

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ И МОРФОЛОГИЯ НАНОПОКРЫТИЙ СПЛАВОВ В СИСТЕМЕ Re-Cu-Se

Э.А. Салахова, Д.Б. Тагиев, М.А. Рамазанов, З.А. Агамалиев, П.Э. Калантарова, К.Ф. Ибрагимова

Эльза Абдулазиз кызы Салахова *, Дилгам Бабир оглу Тагиев, Парвана Эюб кызы Калантарова, Камала Фархад кызы Ибрагимова

Институт катализа и неорганической химии им. М. Нагиева, АНАН, пр. Г. Джавида, 113, Баку, Азербайджан, AZ1143

E-mail: elza_salahova@mail.ru*, director@kqki.science.az, parvana.kalantarova@mail.ru, kamala_ibrahimova@mail.ru

Мамедали Ахмед оглу Рамазанов, Зохраб Адалят оглу Агамалиев

Факультет физической химии наноматериалов, Бакинский государственный университет, ул. Акад. З. Халилова, 23, Баку, Азербайджан, AZ1143

E-mail: mamed_r50@mail.ru, a-zohrab@hotmail.com

Изучено электрохимическое получение нанопокрывтий сплавов в системе Re-Cu-Se на платиновом электроде при вольтамперометрическом циклировании. Исследование проводилось из сернокислого раствора, содержащего селенистую кислоту, перренат калия и медь хлористую. Для получения нанопокрывтий в системе Re-Cu-Se нами был использован электролит следующего состава (моль/л): $6,9 \cdot 10^{-4} - 6,9 \cdot 10^{-3} \text{KReO}_4 + 9 \cdot 10^{-4} - 1,8 \cdot 10^{-2} \text{SeO}_2 + 6 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-2} \text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}_2\text{SO}_4$, $t=80 \text{ }^\circ\text{C}$; $V=0,005 \text{VS}^{-1}$; $\text{pH}=0,1$, электрод – Pt. На основании исследования вольтамперных зависимостей при совместном электровосстановлении ионов рения (VII), селена (IV) и меди (II) из сернокислых электролитов на Pt электроде были установлены условия осаждения нанопокрывтий сплавов в системе Re-Cu-Se. Для изучения морфологии пленок на платиновой и медной подложках поверхность электрода была исследована на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM7600F при различных увеличениях, а также соответственно была подвержена элементному анализу с помощью детектора Oxford X-MAX 50. Сканирование образца проводили в режиме вторичных электронов при ускоряющем напряжении ~15 кэВ. Установлено, что на поверхности электрода наблюдаются агломераты, в основном состоящие из сферобразных частиц средним размером ~20-25 нм. Спектр характеристического рентгеновского излучения указывает на наличие указанных компонентов системы, позволяет провести количественный анализ образцов. На основании диаграммы распределения по весовому проценту, содержание компонентов системы представляется следующим соотношением: Re-12%, Cu-5%, Se-10%. Присутствие характерных пиков углерода и кислорода в спектре объясняется остаточными явлениями в ходе получения.

Ключевые слова: электроосаждение, нанопокрывтия, халькогениды рения, тонкие пленки, циклическая вольтамперометрия

ELECTROCHEMICAL OBTAINING AND MORPHOLOGY OF ALLOYS' NANOCOVERINGS IN SYSTEM Re-Cu-Se

E.A. Salakhova, D.B. Tagiyev, M.A. Ramazanov, Z.A. Agamaliyev, P.E. Kalantarova, K.F. Ibrahimova

Elza A. Salakhova *, Dilgam B. Tagiyev, Parvana E. Kalantarova, Kamala F. Ibrahimova

Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after M.Nagiyev, ANAS, H. Javid ave., 113, Baku, AZ1143, Azerbaijan,

E-mail: elza_salahova@mail.ru *, director@kqki.science.az, parvana.kalantarova@mail.ru, kamala_ibrahimova@mail.ru

Mamedali A. Ramazanov, Zohrab A. Agamaliyev

Department of Physic Chemistry for Nanomaterials, Baku State University, Acad. Z. Khalilov st., 23, Baku, AZ1143, Azerbaijan

