Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 10

ТВЕРЬ 2018

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

www.physchemaspects.ru

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2018. – Вып. 10. – 708 с.

ISBN 978-5-7609-1395-1

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-1395-1

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2018

© Тверской государственной
университет, 2018

УДК536.7: 539.2:548:549

ДИФФУЗИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СИСТЕМЕ ПЛЕНКА ОЛОВА-НИКЕЛЬ

М.З. Лайпанов¹, А.Р. Манукянц², В.А. Созаев², Б.М. Хуболов³

¹ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева»
369202, КЧР, Карачаевск, ул. Ленина, 29

²ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)»
362021, РСО-Алания, Владикавказ, ул. Николаева, 44

³ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова»
360004, КБР, Нальчик, ул. Чернышевского, 173
sozaeff@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.427

Аннотация: В настоящей работе на никелевую подложку марки НП-2 напылялась пленка *Sn* в вакууме и были получены биметаллические композиции никель-олово. Методом растровой электронной микроскопии обнаружены эвтектические образования, возникающие на поверхности пленки олова вследствие диффузионного взаимодействия с никелевой подложкой. С использованием техники малоуглового рассеяния проведен рентгенофазовый анализ пленок олова.

Ключевые слова: биметаллические композиции, диффузионные взаимодействия, эвтектики, пленки.

1. Введение

Диффузионное взаимодействие может использоваться во многих практически важных технологических процессах [1]: жидкофазном спекании микро и нанопорошков, получении биметаллических систем [2], контактно-реактивной пайке, металлизации керамик и полупроводников и т.д. [3]. Сплавы олово-никель широко используются в качестве элементов трущихся деталей, в качестве анодных материалов литий-ионных аккумуляторов [4-7]. Сплавы более коррозионно-стойкие по сравнению с никелем и лучше паяются, что связано фазовым составом сплавов и наличием в них интерметаллидов Ni_3Sn_4 , Ni_3Sn_2 и $NiSn$. Поэтому сплавы изучаются, в том числе в рамках термодинамики [8].

2. Постановка задачи и обсуждение результатов

В настоящей работе пленка олова напыляется на подложку из никелевой фольги марки НП-2. Пленки олова напыляли на никелевые фольги методом термического испарения на установке УВН-3М. Подложки предварительно нагревали до 200 °С. Затем двухслойные пленки отжигались в вакууме 10^{-2} Па при температуре 200 °С в течение 1 часа. В процессе отжига между никелем и алюминием происходило диффузионное взаимодействие с образованием эвтектических структур. Далее морфология поверхности пленок изучалась на микроскопе Phenom. На

установке D2-PHASER с использованием техники малоуглового рассеяния проведен рентгенофазовый анализ пленок. Результаты исследований морфологии пленок Ni/Sn с помощью микроскопа Phenom показано на рис. 1-4.

Рис. 1. Фотография двухслойной композиции Ni/Sn до отжига. Увеличение $\times 12000$.

Рис. 2. Сферические фазы на отдельных участках пленки олова. Увеличение $\times 1950$.

На рис. 1 показана фотография двухслойной композиции Ni/Sn до отжига. На отдельных участках пленок олова (см. рис. 2, 3) образуются сферические фазы. Далее проводился отжиг биметаллических композиций

Ni/Sn при $200^{\circ}C$ в вакууме. На поверхности пленок образуются эвтектические структуры (см. рис. 4).

Рис. 3. Фотография сферической фазы Ni/Sn после отжига. Увеличение $\times 14000$.

Рис. 4. Фотография эвтектического участка Ni/Sn . Увеличение $\times 7000$.

Рентгенофазовый анализ образца также указывает на то, что образуются эвтектические фазы $NiSn$, появление которых указывает на контактное плавление при диффузионном взаимодействии олова и никеля (см. рис. 5, 6 и данные Таблиц 1, 2).

Рис. 5. Диаграмма рентгенофазового анализа системы Ni/Sn : 1 – Ni , 2 – Ni , 3 – $NiSn$, 4 – Sn . Пленка олова напылена при комнатной температуре. Длина волны $1,54060\text{\AA}$.

Рис.6. Диаграмма рентгенофазового анализа системы Ni/Sn : 1 – Ni , 2 – Ni , 3 – $NiSn$, 4 – Sn . Пленка олова напылена при $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Длина волны $1,54060\text{\AA}$.

