

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 1, 2 представлены концентрационные зависимости условного размера зерна ( $L$ ) медной матрицы псевдосплавов, полученных

© А. И. ЗУБКОВ, М. А. ГЛУЩЕНКО, А. А. ОСТРОВЕРХ, 2012

при различных температурах подложки ( $T$ ) и скоростях осаждения ( $V_k$ ). Из представленных данных следует, что при всех технологических условиях получения резкое снижение величины  $L$  происходит при концентрациях молибдена менее одного атомного процента. Дальнейшее увеличение содержания молибдена не приводит к уменьшению размера зерна и зависимости  $L - f(C)$  выходят на насыщение. Повышение температуры подложки при постоянной скорости конденсации приводит к увеличению минимально достигаемого размера зерна с 0,13 мкм до 0,18 мкм и уменьшению концентрации молибдена, соответствующего точке перегиба зависимости  $L - f(C)$ , с 0,55 ат. % до 0,37 ат. % (рис.1).

Скорость осаждения оказывает противоположное влияние. Ее снижение приводит к увеличению  $L_{min}$  с 0,18 мкм до 0,25 мкм и увеличению концентрации молибдена, соответствующего точке перегиба, с 0,37 ат. % до примерно 0,7 ат. % при  $T_2 = const$  (рис.2).

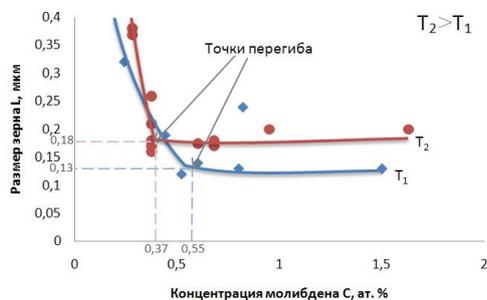


Рис.1 - Концентрационные зависимости размера зерна псевдосплавов Cu-Mo, полученных при температурах подложки  $T_1$  и  $T_2$  ( $V_{k1} = const$ )

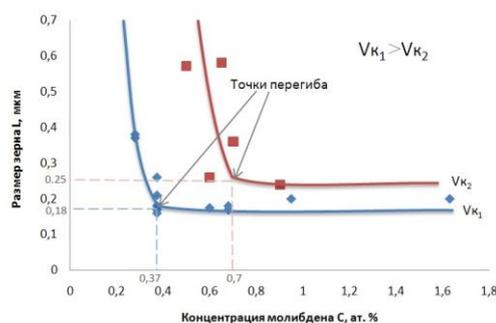


Рис.2 - Концентрационные зависимости размера зерна псевдосплавов Cu-Mo, полученных при разных скоростях осаждения –  $V_{k1}$  и  $V_{k2}$  ( $T_2 = const$ )

Эти результаты указывают, что максимальная эффективность диспергирования зеренной структуры конденсатов меди достигается при ее легировании молибденом до одного атомного процента. Варьирование температуры осаждения и скорости конденсации приводит к незначительному изменению величины зерна медной матрицы. Отметим, что размер зерна нелегированных конденсатов меди, полученных при температурах подложки  $T_1$  и  $T_2$  (скорость конденсации –  $V_{k2}$ ), составляет 1,3 и 2,3 мкм соответственно.

Электронно-микроскопические изображения структуры псевдосплавов с концентрацией молибдена, соответствующей ниспадающей ветви зависимости  $L - f(C)$  (рис.3), свидетельствуют об отсутствии частиц второй фазы в объеме медной матрицы. Отметим, что согласно данным работы [4] при этих концентрациях молибдена не наблюдается изменения периода кристаллической решетки медной матрицы, что указывает на отсутствие растворимости молибдена в ГЦК

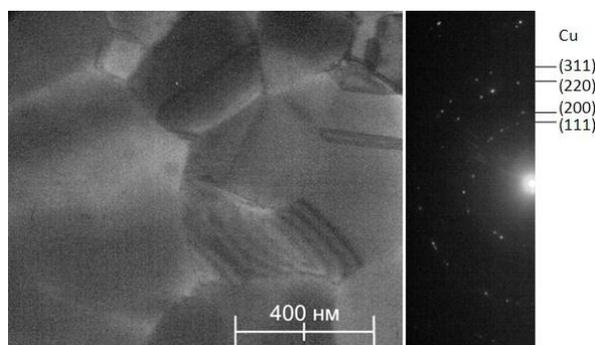


Рис.3 - Электронно-микроскопические изображения структуры псевдосплавов, соответствующие ниспадающей ветви зависимости  $L - f(C)$

кристаллической решетке меди. Структура псевдосплавов с концентрацией молибдена, соответствующей горизонтальному участку концентрационной зависимости, является двухфазной (рис.4). При таких концентрациях молибдена период кристаллической решетки меди имеет повышенное значение [4], указывающее на формирование аномальных пересыщенных растворов молибдена в кристаллической решетке меди.