E-mail: mamed_r50@mail.ru, a-zohrab@hotmail.com

Electrochemical obtaining of nano-coatings in the system Re-Cu-Se on platinum electrode during voltammetric cycling was studied. The research was carried out using sulphate solution containing selenium dioxide, potassium perrenate and copper chloride. For obtaining nano coatings in the Re-Cu-Se system, we used an electrolyte of the following composition (mol/l): $6.9 \cdot 10^{-4} - 6.9 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4 + 9 \cdot 10^{-4} - 1.8 \cdot 10^{-2} \text{ SeO}_2 + 6 \cdot 10^{-4} - 1.2 \cdot 10^{-2} \text{ CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2 \text{ H}_2\text{SO}_4$, $t = 80 \text{ }^\circ\text{C}$; $V = 0.005 \text{ VS}^{-1}$; $\text{pH} = 0.1$, electrode - Pt. Based on the studying of the volt-ampere dependences during the joint electroreduction of rhenium (VII), selenium (IV) and copper (II) ions from sulfate electrolytes on a Pt electrode, the conditions for the deposition of alloys nanocoatings in the Re-Cu-Se system were established. To study the morphology of films on platinum and copper substrates, the electrode surface was studied using a JEOL JSM7600F scanning electron microscope at various magnifications, and was accordingly subjected to elemental analysis using an Oxford X-MAX 50 detector. The sample has been scanned in the mode of secondary electrons at an accelerating voltage $\sim 15 \text{ keV}$. It has been found that agglomerates are observed on the electrode surface, mainly consisting of sphere-shaped particles with an average size of $\sim 20\text{-}25 \text{ nm}$. The spectrum of characteristic X-ray radiation indicates the presence of these components of the system, allows quantitative analysis of samples. Based on the presented distribution diagram by weight percent, the content of system components is represented by the following ratio: Re-12%, Cu-5%, Se-10%. The presence of characteristic peaks of carbon and oxygen in the spectrum is explained by residual phenomena during obtaining.

Key words: nanotechnology, nano films, electrochemical method, chalcogen, rhenium clusters

Для цитирования:

Салахова Э.А., Тагиев Д.Б., Рамазанов М.А., Агамалиев З.А., Калантарова П.Э., Ибрагимова К.Ф. Электрохимическое получение и морфология нанопокровов сплавов в системе Re-Cu-Se. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 2. С. 34–40

For citation:

Salakhova E.A., Tagiyev D.B., Ramazanov M.A., Agamaliyev Z.A., Kalantarova P.E., Ibrahimova K.F. Electrochemical obtaining and morphology of alloys' nanocoatings in system Re-Cu-Se. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [ChemChemTech]. 2021. V. 64. N 2. P. 34–40

ВВЕДЕНИЕ

Нанотехнология является чрезвычайно сложной, междисциплинарной наукой, объединяющей воедино усилия физиков, химиков, математиков, биологов, специалистов в области медицины и вычислительной техники.

Анализ публикаций по данной тематике и темпов внедрения фундаментальных и поисковых разработок позволяет сделать вывод о том, что в ближайшие 20 лет использование нанотехнологии и наноматериалов будет являться одним из определяющих факторов научного, экономического и оборонного развития государств [1-4].

Твердофазные пленки халькогенидов металлов в течение многих лет являются предметом интереса, главным образом, из-за их возможного применения для преобразователей солнечной энергии, солнечных батарей, фотопроводников, сенсоров и т.п. [5-8]. Среди халькогенидов металлов селениды и сульфиды рения являются полупроводниками, которые широко используются в фотодетекторах и фотосопротивлениях. Тонкие пленки

селенидов и сульфидов рения привлекают внимание многочисленных исследователей из-за дешевизны, доступности и полупроводниковых свойств [8-10].

Уникальные физические и химические свойства рения делают этот металл перспективным для использования в различных областях промышленности, таких как авиация, производство ракетных двигателей, ядерная энергетика, электроника, биомедицина и гетерогенный анализ.

Исследования процесса электроосаждения рения и его сплавов имеют как практический, так и теоретический интерес. Практическое значение исследований в этой сфере связано, в первую очередь, с ростом объема производства рения, с решением задач получения рения из растворов в виде чистого металла или сплавов, а также с выяснением возможностей использования рения и его сплавов в качестве гальванических покрытий специального назначения.

Тонкие покрытия халькогенидов рения – наиболее перспективный материал для преобразователей солнечной энергии. Благодаря своим уни-

кальным свойствам: высокому коэффициенту поглощения, ширине запрещенной зоны, обеспечивающей возможность преобразования солнечного света в фототок – халькогениды рения могут найти широкое применение для изготовления солнечных тонкопленочных элементов.

Для осаждения тонких пленок халькогенидов рения использовался ряд методов. Однако наиболее дешевым и технологичным является метод электроосаждения. Он происходит в одну стадию, осуществляется при пониженных температурах, не превышающих 90 °С, имеет низкую стоимость. К настоящему времени имеются несколько работ по электроосаждению тонких пленок Re-X (X = S, Se и Te), нами был изучен процесс электроосаждения тонких пленок халькогенидов рения из различных электролитов [9-14]. В качестве электролита в работе при получении двойных сплавов применялись сульфатные, хлоридно-сульфатные, хлоридно-боратные, щелочные и тиомочевинные растворы, содержащие различные концентрации рения и халькогена (S, Se, Te).

