

Кудайбергенова Д.С.

ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ ЧАСТИЦ ИНДИЯ

Kudaibergenova D.S.

EFFECT OF ENVIRONMENT ON THE FORMATION OF NANOSTRUCTURED PARTICLES OF INDIUM

УДК: 546.682:532.574.7(575.2)(04)

Сферические наночастицы чистого металлического индия тетрагональной модификации с размерами от 1,5 нм до 70 нм, были получены при диспергировании индия с использованием энергии импульсной плазмы при комнатной температуре.

Spherical nanoparticles of pure indium the tetragonal modification with sizes from 1.5 nm to 70 nm, were received by dispersing the energy of indium using the pulsed plasma at room temperature.

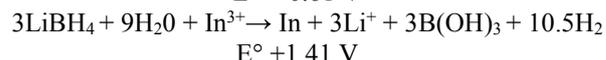
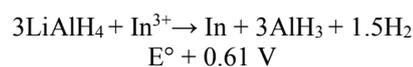
Наноструктуры – низко размерные структуры, в которых из-за размерных эффектов (сокращения размеров структурных элементов хотя бы в одном направлении до нанодиапазона) появляются физико-химические свойства, значительно отличающиеся от свойств массивных материалов [1].

Одной из актуальных проблем электронной индустрии является дефицит металла индия, используемого при создании сенсорных экранов для цифровых устройств (например, iPhone). При современном потреблении оставшегося количества индия хватит менее чем на 50 лет, поэтому оптимальным решением проблемы является использование достижений нанотехнологий [2].

К настоящему времени разработано большое количество методов и способов получения наночастиц индия [3-5], что обусловлено их уникальными физическими и химическими свойствами.

В работе [3] впервые предложен простой способ гидридного восстановления индия органическими соединениями в алкилаmine, который позволяет провести одностадийный синтез монодисперсных ограненных 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 (LiAlH₄) и боргидридом лития (LiBH₄):



Авторы [4] предлагают способ получения наночастиц индия из массивного образца методом ультразвукового облучения. Один грамм гранул индия засыпали в колбу с 50 мл парафинового масла и нагревали смесь до плавления гранул, затем система подвергалась воздействию ультразвука высокой интенсивности облучения при атмосферном воздухе в течение 30 минут. К концу реакции температура смеси достигала 473 °К, и наблюдалось отсутствие темно-коричневого осадка. После охлаждения образца до комнатной температуры, осадок отделяли центрифугированием при скорости вращения 12000 об./мин., промывали хлороформом и сушили на воздухе.

По данным рентгенофазового анализа авторами (Phillips X'Pert PRO) получены частицы металлического индия с кристаллической решеткой в тетрагональной сингонии с параметрами: $a = 3,251 \text{ \AA}$ и $c = 4,945 \text{ \AA}$, что совпадает с таковыми для массивного образца, состоящего в той же сингонии. На дифрактограмме видны также, несколько пиков оксида индия (с hkl: 222, 431, 622), подтверждающие окисление поверхности наночастиц индия [5].

Данные, полученные при помощи просвечивающего электронного микроскопа марки JEOL JEM-100CX (ПЭМ), показывают (рис.1) образование сферических наночастиц индия с диаметрами - 50-70 нм (а), 300-500 нм (б).

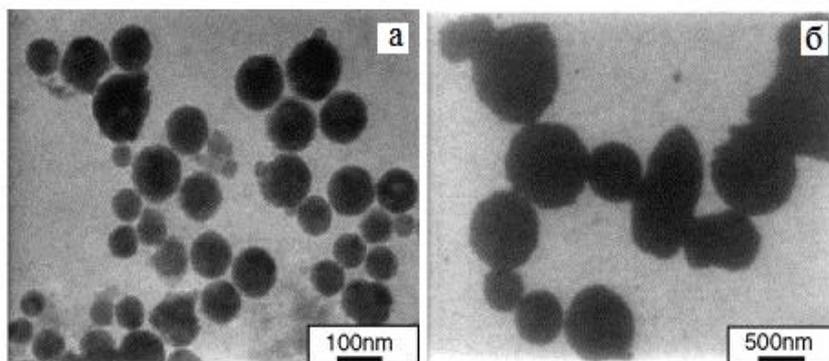


Рис. 1. ПЭМ изображение наночастиц индия, полученных ультразвуковым облучением различной мощности (а) 1200 Вт / см², (б) 800 Вт / см² [5].

Широкий разброс по размерам наночастиц индия объясняется изменением мощности ультразвука: чем она ниже, тем крупнее частицы.

Мы предлагаем упрощенный синтез наноструктурных частиц индия с использованием импульсной плазмы при энергии единичного импульса 0,05 Дж [6]. При помощи этого метода было проведено диспергирование металлического индия в одноатомных спиртах (этиловом/изопропиловом), дистиллированной воде и гексане.

