

Д. С. КУДАЙБЕРГЕНОВА

(Институт химии и химической технологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан)

НАНОЧАСТИЦЫ ИНДИЯ ИЗ ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЫ В ОДНОАТОМНЫХ СПИРТАХ

D. S. KUDAYBERGENOVA

(Institute of Chemistry and Chemical Technology, National Academy of Sciences
of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan)

THE INDIUM NANOPARTICLES OF PULSED PLASMA IN THE OF MONOHYDRIC ALCOHOLS

Key words: nanoparticles, indium, pulsed plasma.

Abstract. Spherical nanoparticles of indium with an average size 5-10 nm were obtained by dispersing the metallic indium in of monohydric alcohols using the pulsed plasma with single pulse energy of 0.05 J.

Аннотация. Сферические наночастицы индия со средним размером 5-10 нм были получены при диспергировании металлического индия в одноатомных спиртах с использованием импульсной плазмы, при энергии единичного импульса 0,05 Дж.

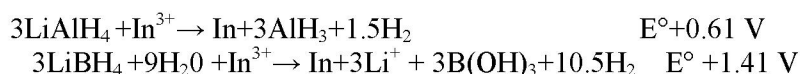
Ключевые слова: наночастицы, индий, импульсная плазма.

Тірек сөздөр: нанобөлшектер, индий, импульсті плазма.

К настоящему времени разработано большое количество методов и способов получения наночастиц индия [1-5], что обусловлено их уникальными физическими и химическими свойствами.

В работе [1] впервые предложен простой способ гидридного восстановления индия органическими соединениями в алкилаmine, который позволяет провести одностадийный синтез монодисперсных ограниченных металлических наночастиц индия тетрагональной сингонии и

размером 10 нм с высоким выходом при контроле выбора растворителей, количества поверхностно-активных веществ и температуры реакции. Ниже приведены теоретические электрохимические реакции восстановления солей индия алюмогидридом лития (LiAlH_4) и боргидридом лития (LiBH_4):



С использованием лазерной абляции были получены металлические и оксидные наночастицы индия [2-3]. Этот метод позволяет получать наночастицы на основе индия разных размеров и форм из массивного индия в жидкостях.

Авторами [4-5] предложен новый одностадийный способ получения наночастиц металлического индия электрохимическим восстановлением с использованием индия в органических соединениях при низких температурах. Наночастицы индия были получены по схеме (рис.1) восстановления в ионной жидкости при 70°C добавлением метанольного раствора боргидрида натрия. Наночастицы индия образуют стабильные суспензии в ионной жидкости, которая может быть отделена после растворения метанола и последующего центрифугирования.

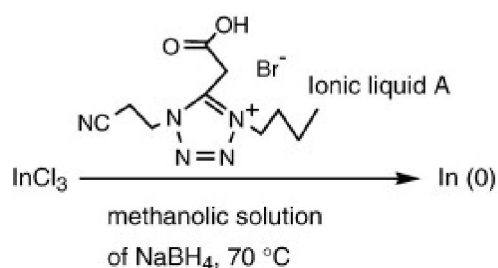


Рисунок 1 – Схема снижение хлорида индия к индию (0) [5]

Электронно-микроскопический снимок и рентгенофазовый анализ (рис.2) показали образование сферических наночастиц индия (0) с размерами 20 нм (рис.2а). На рис.2б приведена дифрактограмма наночастиц индия тетрагональной сингонии с параметрами решетки: $a = 3,250\text{ \AA}$ и $c = 4,944\text{ \AA}$, что совпадает с аналогичными данными для массивного индия ($a = 3,251\text{ \AA}$ и $c = 4,954\text{ \AA}$) и свидетельствует о схожести их кристаллической структуры. На дифрактограмме видны слабые пики оксида индия (222, 431, 622), подтверждающие окисление поверхности наночастиц индия [5].