Сплавы халькогенидов рения являются полупроводниковыми материалами, широко используемыми в современной технике, их применение в различных областях техники обусловлено их физико-химическими и электрофизическими свойствами. Практическое применение полупроводниковых соединений становится чрезвычайно актуальным для разработки научного метода синтеза новых полупроводниковых покрытий с заранее заданными свойствами. Большие возможности для получения полупроводниковых материалов с «запрограммированными свойствами» открывает физико-химический анализ полупроводниковых систем. При его помощи исследуются электрофизические, оптические и другие свойства [14-18]. Однако, как двойные, так и тройные сплавы рения имеют широкие области применения. Потому перед учеными в этой области стоит вопрос о разработке методов получения новых двойных и тройных сплавов [19-25].

Для исследования закономерностей осаждения нано покрытий сплавов в системе Re-Se-Cu и более подробного изучения кинетики и механизма совместного разряда всех компонентов нами было изучено отдельно осаждение как рения, так и селена и меди из кислого электролита, данные которых были опубликованы в работе [20]. Поэтому было необходимо подробное исследование в области электроосаждения многокомпонентных полупроводниковых материалов, которое позволит создать новые материалы и новые структуры.

Целью настоящей работы является получение электрохимическим методом нанопокрываний в системе Re-Cu-Se из сульфатного электролита и исследование морфологии и структуры этих полученных нанопокрываний.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве рабочего электрода были использованы электроды из платины и меди с видимой поверхностью 0,07 см². Трехэлектродная ячейка содержала исследуемый электрод, вспомогательный платиновый электрод площадью 4 см² и хлорсеребряный электрод сравнения. Все значения потенциалов приведены относительно этого электрода. Вольтамперные кривые снимали без перемешивания. Осаждение пленок для исследования структуры и состава проводили на Pt, Cu, Ni подложках площадью 2,0 см². Рабочая температура при электроосаждении 80 °С, время осаждения от 30 до 60 мин.

Исследование проводилось из сернокислого раствора, содержащего селенистую кислоту, перренат калия и медь хлористую. Для получения нанопокрываний в системе Re-Cu-Se нами был использован электролит следующего состава (моль/л): $6,9 \cdot 10^{-4} - 6,9 \cdot 10^{-3}$ KReO₄ + $9 \cdot 10^{-4} - 1,8 \cdot 10^{-2}$ SeO₂ + $6 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-2}$ CuCl₂·2H₂O + 2H₂SO₄, t = 80 °С; V = 0,005VS⁻¹; pH = 0,1, электрод – Pt. Кинетика процессов контролировалась при помощи измерений методом циклической вольтамперметрии на приборе IVIUMSTAT. Для определения морфологии пленок на платиновой и медной подложках поверхность электрода была исследована на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM7600F при различных увеличениях, а также соответственно была подвержена элементному анализу с помощью детектора Oxford X-MAX 50. Сканирование образца проводили в режиме вторичных электронов при ускоряющем напряжении ~15 кЭв. Для анализа катодный осадок растворялся при нагревании в концентрированной HNO₃. Количество меди определялось отдельно атомно-абсорбционным спектрофотометром AAS-1N фирмы Cari Leiss Lean. Количество рения и селена определяли также отдельно тиомочевинным комплексом колориметрическим методом на приборе SPECORD 50 PIUS.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Механизм процесса электроосаждения сплавов Re-Cu-Se и разработка теории формирования тройных сплавов имеет большое научное и практическое значение. В работе представлены данные, относящиеся к образованию слоев тонких пленок Re-Cu-Se на платиновом электроде.

Для того, чтобы проследить за ходом электрохимических реакций в растворе и подобрать область потенциалов для осаждения Re-Cu-Se, был использован метод циклической вольтамперометрии, и кривые снимались в катодном направлении.

В предыдущих работах [20] нами было изучено совместное электроосаждение сплава Re-Cu-Se из сульфатного электролита, поэтому в данной работе нет необходимости представить данные, относящиеся к образованию тонких пленок на платиновом электроде. На основании описанных в этой статье данных [20] была предложена предварительная модель механизма электроосаждения тонких покрытий Re-Cu-Se. Здесь можно отметить три основных электрохимических стадии:

I стадия – адсорбция и восстановление ионов селена на поверхности платинового электрода; II стадия – взаимодействие между ионами Cu^{2+} с адсорбированными соединениями селена с промежуточными степенями окисления; III стадия – образование сплава Re-Cu-Se. Ионы Cu^{2+} и Se^{4+} , реагируя с ионами рения, образуют нанопокрывтия сплавов в системе Re-Cu-Se [19].