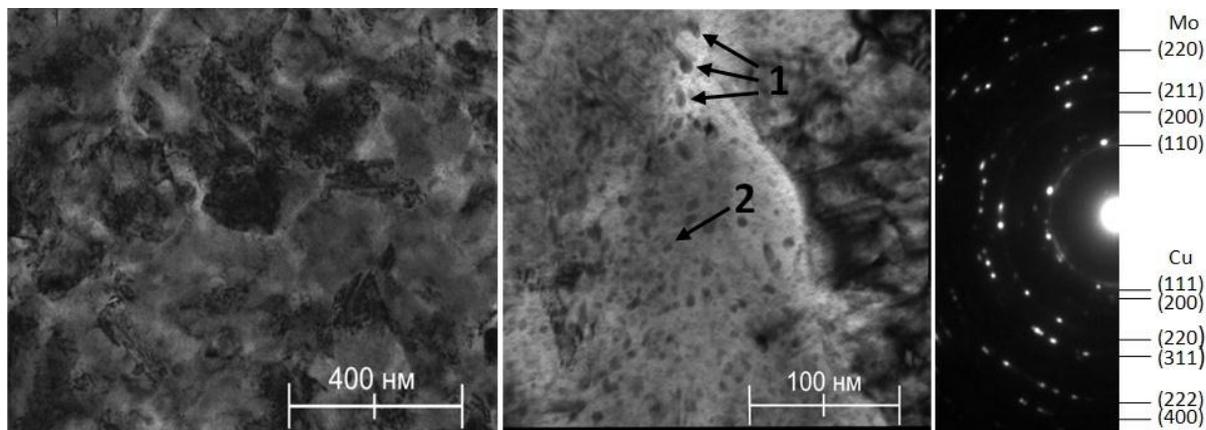


Рис.4 - Электронно-микроскопические изображения структуры псевдосплавов, соответствующие горизонтальному участку зависимости  $L - f(C)$ : 1 – частицы Mo на границах зерен меди, 2 – в объеме зерна

Таким образом, представленные результаты позволяют предположить, что в образцах с содержанием молибдена, которое соответствует ниспадающей ветви зависимости  $L - f(C)$ , весь молибден находится в границах зерен в виде сегрегаций. При большей его концентрации происходит формирование аномального раствора на основе меди и частиц ОЦК молибдена в объеме матрицы.

Следовательно, содержание молибдена в точках выхода зависимости на горизонтальный участок есть то его количество, которое достаточно для полного блокирования роста зерен медной матрицы при конденсации двухкомпонентного пара меди и молибдена. Расчет, проведенный по методике, предложенной в работе [5], показывает, что это количество атомов молибдена способно образовать 0,7 – 1,7 монослоя на поверхности растущих зерен меди в зависимости от используемых в работе температур и скоростей осаждения (рис.5). Эти результаты, а также данные работы [6], свидетельствующие о высоком значении теплоты адсорбции меди на молибдене, составляющей 1,4 ЭВ, дают основания предполагать, что сегрегации молибдена на поверхности растущих зерен меди образуются по механизму монослойной адсорбции [7].

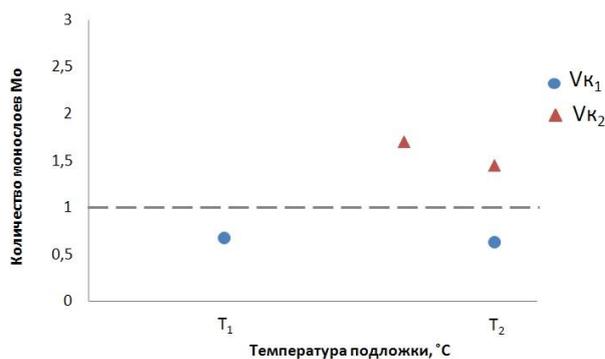


Рис. 5 -Количество молибдена, достаточное для блокирования роста зерен медной матрицы при конденсации двухкомпонентного пара Cu-Mo

Поверхностная активность атомов молибдена по отношению к меди, проявляющаяся при конденсации двухкомпонентного пара, приводящая к нарушению принципа А.А.Жуховицкого[8], связана, по-видимому, с отсутствием растворимости молибдена в кристаллической решетке меди в равновесных условиях. Отметим, что нарушение этого принципа наблюдается при межкристаллитной внутренней адсорбции примесей в сплавах металлургического происхождения [9].

Таким образом, при получении обогащенных медью псевдосплавов Cu-Mo PVD-технологией молибден для меди, согласно концепции [9], является полезной примесью, позволяющей измельчать зеренную структуру медной матрицы до нано- и субмикрометровой размерности и сохранять ее при последующем нагреве до высоких температур [10].