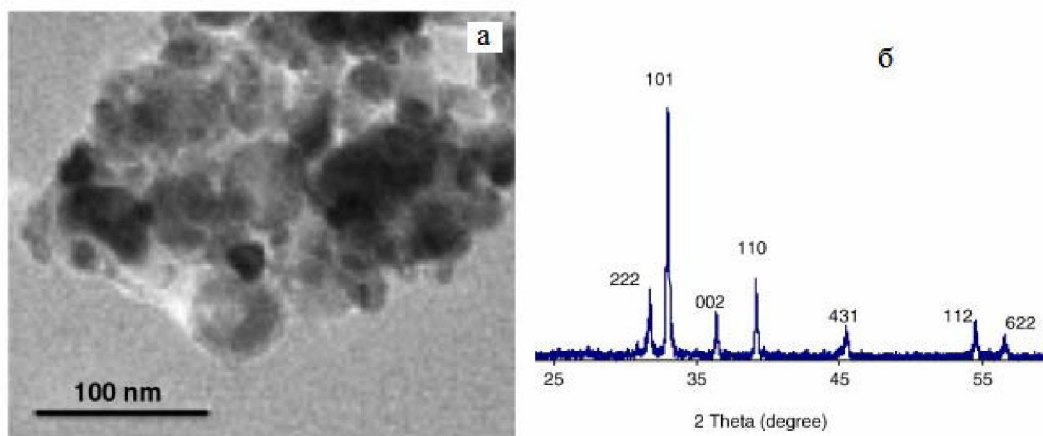


Рисунок 2 – Электронно-микроскопический снимок (а) и дифрактограмма (б) наночастиц индия в метаноле [5]

Нами синтез наночастиц индия был проведен диспергированием металлического индия в однотоных спиртах (этиловом/изопропиловом) с использованием импульсной плазмы при энергии единичного импульса 0,05 Дж [6].

На дифрактограмме продукта диспергирования индия в этиловом спирте (рис.3) обнаружено, что все линии принадлежат металлическому индию, кристаллизующемуся в тетрагональной сингонии (пространственная группа $14/mmm$ (139)) с параметрами решетки: $a = 3,256\text{ \AA}$ и $c = 4,951\text{ \AA}$. Аналогичные параметры $a = 3,256\text{ \AA}$ и $c = 4,950\text{ \AA}$ получены и в изопропиловом спирте, которые совпадают с данными картотеки JCPDF, файл № 85-1409. Также виден один пик

(отмечен звездочкой), принадлежащий оксиду индия кубической сингонии $2\theta = 30,68$, полученный в обеих средах.

На снимках продукта диспергирования индия в этиловом (рис.4а) и изопропиловом (рис.4б) спиртах, выполненном на электронном растровом микроскопе (РЭМ) с энергодисперсионным анализатором марки JEOLJXA-8230, виден рыхлый Конгломерат, в котором не просматриваются наночастицы.

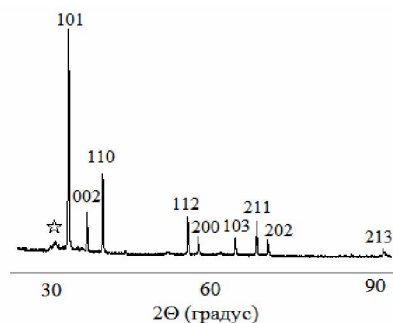


Рисунок 3 – Дифрактограмма продукта диспергирования индия в этиловом спирте

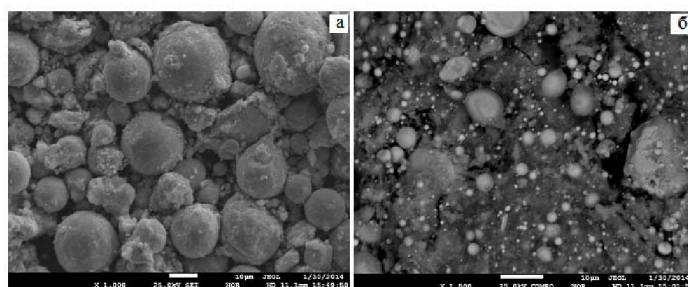


Рисунок 4 – РЭМ снимки продукта диспергирования индия в этиловом (а) и изопропиловом (б) спиртах