Нужно отметить, что образование тонких покрытий Re-Cu-Se появляется в присутствии четко выраженного пика, который требует более детального исследования [20]. Анализ соответствующего электрохимического механизма представляет особый интерес как для теоретических, так и для прикладных работ. Особенно важно научиться контролировать морфологию и стехиометрию электрохимических осадков сплава Re-Cu-Se.

При выбранных соотношениях концентраций компонентов в электролите и потенциале проведено потенциостатическое осаждение тонких пленок Re-Cu-Se на платиновом и на медном электродах площадью 2 см^2 при температуре $80 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 ч (при потенциале $0,5 \text{ V}$). После электроосаждения образцы промывали дистиллированной водой и отжигали в течение 10 мин на воздухе при температуре $410 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для определения степени получения нанопокрывтия сплавов Re-Cu-Se и совместного осаждения основных компонентов на платиновом (для примера) электроде, поверхность электрода была исследована на сканирующем электронном микроскопе при различных увеличениях, а также, соответственно, была подвержена элементному анализу.

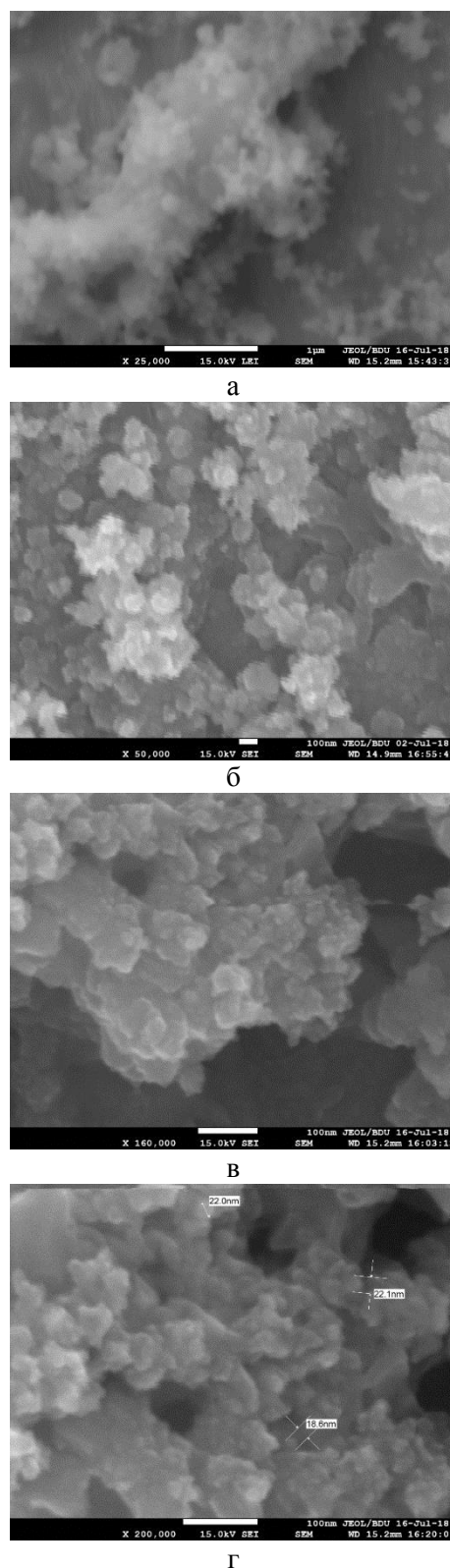


Рис. 1. Электронные изображения нано покрытий сплавов Re-Cu-Se на поверхности платинового электрода при увеличениях 25000 (а), 50000 (б), 160000 (в) и 200000 (г)
Fig. 1. SEM images of thin Re-Cu-Se nano-coatings on the surface of a platinum electrode at magnification of 25000(a), 50000 (б), 160000 (в), 200000 (г)

