

Список використаних джерел і літератури

1. Рябко А. В., Толмачов В. С. Автоматизація установок для лабораторного практикуму з механіки з використанням апаратно-програмної платформи arduino // Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. – 2018. – Т. 2. – №. 173. – С. 165-168.
2. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М, Яцук В.О. та ін. «Метрологія та вимірювальна техніка», за ред. Є.С. Поліщука, — Львів: Бескид Біт, 2003. — 544 с.

Науковий керівник: д.ф.-м.н., професор кафедри фізики Ляшенко Ю.О.

Дерева'янюк С. І.

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ Zn НА ВИБІР ДИФУЗІЙНОГО ШЛЯХУ В СИСТЕМІ Cu-Sn-Zn

Однією із головних складових будь-якої мікросхеми є контактне з'єднання. Контактне з'єднання утворюється внаслідок термічної обробки припою (Sn) та мідного контакту. В результаті взаємодії в системі Cu-Sn ростуть проміжні фази ϵ -Cu₃Sn та η -Cu₆Sn₅. Одним із головних факторів руйнування контактного з'єднання під час експлуатації електронних пристроїв є наявність і ріст пор в фазі ϵ -Cu₃Sn, як в об'ємі так і на інтерфейсі [1].

Для покращення технологічних характеристик в припій, основу якого складає Sn почали додавати інші елементи такі як Pb, Ag, Ni, Al, Mg та інші [2]. Ці доданки впливали на характеристики самого контактного з'єднання: могли підвищувати чи понижати температуру розплаву, послідовність росту проміжних фаз та їх швидкість росту, що допомагало частково або повністю вирішити існуючі проблеми (високі температури пайки, проблему утворення пор та тріщин).

Встановлено, що одним із таких доданків, який гальмував утворення фаз ϵ -Cu₃Sn та η -Cu₆Sn₅ є Zn. В статті [3] описано дифузійну еволюції в системі SnBiIn-2 ат.% Zn / Cu за температури 120°C та утворення через 5 хв. проміжної фази γ -Cu₅Zn₈ товщиною близько 0,36 мкм. В цій роботі була побудована модель, що пояснює темпи росту інтерметалічної сполуки γ -Cu₅Zn₈.

В статтях [4, 5] описані експериментальні дослідження додавання Zn до Sn та його дифузійна еволюція з Cu. Кількість Zn в твердому розчині зі Sn впливає на вибір дифузійного шляху. В експерименті з використанням припою Sn-0.5мас.%Zn за температури 250°C в дифузійній парі з Cu ми бачимо ріст тільки однієї фази η -Cu₆Sn₅ і не спостерігаємо утворення ϵ -Cu₃Sn. При збільшенні концентрації Zn до 0.7-1 мас. %, утворюється проміжна фаза β -CuZn та η -Cu₆Sn₅. У випадку коли концентрація Zn збільшується до 2 мас. % в розчині утворюється фаза γ -Cu₅Zn₈. В статті [6] для дифузійної пари з міддю за температури 250°C використовували евтектичний розчин Sn-9 мас.%Zn і в результаті термічної обробки після 5 секунд утворювалась проміжна фаза в високою концентрацією Zn, а саме ϵ -CuZn₅, після 40 секунд – ϵ -CuZn₅ та ϵ -CuZn₄. Після 90 секунд відпалу ростуть фази ϵ -CuZn₄ та γ -Cu₅Zn₈ (Рис. 1, 2) [7].

Метою нашої роботи є дослідження впливу концентрації Zn в припої на вибір дифузійних шляхів в даній потрійній системі та дослідження послідовності утворення проміжних фаз в контактному з'єднанні. Основною задачею є визначення критичної товщини η -Cu₆Sn₅ фази при якій в дифузійній зоні починається ріст β -CuZn фази та визначення впливу термодинамічних параметрів на критичну товщину та концентрацію Zn в припої. Аналіз проведений із застосування кінетичного та термодинамічного критеріїв. Термодинамічний критерій будується з використанням принципу максимальності виробництва ентропії [8]. Аналіз побудовано на основі моделі, що розроблена в роботах [9, 10], де описана потрійна система, та вплив термодинамічного та кінетичного критеріїв на початок росту та пригнічення росту фаз на основі принципу максимальності виробництва ентропії [1, 8].