На дифрактограммах (рис.2) продукта диспергирования индия в дистиллированной воде (рис.2б) и этиловом спирте (рис.2а) обнаружено, что все линии принадлежат металлическому индию, кристаллизующемуся в тетрагональной сингонии (пространственная группа $I4/m\bar{m}$ (139)) с параметрами решетки: $a = 3,251\text{Å}$ и $c = 4,945\text{Å}$ в дист. воде; $a = 3,256\text{Å}$ и $c = 4,951\text{Å}$ в этиловом спирте. Аналогичные параметры: $a = 3,256\text{Å}$ и $c = 4,950\text{Å}$ получены и в изопропиловом спирте. Все результаты совпадают с данными картотеки JCPDF, файл № 85-1409. Кроме того, виден пик (отмечен звездочкой), принадлежащий оксиду индия кубической сингонии $2\theta = 30,68$, полученный во всех средах.

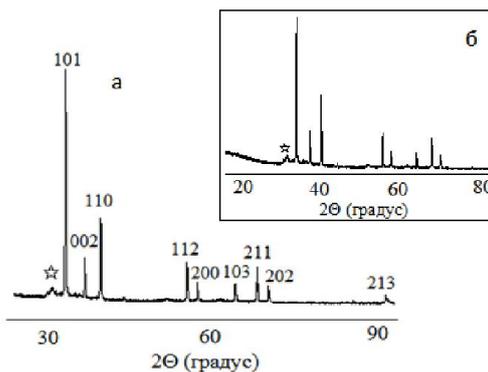


Рис.2. Дифрактограмма продукта диспергирования индия в этиловом спирте (а) и дистиллированной воде (б).

На снимках продукта диспергирования индия в этиловом (рис.3а) и изопропиловом (рис.3б) спиртах, выполненном на электронном растровом микроскопе (РЭМ) с энергодисперсионным анализатором марки JEOLJXA-8230, изображен рыхлый конгломерат, в котором не просматриваются наночастицы.

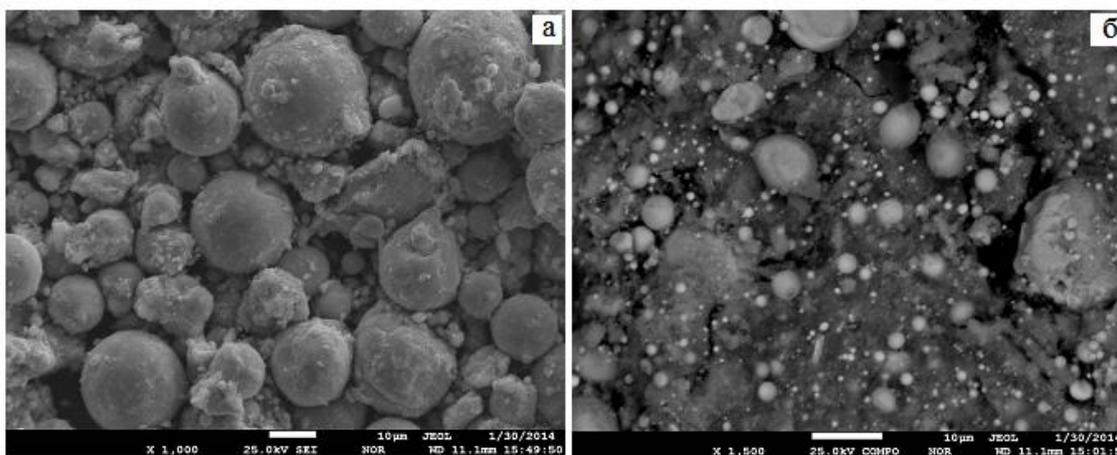


Рис.3. РЭМ снимки продукта диспергирования индия в этиловом (а) и изопропиловом (б) спиртах.

Энергодисперсионный анализ обоих образцов приведен на рис.4. 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.

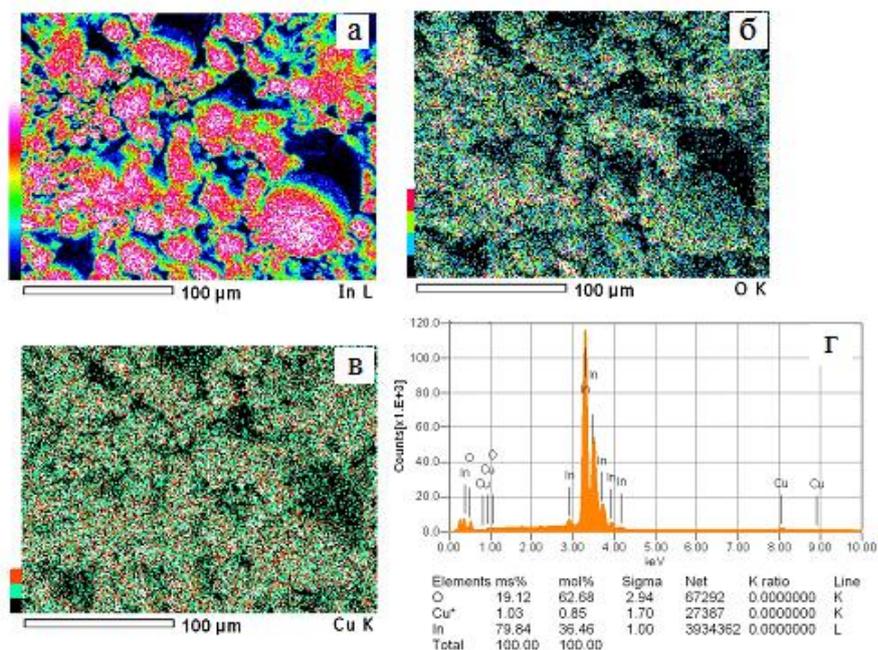


Рис.4. Энергодисперсионный анализ наночастиц индия в этиловом спирте.