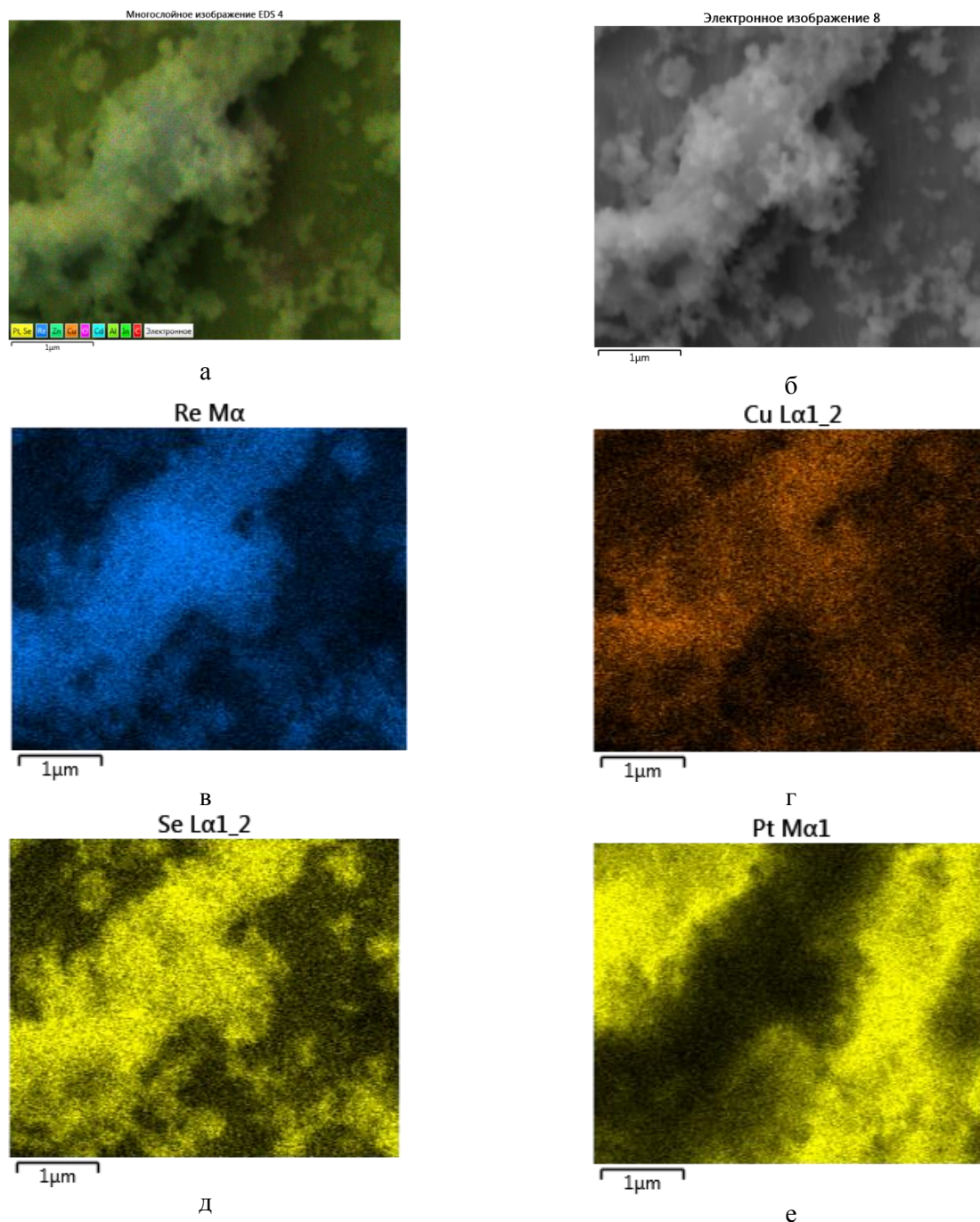


Рис. 2. Электронное изображение и карты распределения основных компонентов нано покрытий сплавов Re-Cu-Se на поверхности платинового электрода (а-мультикарта, б-электронное изображение, в, г, д, е – распределение Re, Cu, Se и Pt в качестве подложки соответственно)

Fig. 2. Electronic image and distribution maps of the main component thin Re-Cu-Se nano-coatings on the surface of the platinum electrode (a-multicard, б-electronic image, в, г, д, е - distribution of Re, Cu, Se and Pt as a substrate, respectively)

Как видно из серии рис. 1, сделанных соответственно при увеличениях 25000 (а), 50000 (б), 160000 (в) и 200000 (г) раз, на поверхности электрода наблюдаются агломераты, в основном состоящие из сферообразных частиц со средним размером ~20-25 нм. Из СЭМ изображений видно, что на поверхности платиновой подложки агломераты

распределены равномерно. Этот факт также подтверждают карты распределения элементов на рисунке (а – мультикарта, б – электронное изображение, в, г, д, е – распределение Re, Cu, Se и Pt в качестве подложки соответственно). Как видно из карт, элементный состав наблюдаемых агломератов представлен основными компонентами сплава и позволяет сделать заключение, что полученные

кластеры являются элементами системы Re-Cu-Se, как и ожидалось в ходе технологического процесса. Спектр характеристического рентгеновского излучения указывает на наличие указанных компонентов системы, а также позволяет провести количественный анализ образцов. Было установлено, что по весовому проценту содержание компонентов системы представляется следующим: Re – 12%, Cu – 5%, Se – 10%. Присутствие характерных пиков углерода и кислорода в спектре объясняется остаточными явлениями в ходе получения.

