and Cu₆Sn₅, and the development of interfacial defects. Thus,

controlled surface modification can be considered an effective tool for regulating the morphology and reliability of Cu–Sn contact zones.

Keywords: electrodeposition, chemical deposition, copper, tin, scanning electron microscopy.

Одержано редакцією 04.10.2025

Прийнято до друку 19.11.2025

Опубліковано 24.12.2025