Результаты рентгенофазового анализа (Rigaku RINT-2500 с $\text{CuK}\alpha$ -излучением $\lambda=1,54187\text{\AA}$) продукта диспергирования индия в гексане (рис.5), выявили линии металлического индия с тетрагональной структурой (пространственная группа $14/mmm$ (139)) и параметрами кристаллической решетки: $a = 3,258 \text{ \AA}$, $c = 4,953 \text{ \AA}$, совпадающими с данными картотеки JCPDF, файл № 85-1409.

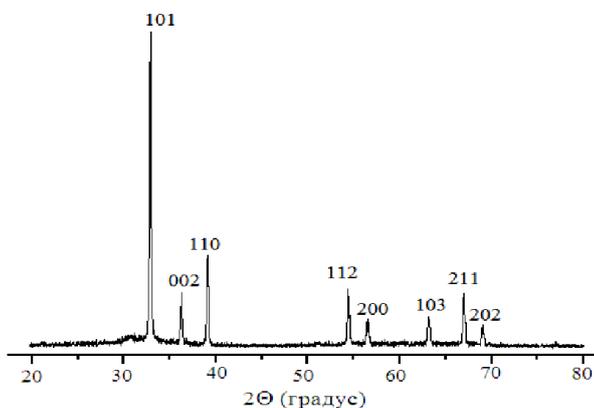


Рис.5. Дифрактограмма продукта диспергирования индия в импульсной плазме в гексане.

На электронно-микроскопическом снимке (рис.6) выполненный на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) в марки JEOL-200FX, продукта диспергирования индия в дистиллированной воде (рис.6а) и гексане (рис.6б), видны сферические наночастицы металлического индия с размерами от 1,5 нм до 70 нм. В дистиллированной воде (а) – сферические наночастицы четко просматриваются, а в гексане (б) – наночастицы покрыты углеродной пленкой.

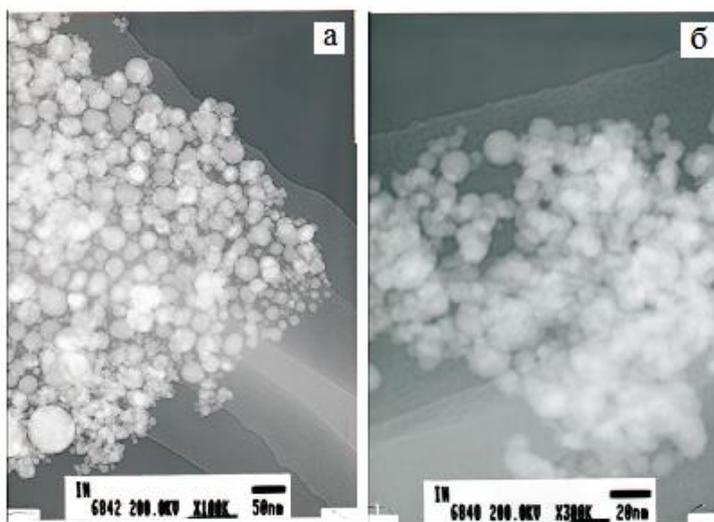


Рис.6. ПЭМ снимок наночастиц индия, полученных в импульсной плазме в дистиллированной воде (а) и гексане (б).

Таким образом, установлено, что при диспергировании индия с использованием импульсной плазмы, создаваемой в одноатомных спиртах (этиловом/изопропиловом), дистиллированной воде и гексане, получены мелкие сферические наночастицы чистого металлического индия тетрагональной модификации с размерами от 1,5 нм до 70 нм, в отличие от синтеза ультразвуковым методом [5], при котором получают и оксиды, а диаметр наночастиц превышает 100 нм.

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. Рауль Х., Пальма М., Лахтакиа А. Наноструктуры /Нанонаука и нанотехнологии. Энциклопедия систем жизнеобеспечения. – М.: 2011. - С. 95.
2. Золото и нанотехнологии в эпоху инноваций. Перевод с англ. С.С. Верховина // Золотодобыча – 2010. - №143. – С. 10.
3. 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.
4. Li Z., Tao X., Cheng Y., Wu Z. et al.A simple and rapid method for preparing indium nanoparticles from bulk indium via ultrasound irradiation//Materials Science and Engineering: A - 2005. - V.407. -P.7-10.
5. 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.
6. Сулайманкулова С.К., Асанов У.А. Энергонасыщенные среды в плазме искрового разряда. – Бишкек: Кыргызпатент, 2002. – 264 с.

Рецензент: к.х.н. Жаснакунов Ж. К.