Энергодисперсионный анализ обоих образцов приведен на рис.5. На микроснимках видны распределение и график процентного содержания элементов продукта диспергирования индия в этиловом спирте: а – металлического индия – 79,84%; б – кислорода – 19,12%; в – примесей в виде меди – 1,03%; г – искомый график. Аналогичные данные получены и при диспергировании индия в изопропиловом спирте.

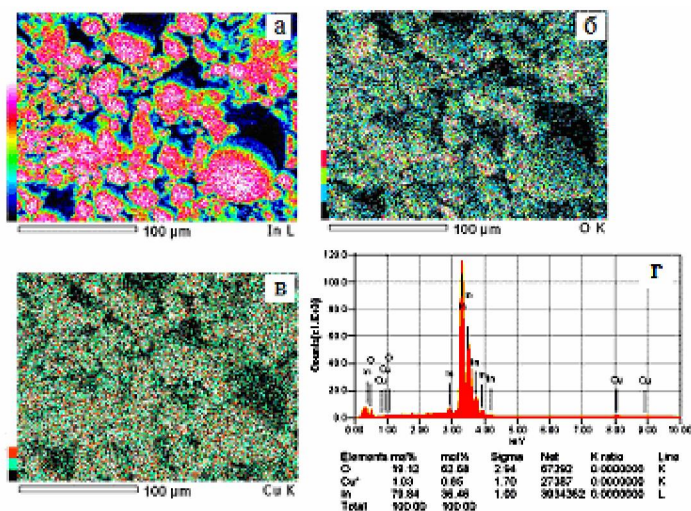


Рисунок 5 – Энергодисперсионный анализ наночастиц индия в этиловом спирте

Микроснимки продуктов диспергирования индия в этиловом и изопропиловом спиртах (рис.6), выполненные на просвечивающем электронном микроскопе высокого разрешения (ПЭМ) JEOL-200FX, показали формирование сферических наночастиц индия средним размером 5-10 нм. При анализе снимков видно, что в изопропиловом спирте (рис.6в,г) сформировались более мелкие однородные наночастицы индия с размерами 0,5 -20 нм, а в этиловом спирте (рис.6а,б) – более крупные с размерами от 1,5 нм до 100 нм.

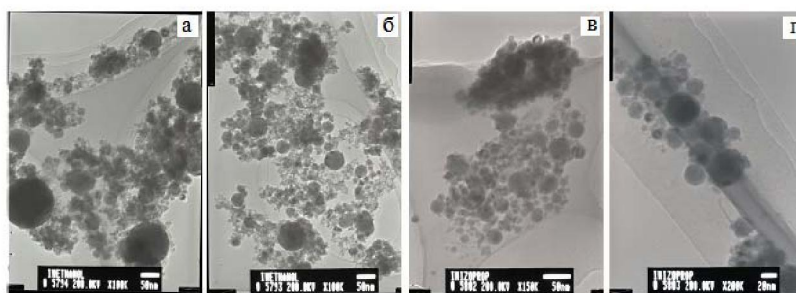


Рисунок 6 – ПЭМ снимки наночастиц индия (а,б) – в этиловом спирте; (в,г) – изопропиловом спирте

На основании проделанных исследований установлено, что при диспергировании индия с использованием импульсной плазмы, создаваемой в одноатомных спиртах (этиловом/изопропиловом), получены сферические наночастицы металлического индия средним размером 5-10 нм тетрагональной модификации.