ВЫВОДЫ

На основании исследования вольтамперных зависимостей при совместном электровосстановлении ионов рения (VII), селена (IV) и меди (II)

из сернокислых электролитов на Pt электроде, установлены условия осаждения нанопокровов сплавов в системе Re-Cu-Se.

Установлено, что на поверхности электрода наблюдаются агломераты, в основном состоящие из сферообразных частиц со средним размером ~20-25 нм.

Как видно из карт, элементный состав наблюдаемых агломератов представлен основными компонентами сплава и позволяет сделать заключение, что полученные кластеры являются элементами системы Re-Cu-Se, как и ожидалось в ходе технологического процесса.

Установлено, что по весовому составу содержание компонентов системы распределяется следующим образом: Re – 12%, Cu – 5%, Se – 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреевский Р.А. Наноструктурные материалы – состояние разработок и применение. *Перспектив. материалы*. 2001. № 6. С. 5–11.
2. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. М.: Изд-во «Машиностроение –1». 2003. С. 112.
3. Алымов М.И., Зеленский В.А. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов. М.: МИФИ. 2005. С. 52
4. Naor A., Eliaz N. Properties and applications of rhenium and its alloys. *Ammtiac Quarterly*. 2010. V. 5. N 1. P. 11-15. <http://ammtiac.alionscience.com/quarterly>
5. Enyashin A., Popov I. Stability and electronic properties of rhenium sulfide nanotubes. *Phys. State Solidi B*. 2009. 246. N 1. P. 114-118. DOI: 10.1002/P88b.200844254.
6. Berkh O., Eliaz N., Gileadi E. The Initial Stages of electro-deposition of Re-Ni Alloys. *J. Electrochem. Soc.* 2014. 161. N 5. P. D219-D226. DOI: 10.1149/2.0038405jes.
7. Gray T.G., Rudzinski C.M., Meyer E.E., Nocera D.G. Excited-State Distortion of Rhenium (III) Sulfide and Selenide Clusters. *J. Phys.Chem.* 2004. 108. N 16. P. 3238-3243. DOI: 10.1021/jp0358937.
8. Naor. A., Eliaz N. Electrodeposition of Alloys of Rhenium with Iron-Group Metals from Aqueous Solutions. *J. Electrochem. Soc.* 2010. 157. N 7. P. D422-D427. DOI: 10.1149/1.3430084.
9. Салахова Э.А. Электрохимическое осаждение тонких пленок системы рений-селен. *Неорганические материалы*. 2003. № 39. С. 142-146. DOI: 10.1023/A:1022178109180.
10. Салахова Э.А., Меджид-заде В.А. Электрохимическое получение тонких покрытий сплава рений-теллур из хлоридно-боратного электролита. *Электрохимия*. 2011. 47(8). С. 877-882. DOI: 10.1134/S1023193511080118.
11. Salakhova E.A., Aliyev A.M. Obtaining the thin semiconductive covering Re-Se from sulphate electrolyte. *J. Adv. Mater. Phys. Chem.* 2012. V. 2. N 4. P. 253-255. DOI: 10.4236/ampc.2012.24B064.
12. Salakhova E.A., Aliyev A.M., Ibragimova K.F. The obtaining of thin films Re-S from tiocarbamid electrolytes and influence of various factor s on the alloys composition. *J. Am. Chem. Sci.* 2014. V. 4. N 3. P. 338-348. DOI: 10.9734/ASCJ/2014/5878.
13. Salakhova E.A. The electrochemical production of thin films of rhenium chalcogenides. Germany, Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2014. 108 p.