**Заключение.** Экспериментальные результаты, полученные в данной работе, и имеющиеся литературные данные свидетельствуют о том, что диспергирование зеренной структуры медной матрицы при конденсации обогащенного медью двухкомпонентного пара Cu-Mo обусловлено образованием сегрегаций молибдена на поверхности растущих зерен меди. Полное блокирование их роста происходит при содержании молибдена в псевдосплаве достаточном для формирования его атомами монослоя на их поверхности. Эти сегрегации повышают когезионную прочность и снижают поверхностную энергию границ зерен медной матрицы псевдосплавов, полученных PVD-технологией.

**Список литературы:** 1. *Ерошенко И. Г.* Диаграммы состояния металлических систем / *И. Г. Ерошенко, А. М. Захаров, В. Г. Оленичева* // вып. XXII. – М.: Металлургия, 1983. – 421 с. 2. *Минакова Р. В.* Электродные материалы для контактной точечной сварки. Пути повышения ее эффективности. / *Р. В. Минакова, О. П. Василега, Г. Е. Копылова, Н. И. Гречанюк, А. А. Хрипливый, В. А. Аношин, В. М. Ильюшенко* // Электрические контакты и электроды. Киев: Институт проблем материаловедения, 2008. – С. 1 – 7. 3. *Аношин В. А.* Жаропрочные материалы на основе меди. Способы получения. Свойства. Применение. / *В. А. Аношин, В. М. Ильюшенко, Р. В. Минакова, О. И. Баньковский, О. П. Василега, Е. П. Шалунов, А. Л. Матросов* // Электрические контакты и электроды. Киев: Институт проблем материаловедения, 2010. С. 212 – 219. 4. *Зубков А. И.* Структура и прочность нанофазных конденсатов Cu-Mo / *А. И. Зубков, Ю. В. Панова* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Збірник праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. 2011 №24. – С. 93 – 98. 5. *Зубков А. И.* О модифицирующем влиянии молибдена на вакуумные конденсаты меди / *А. И. Зубков, А. А. Островерх* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Збірник праць, 2012. – С. 155-159. 6. *Yee-Wen Yen, Yu-Lin Kuo, Jian-Yu Chen, Chiayng Lee, Chung-Yu Lee.* Investigation of thermal stability of Mo thin-films as the buffer layer and various Cu metallization as interconnection materials for thin film transistor-liquid crystal display applications // Thin Solid Films Volume 515, Issue 18, 25 June 2007. – P. 7209-7216. 7. *Зенгуил Э.* Физика поверхности / *Э. Зенгуил.* – М: Издательство Мир, 1990. – 530 с. 8. *Жуховицкий А. А.* Физическая химия / *А. А. Жуховицкий., Л. А. Шварцман.* – М: Металлургия, 1964. 9. *Гликман Е. Э.* / Равновесная сегрегация на границах зерен и интеркристаллитная хладноломкость твердых растворов / *Е. Э. Гликман, Р. Э. Брувер* // Металлофизика 3, 42, 1972. – С. 42-63. 10. *Зубков А. И.* Термическая стабильность наноконпозигов, кристаллизуемых в вакууме / *А. И. Зубков* // Вестник Тамбовского университета. – 2010. – Т. 15, №3. – С. 846-848

*Надійшла до редколегії 20.11.2012*

УДК 669.187.001.2

**Структура вакуумных псевдосплавов Cu-Mo. Влияние концентрации молибдена и условий конденсации / А. И. Зубков, М. А. Глущенко, А. А. Островерх** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. – № 66 (972). – С. 186-189 – Бібліогр.: 10 назв.

Досліджена структура конденсатів Cu-Mo, отриманих електронно-променевим випаровуванням компонентів з різних джерел і подальшою кристалізацією сумішей їх пари на неорієнтованих підкладках у вакуумі  $\sim 1 \cdot 10^{-3}$  Па (PVD-технологія). Показано, що диспергування зеренної структури мідної матриці обумовлене утворенням сегрегаций молибдену на поверхні зростаючих зерен міді. Визначена кількість молибдену, яка повністю блокує зростання зерен мідної матриці.

**Ключові слова:** конденсація, вакуум, псевдосплав, сегregaція.

The problem under investigation is the structure of Cu-Mo runbacks that were got by cathode-ray evaporation of components from different sources and subsequent crystallization of mixtures of their steams on nonorienting substrates in a vacuum  $\sim 1 \cdot 10^{-3}$  Pa (PVD-technology). It is shown that dispergating of the grain structure of copper matrix is caused by formation of molybdenum segregations on the surface of the

growing copper grains. The amount of molybdenum that fully blocks the height of grains of copper matrix is determined.

**Keywords:**condensation, vacuum, pseudoalloy, segregation.