**Физико-химические аспекты изучения кластеров,
наноструктур и наноматериалов**

Таблица 1. Результаты рентгенофазового анализа (пленка олова напылена при комнатной температуре)

Формула	I / I_c	Система	Группа	$a, \text{\AA}$	$c, \text{\AA}$	z	Объем, $(\text{\AA})^3$
<i>Ni</i>	10,110	Кубическая	Fm-3m (225)	3,55870	-	4	45.07
<i>Ni / Sn</i>	12,510	Гексагональная	P63mc (186)	4,04800	5,12300	-	72.70
<i>Sn</i>	18,480	Кубическая	Fm-3m (225)	5,81970	-	-	197.11

* Нормированная интенсивность по данным прибора D2-PHASER.

Здесь a, c – параметры решетки, z – первое координационное число.

Таблица 2. Результаты рентгенофазового анализа (пленка олова напылена при 200 °С)

Формула	I / I_c	Система	Группа	$a, \text{\AA}$	$c, \text{\AA}$	z	Объем, $(\text{\AA})^3$
<i>Ni</i>	10,110	Кубическая	Fm-3m (225)	3,56200	-	4	45,19
<i>Ni / Sn</i>	10,110	Кубическая	Fm-3m (225)	3,55870	-	4	45,07
<i>Ni / Sn</i>	12,510	Гексагональная	P63mc (186)	4,04800	5,12300	-	72,70

Анализ данных, представленных в Таблицах 1, 2 показывает, что образуются гексагональные фазы *Ni / Sn* со структурой P63mc.

3. Заключение

В работе изучена морфология поверхности пленки олова, напыленной на никелевую фольгу марки НП-2. Также на установке D2-PHASER с использованием техники малоуглового рассеяния проведен их рентгенофазовый анализ. Обнаружено, что при напылении пленок на подложки НП-2, нагретые до 200 °С, на пленках образуются сферические фазы. Дополнительный отжиг биметаллических композиций *Ni / Sn* при 200 °С в вакууме в течение одного часа приводил к образованию эвтектических фаз *NiSn*, что указывает на контактное плавление при диффузионном взаимодействии олова и никеля.

Библиографический список:

1. **Ахкубеков, А.А.** Процессы взаимной диффузии компонентов, образующих эвтектики / А.А. Ахкубеков, С.Н. Ахкубекова, М.-А.В. Зубхаджиев, Д.А. Камболов, В.А. Созаев. – Владикавказ: СКГМИ, Изд-во Терек, 2016. – 208 с.
2. **Eivani, A.R.** Interface properties and shear bond strength of *Al / Cu* bimetallic rods produced by equal channel angular pressing / A.R. Eivani, H.R. Mirzakouchakshirazi, Sh. Kheirandish // XV International Conference on Intergranular and Interphase Boundaries in Materials (IIB 2016), Moscow, May 23-27, 2016: book of abstracts. – М.: ООО «ПКЦ-Альтекс», 2016. – Р. 23.
3. **Ахкубеков, А.А.** Контактное плавление металлов и наноструктур на их основе / А.А. Ахкубеков, Т.А. Орквасов, В.А. Созаев. – М.: Физматлит, 2008. – 152 с.

4. **Kamali, A.R.** Tin-based materials as advanced anode materials for lithium ion batteries. A review / A.R. Kamali, D.J. Fray // *Reviews on Advanced Materials Science*. – 2011. – V. 27. – № 11. – P. 14-24.
5. **Dong, Q.F.** Preparation and performance of nickel-tin alloys used as anodes for lithium-ion battery / Q.F. Dong, C.Z. Wu, M.G. Jin, et al. // *Solid State Ionic*. – 2004. – V.167. – I. 1-2. – P. 49-54.
6. **Hassoun, J.** Electrodeposited *Ni–Sn* intermetallic electrodes for advanced lithium ion batteries / J. Hassoun, S. Pacero, B. Scrosati // *Journal of Power Sources*. – 2006. – V. 160. – I. 2. – P. 1336-1341.
7. **Kublanovsky, V.** Cobalt-molybdenumphosphorus alloys: electroplating and corrosion properties / V. Kublanovsky, O. Bersirova, Yu. Yapontseva, H. Cesiulis, E. Podlaha-Murphy // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. – 2009. – V. 45. – I. 5. – P. 588-594.
8. **Glibin, V.P.** New thermodynamic assessment of nickel – tin solid and liquid alloys / V.P. Glibin, T.N. Vorobyova, B.V. Kuznetsov // *Thermochimica Acta*. 2010. – V. 507-508. – P. 35-44.