REFERENCES

1. Adriyevskiy R.A. Nanostructural materials – position of developments and applying. *Perspektiv. Mater.* 2001. N 6. P. 5–11 (in Russian).
2. Golovin Yu.I. Introduction in nanotechnology. M.: Izd-vo «Mashinostroenie –1». 2003. 112 p. (in Russian).
3. Alymov M.I., Zelenskiy V.A. Obtaining methods and physics and mechanical properties of volumetric nanocrystalic materials. M.: MIFI. 2005. 52 p. (in Russian).
4. Naor A., Eliaz N. Properties and applications of rhenium and its alloys. *Ammtiac Quarterly*. 2010. V. 5. N 1. P. 11-15. <http://ammtiac.alionscience.com/quarterly>
5. Enyashin A., Popov I. Stability and electronic properties of rhenium sulfide nanotubes. *Phys. State Solidi B*. 2009. 246. N 1. P. 114-118. DOI: 10.1002/P88b.200844254.
6. Berkh O., Eliaz N., Gileadi E. The Initial Stages of electro-deposition of Re-Ni Alloys. *J. Electrochem. Soc.* 2014. 161. N 5. P. D219-D226. DOI: 10.1149/2.0038405jes.
7. Gray T.G., Rudzinski C.M., Meyer E.E., Nocera D.G. Excited-State Distortion of Rhenium (III) Sulfide and Selenide Clusters. *J. Phys.Chem.* 2004. 108. N 16. P. 3238-3243. DOI: 10.1021/jp0358937.
8. Naor. A., Eliaz N. Electrodeposition of Alloys of Rhenium with Iron-Group Metals from Aqueous Solutions. *J. Electrochem. Soc.* 2010. 157. N 7. P. D422-D427. DOI: 10.1149/1.3430084.
9. Salakhova E.A. Electrochemical Production of Thin Films of System Rhenium –Selenium Alloys. *Neorgan. Mater.* 2003. 39. P. 142-146 (in Russian). DOI: 10.1023/ A:1022178109180.
10. Salakhova E.A., Majidzade V.A. Electrochemical preparation of Thin Rhenium-Tellurium Coatings Chloride-Borate Electrolyte. *Electrokhimiya*. 2011. 47(8). P. 877-882 (in Russian). DOI: 10.1134/S1023193511080118.
11. Salakhova E.A., Aliyev A.M. Obtaining the thin semiconductive covering Re-Se from sulphate electrolyte. *J. Adv. Mater. Phys. Chem.* 2012. V. 2. N 4. P. 253-255. DOI: 10.4236/ampc.2012.24B064.
12. Salakhova E.A., Aliyev A.M., Ibragimova K.F. The obtaining of thin films Re-S from tiocarbamid electrolytes and influence of various factor s on the alloys composition. *J. Am. Chem. Soc.* 2014. V. 4. N 3. P. 338-348. DOI: 10.9734/ASCJ/2014/5878.
13. Salakhova E.A. The electrochemical production of thin films of rhenium chalcogenides. Germany, Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2014. 108 p.

