

Раніше було встановлено, що тантал чинить стабілізуючу дію на наноструктурний стан мідної матриці, як при механічному [1], так і при температурному впливі [2]. Існує тому декілька причин, але яка з них є домінуючою - питання дискусійне. Однією з них вважається формування насичених 2d структур на границях зерен[3]. Тому у роботі досліджено вплив термічної обробки на розподіл танталу в об'ємі вакуумних конденсатів міді. Об'єктами досліджень були фольги Cu-0,35ат%Ta товщиною до 50мкм, отримані електронно-променевим випаром компонентів у вакуумі  $\sim 10^{-3}$  Па з подальшою конденсацією з парової фази на неорієнтовану (сіталову) підкладку при температурі 450°C. Для вивчення впливу температури проведений ізотермічний відпал при 800°C впродовж 30 хвилин. Дослідження та порівняння структури проводилося методами електронної мікроскопії. Вміст танталу реєстрували рентгеноспектральним аналізом.

Встановлено, що у похідному стані Ta присутній у двох структурних модифікаціях - звичайній для танталу ОЦК решітки та не властивій в інших умовах ГЦК кристалічної ґратки. Присутність останньої може бути пояснено двома шляхами: структурний [4] та розмірний. Останній заключається у термодинамічному стимулі нанорозмірних структур формувати найбільш щільноупаковані структури за для зниження поверхневої енергії. У похідному стані рефлекси фаз 220Cu||311Ta ГЦК та 111Cu||200Ta ГЦК лежать майже на одному дифракційному векторі, що може бути свідомством формування когерентного зв'язку. Кут між векторами на яких лежать ці рефлекси дорівнює приблизно 1°. Комп'ютерне моделювання сполучення цих кристалічних ґраток свідчить, що атоми Ta частково потрапляють у адсорбційні комірки між атомами міді, що позитивно впливає на силу зв'язку між цими кристалічними площинами. Після відпалу 800 °C впродовж 30 хвилин на електронограмі зразку серед рефлексів Ta починає домінувати випадкова для тугоплавкої домішки ОЦК фаза. Тобто в процесі термічної обробки відбувається коалісценція атомів Ta, який формує частки власної фази. Також після відпалу на електронограмі з'являються дальні рефлекси танталу - лінія 220 Ta ГЦК.

Таким чином, під час конденсації парової суміші міді з 0,35 ат % танталу у вакуумі, атоми танталу схильні до сегрегування на границях зерен, що мають високу поверхневу енергію, а також до формування сильного когерентного зв'язку з матрицею міді, який не руйнується остаточно навіть після відпалу при температурі 800°C упродовж 30 хвилин, що складає 0,8T<sub>пл</sub> міді.

### **Література:**

1. Darling, K. A., et al. "Nanocrystalline material with anomalous modulus of resilience and springback effect." *Scripta Materialia* 141 (2017): 36-40.
2. Kale, C., et al. "Thermo-mechanical strengthening mechanisms in a stable nanocrystalline binary alloy—A combined experimental and modeling study." *Materials & Design* 163 (2019): 107551.
3. Zubkov, A. I., et al. "Structure of vacuum Cu–Ta condensates." *Physics of Metals and Metallography* 118 (2017): 158-163.
4. Рябоштан, В. А., Зубков, А. І., Соболев, О. В., Жадько, М. О., & Губанова, А. В. (2020). Вплив температури осадження на структуру та величину коефіцієнта Холу-Петчу конденсатів Cu-Mo. In *“Актуальні проблеми міцності”* (pp. 168-170).