Предлагаемый нами метод получения наночастиц индия одностадийен, прост в аппаратном оформлении, при этом нет потерь подводимой к электродам энергии во внешнюю среду, благодаря быстротечности единичного импульса.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 TeckH. Lim, Bridget Ingham, Khadijah H. Kamarudin et al. Solution Synthesis of Monodisperse Indium Nanoparticles and Highly Faceted Indium Polyhedra // *Crystal Growth, Design*. – 2010. – V.10. – № 9. – P.3854-3858.
- 2 Ganeev R.A., Rysnyanskiy A.I., Chakravarty U. et al. Structural, Optical, and Nonlinear Optical Properties of Indium Nanoparticles Prepared by Laser Ablation // *J. of Applied Physics B: Lasers and Optics*. – 2007. – V. 86. – № 2. – P. 337-341.
- 3 [Acacia N.](#), [Barreca F.](#), [Barletta E.](#) et al. Laser ablation synthesis of indium oxide nanoparticles in water // [Applied Surface Science](#). – 2010. – V.256. – № 22. – P. 6918 – 6922.
- 4 Julien Estager, Peter Nockemann, Kenneth R. Seddon et al. Electrochemical Synthesis of Indium (0) Nanoparticles in Haloindate (III) Ionic Liquids // *ChemSusChem*. – 2012. – [V.5.](#) – [№ 1.](#) – P.117–124.
- 5 [Prashant Singh](#), [Sunil Kumar](#), [Anju Katyal](#) et al. A novel route for the synthesis of indium nanoparticles in ionic liquid // [Materials Letters](#). – 2008. – V.62. – № 25. – P. 4164 – 4166.
- 6 Сулайманкулова С.К., Асанов У.А. Энергонасыщенные среды в плазме искрового разряда. – Бишкек: Кыргызпатент, 2002. – 264 с.

REFERENCES

- 1 TeckH. Lim, Bridget Ingham, Khadijah H. Kamarudin et al. Solution Synthesis of Monodisperse Indium Nanoparticles and Highly Faceted Indium Polyhedra // *Crystal Growth, Design*. – 2010. – V.10. – № 9. – P.3854-3858.
- 2 Ganeev R.A., Rysnyanskiy A.I., Chakravarty U. et al. Structural, Optical, and Nonlinear Optical Properties of Indium Nanoparticles Prepared by Laser Ablation // *J. of Applied Physics B: Lasers and Optics*. – 2007. – V 86. – № 2. – P. 337-341.
- 3 [Acacia N.](#), [Barreca F.](#), [Barletta E.](#) et al. Laser ablation synthesis of indium oxide nanoparticles in water // [Applied Surface Science](#). – 2010. – V.256. – № 22. – P. 6918 – 6922.
- 4 Julien Estager, Peter Nockemann, Kenneth R. Seddon et al. Electrochemical Synthesis of Indium (0) Nanoparticles in Haloindate (III) Ionic Liquids // *ChemSusChem*. – 2012. – [V.5.](#) – [№ 1.](#) – P.117–124.
- 5 [Prashant Singh](#), [Sunil Kumar](#), [Anju Katyal](#) et al. A novel route for the synthesis of indium nanoparticles in ionic liquid // [Materials Letters](#). – 2008. – V.62. – № 25. – P. 4164 – 4166.
- 6 Sulaymankulova S.K., Asanov U.A. Powersaturated environment spark plasma of the spark category. – Bishkek. Kyrgyzpatent, 2002. – 264p (in Russ.).

Резюме

Д. С. Күдайбергенова

(КР ҰТА Химия және химия технологиялары институты, Қырғызстан, Бішкек қ.)

БІРАТАМДЫ СПИРТТЕГІ ИМПУЛЬСТІК ПЛАЗМАДАҒЫ ИНДИЙ НАНОБӨЛШЕКТЕРІ

Орташа мөлшері 5-10 нм индийдің сфералық нанобөлшектері жекелеген импульсі 0,05 Дж энергиядағы импульстік плазманы қолдына отарып біратомды спирте индий металын диспергирлеу арқылы алынды.

Тірек сөздер: нанобөлшектер, индий, импульстік плазма.

Поступила 14.08.2014 г.