Таким чином, в результаті нами було досліджено модельну систему Cu-Sn-Zn та описано три дифузійні шляхи за температури 250 °C: з ростом β -CuZn та η -Cu₆Sn₅ фаз, з ростом β -CuZn

та η -Cu₆Sn₅ де фаза β -CuZn є у вигляді зародків у контактній зоні та розглядається випадок з ростом лише η -Cu₆Sn₅ фази. Було проаналізовано рівняння балансу потоків для кожного із трьох випадків на основі яких було розраховано критичну товщину η -Cu₆Sn₅ фази за досягнення якої починається ріст β -CuZn фази у дифузійній парі Cu / α -SnZn та були розраховані залежності критичної товщини β -CuZn фази від концентрації цинку в α -SnZn фазі та від термодинамічного параметру, що визначається співвідношенням потенціалів Гіббса фаз.

Список використаних джерел і літератури

1. Gusak A. M. Diffusion-Controlled Solid State Reactions: in Alloys, Thin-Films, and Nano Systems / A. M. Gusak, Y. A. Lyashenko, S. V. Kornienko, M. O. Pasichnyy, A. S. Shirinyan, T. V. Zaporozhets // Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. – 476 с.
2. Tu K. N. Department Physics and materials challenges for lead-free solders / K. N. Tu, A. M. Gusak, M. Li // JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, – 93(3), – 2002. – P. 1335-1353
3. Liu Y. Ultra-thin intermetallic compound formation in microbump technology by the control of a low Zn concentration in solder / Y. Liu, L. Pu, A. Gusak, X. Zhao, C. Tan, K. N. Tu // Materialia, Vol. 12, – 2020, 100791
4. Yang S. C. Analysis and Experimental Verification of the Volume Effect in the Reaction Between Zn-Doped Solders and Cu / S. C. Yang, Y. W. Wang, C. C. Chang, C. R. Kao // Journal of ELECTRONIC MATERIALS, – Vol. 37 (10), – 2008, P. 1591-1597.
5. Yang S. C. Strong Zn concentration effect on the soldering reactions between Sn-based solders and Cu / S. C. Yang, C. E. Ho, C. W. Chang, C. R. Kao // J. Mater. Res, – Vol. 21 (10), – 2006, P. 2436-2439
6. Pstrus J. Early stages of wetting of copper by Sn–Zn eutectic alloy / J. Pstrus // Journal of Materials Science: Materials in Electronics, – Vol. 29 – 2018, P. 20531–20545.
7. Chou Ch. Phase equilibria of the Sn–Zn–Cu ternary system / Ch. Chou, S. Chen // Acta Materialia, – 54, – 2006, P. 2393-2400.
8. Гусак А. М. Принцип максимальности производства энтропии при выборе пути эволюции диффузионно-взаимодействующих систем / А. М. Гусак, Ю. О. Ляшенко Общая схема и применение к твердофазным реакциям // Журнал функциональных материалов. – 1(5), – 2007, С.170-180.
9. Ляшенко Ю. О. Критерий пригнічення росту фази в потрійній системі на основі принципу максимальності виробництва ентропії / Ю. О. Ляшенко, S. Chen // Вісник Черкаського університету. Серія «Фізико-математичні науки», – 114, – 2007, P. 47-55.
10. Lyashenko Yu. A. Suppression criterion of the phase growth based on extremal principles of nonequilibrium thermodynamics / Yu. A. Lyashenko // Defect and Diffusion Forum, – Vol. 277, – 2008, P. 39-46

Науковий керівник: д.ф.-м.н., професор кафедри фізики Ляшенко Ю.О.

Коломієць Д. І.

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

ФОРМУВАННЯ НАНОВОЛОКОН ОКСИДІВ МЕТАЛІВ ШЛЯХОМ ІНТЕНСИВНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

Протягом останнього десятиліття одновимірні наноструктури, такі як нанотрубки та нановолокна, привернули надзвичайну увагу своїми новими фізичними властивостями та потенційними застосуваннями при побудові нанорозмірних електронних та оптоелектронних пристроїв оскільки це відкриває спектр технологічних можливостей застосування в таких напрямках як електроніка, фотоніка, накопичення енергії тощо [3]. Досі різноманітні одновимірні наноструктури з різними морфологіями та складом успішно виготовляли за допомогою таких методів як дуговий розряд, використання великих тисків, термічного випаровування тощо [2].

Наноструктури у вигляді нанопоясів були успішно синтезовані для напівпровідникових оксидів цинку, олова, індію, кадмію та галію шляхом простого випаровування бажаних комерційних оксидних порошоків при високих температурах [1-4]. Синтезовані оксидні нанопояси є чистими, структурно однорідними та монокристалічними і більшість із них не містить дефектів та дислокацій. Вони мають переріз із типовою шириною від 30 до 300 нанометрів, співвідношенням ширини до товщини від 5 до 10 і довжиною до декількох міліметрів.