14. **Salakhova E.A., Tagiyev D.B., Kalantarova P.E., Ibrahimova K.F.** Physico-chemical properties of thin rhenium chalcogenides coatings. *J. MSCE*. 2015. N 3. P. 82-87. DOI: 10.4236/msce.2015.311010.
15. **Salakhova E.A., Tagiyev D.B., Ibrahimova K.F., Kalantarova P.E.** The investigation of microstructure and the X-ray phase analysis of Re-X alloys (X=S,Se,Te). *J. Mater. Sci. Chem. Eng.* 2015. V. 3. 10. P. 1-8. DOI: 10.4236/msce.2015.310001.
16. **Сперанская Е.Ф.** В сб. Электрохимия рения. Алма-Ата: Изд-во «Гылым». 1990. 253 с.
17. **Дергачева М.Б., Чайкина В.Н.** Электроосаждение полупроводниковых пленок CuInSe₂ на стеклянный электрод из сернокислого электролита. *Приклад. химия*. 2008. Т. 81(4). С. 576-579. DOI: 10.1134/S1070427208040083.
18. **Дукстеене Н.** Осаждение покрытий тонких пленок Cu-CdSe. *Электрохимия*. 2003. 39. № 12. С. 1487-1493. DOI: 10.1023/B:RUEL.0000009100.11033.82.
19. **Naor Adi, Noam Eli.az, et al.** Direct Experimental Support for the Catalytic Effect of Iron-Group Metals on Electrodeposition of Rhenium. *Elec. Sol.-State Lett.* 2010. 13. N 12. P. D91-D93. DOI: 10.1149/1.3489532.
20. **Salakhova E.A., Tagiyev D.B., Kalantarova P.E., Ibrahimova K.F.** Electrodeposition of Re-Cu-Se alloys from sulphur acidic electrolytes. *Int. J. Curr. Res.* 2017. V. 9. N 01. P. 45406-45411. <http://www.journalcra.com>
21. **Chernishev A.A., Nocikov A.Y.** Formation of Thin Rhenium Films on Nickel Plate by its Chloride Electrolyte. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2019. N 14. P. 11456-11464. DOI: 10.20964/2019.12.17.
22. **De S., Sides W.D., Brusielas T., Huang Q.** Electrodeposition of superconducting rhenium-cobalt alloys from water in-salt electrolytes. *J. Electroanal. Chem.* 2020. V. 860. P. 113889. DOI: 10.1016/j.jelechem.2020.113889.
23. **Fischer C., AlonsoVante N., Fiescher S., Reck G., Schulz W.** Structure and photoelectrochemical properties of semi-conducting rhenium cluster chalcogenides: Re₆X₈Br₂ (X=S,Se). *J. Alloys Comp.* 1992. 178. P. 305-314. DOI: 10.1002/chin.199218010.
24. **Hahn B.P., Stevenson K.J.** Electrochemical synthesis and characterization of mixed molybdenum-rhenium oxides. *Electrochem. Acta.* 2010. V. 55. Iss. 22. P. 6917-6925. DOI: 10.1016/j.electacta.2010.05.001
25. **Лиханов М.С., Верченко В.Ю., Кузнецов А.Н., Шевельков А.** ReGa_{0,4}Ge_{0,6}: Интерметаллическое соединение с ярко выраженной ковалентностью в структуре сцепления. *Журн. Неорган. Химии*. 2019. 58. № 4. С. 2822-2832. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.8603468.
14. **Salakhova E.A., Tagiyev D.B., Kalantarova P.E., Ibrahimova K.F.** Physico-chemical properties of thin rhenium chalcogenides coatings. *J. MSCE*. 2015. N 3. P. 82-87. DOI: 10.4236/msce.2015.311010.
15. **Salakhova E.A., Tagiyev D.B., Ibrahimova K.F., Kalantarova P.E.** The investigation of microstructure and the X-ray phase analysis of Re-X alloys (X=S,Se,Te). *J. Mater. Sci. Chem. Eng.* 2015. V. 3. 10. P. 1-8. DOI: 10.4236/msce.2015.310001.
16. **Speranskaya E.F.** Electrochemistry of rhenium. Alma-Ata: Izd-vo "Gylym". 1990. 253 p. (in Russian).
17. **Dergacheva M.B., Chaykina V.V.** Electrodeposition of semi-conductive films CuInSe₂ on the glassy electrode from sulphur oxidic electrolites. *Zhurn. Priklad. Khim.* 2008. V. 81(4). P. 576-579 (in Russian). DOI: 10.1134/S1070427208040083.
18. **Duksteene N.** Deposition of thin films covering CuCdSe. *Elektrokhimiya*. 2003. 39 N 12. P. 1487-1493 (in Russian). DOI: 10.1023/B:RUEL.0000009100.11033.82.
19. **Naor Adi, Noam Eli.az, et al.** Direct Experimental Support for the Catalytic Effect of Iron-Group Metals on Electrodeposition of Rhenium. *Elec. Sol.-State Lett.* 2010. 13. N 12. P. D91-D93. DOI: 10.1149/1.3489532.
20. **Salakhova E.A., Tagiyev D.B., Kalantarova P.E., Ibrahimova K.F.** Electrodeposition of Re-Cu-Se alloys from sulphur acidic electrolytes. *Int. J. Curr. Res.* 2017. V. 9. N 01. P. 45406-45411. <http://www.journalcra.com>
21. **Chernishev A.A., Nocikov A.Y.** Formation of Thin Rhenium Films on Nickel Plate by its Chloride Electrolyte. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2019. N 14. P. 11456-11464. DOI: 10.20964/2019.12.17.
22. **De S., Sides W.D., Brusielas T., Huang Q.** Electrodeposition of superconducting rhenium-cobalt alloys from water in-salt electrolytes. *J. Electroanal. Chem.* 2020. V. 860. P. 113889. DOI: 10.1016/j.jelechem.2020.113889.
23. **Fischer C., AlonsoVante N., Fiescher S., Reck G., Schulz W.** Structure and photoelectrochemical properties of semi-conducting rhenium cluster chalcogenides: Re₆X₈Br₂ (X=S,Se). *J. Alloys Comp.* 1992. 178. P. 305-314. DOI: 10.1002/chin.199218010.
24. **Hahn B.P., Stevenson K.J.** Electrochemical synthesis and characterization of mixed molybdenum-rhenium oxides. *Electrochem. Acta.* 2010. V. 55. Iss. 22. P. 6917-6925. DOI: 10.1016/j.electacta.2010.05.001
25. **Likhanov M.S., Verchenko V.Yu., Kuznetsov A.N., Shevelkov A.** ReGa_{0,4}Ge_{0,6}: Intermetallic compound with pronounced covalence in the adhesion structure. *Zhurn. Neororg. Khim.* 2019. 58. 4. P. 2822-2832 (in Russian). DOI: 10.1021/acs.inorgchem.8603468.

Поступила в редакцию 01.08.2020
Принята к опубликованию 30.11.2020

Received 01.08.2020
Accepted 30.11.2020