References:

1. **Ahkubekov, A.A.** Processy vzaimnoj diffuzii komponentov, obrazuyushchih evtektiki / A.A. Ahkubekov, S.N. Ahkubekova, M.-A.V. Zubhadzhiev, D.A. Kambolov, V.A. Sozaev. – Vladikavkaz: SKGMI, Izd-vo Terek, 2016. – 208 p.
2. **Eivani, A.R.** Interface properties and shear bond strength of *Al/Cu* bimetallic rods produced by equal channel angular pressing / A.R. Eivani, H.R. Mirzakouchakshirazi, Sh. Kheirandish // XV International Conference on Intergranular and Interphase Boundaries in Materials (IIB 2016), Moscow, May 23-27, 2016: book of abstracts. – M.: ООО «ПКЦ-Альтекс», 2016. – P. 23.
3. **Ahkubekov, A.A.** Kontaktnoe plavlenie metallov i nanostruktur na ih osnove / A.A. Ahkubekov, T.A. Orkvasov, V.A. Sozaev. – M.: Fizmatlit, 2008. – 152 p.
4. **Kamali, A.R.** Tin-based materials as advanced anode materials for lithium ion batteries. A review / A.R. Kamali, D.J. Fray // *Reviews on Advanced Materials Science*. – 2011. – V. 27. – № 11. – P. 14-24.
5. **Dong, Q.F.** Preparation and performance of nickel-tin alloys used as anodes for lithium-ion battery / Q.F. Dong, C.Z. Wu, M.G. Jin, et al. // *Solid State Ionic*. – 2004. – V.167. – I. 1-2. – P. 49-54.
6. **Hassoun, J.** Electrodeposited *Ni–Sn* intermetallic electrodes for advanced lithium ion batteries / J. Hassoun, S. Pacero, B. Scrosati // *Journal of Power Sources*. – 2006. – V. 160. – I. 2. – P. 1336-1341.
7. **Kublanovsky, V.** Cobalt-molybdenumphosphorus alloys: electroplating and corrosion properties / V. Kublanovsky, O. Bersirova, Yu. Yapontseva, H. Cesiulis, E. Podlaha-Murphy // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. – 2009. – V. 45. – I. 5. – P. 588-594.
8. **Glibin, V.P.** New thermodynamic assessment of nickel – tin solid and liquid alloys / V.P. Glibin, T.N. Vorobyova, B.V. Kuznetsov // *Thermochimica Acta*. 2010. – V. 507-508. – P. 35-44.

DIFFUSIONAL INTERACTION IN TIN FILM – NICKEL BASE SYSTEM

M.Z. Laipanov¹, A.R. Manukyants², V.A. Sozaev², B.M. Khubolov³

¹*Karachay-Cherkess State University behalf of U.D. Aliyev*

²*North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)*

³*Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov*

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.427

Abstract: In this work a Sn film was deposited on the nickel base of NP-2 sort in vacuum and bimetal nickel-tin compositions have been received. Eutectic formations, arising at the surface of tin film owing to a diffusional cooperation with the nickel base have been found by the scanning electron microscopy method. The X-ray-phase analysis of tin film was performed by using the small-angle scattering.

Keywords: bimetal compositions, diffusional of interaction, eutectic, films.

Лайпанов Мурат Занарустумович – старший преподаватель кафедры физики ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева»

Манукянц Артур Рубенович – к.ф.-м.н., доцент кафедры физико-математических дисциплин ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

Созаев Виктор Адыгеевич – д.ф.-м.н., профессор кафедры физико-математических дисциплин, ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

Хуболов Борис Магомедович – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Управления научных исследований и инновационной деятельности, заведующий лабораторией электрохромных материалов кафедры экспериментальной и теоретической физики Института физики и математики ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Murat Z. Laipanov – Senior Teacher of the Physics Department, Karachay-Cherkess State University behalf of U.D. Aliyev

Artur R. Manukyants – Ph. D., Docent of the Department of Physical and Mathematical disciplines North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)

Victor A. Sozaev – Dr. Sc., Professor of the Department of Physical and Mathematical disciplines, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)

Boris M. Khubolov – Ph. D., Leading Researcher of Management Research and Innovation Department, Head of the Laboratory of Electrochromic Materials, Department of Experimental and Theoretical Physics, Institute of Physics and Mathematics, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov