

*A. A. MATKASYMOVA**, *X. I. GAFFOROVA***

(* – Институт химии и химической технологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан;

** – Медицинский колледж Ошского Государственного Университета, г. Ош, Кыргызстан)

ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР ВИСМУТА

*A. A. MATKASYMOVA**, *H. I. GAFFOROVA***

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

** Medicine College in Osh State University, Osh, Kyrgyzstan)

INFLUENCE OF ENVIRONMENT ON FORMATION OF NANOSTRUCTURES BISMUTH

Key words: nanoparticles, nanotubes, bismuth, pulsed plasma.

Abstract: This paper considers influence of the medium on formation of nanostructural bismuth particles with sizes ranging from 3 nm to 500 nm using a pulsed plasma with a single pulse energy of 0.05 J in different liquids at room temperature.

Аннотация. В данной работе рассматривается влияние среды на формирование наноструктурных частиц висмута с размерами от 3 нм до 500 нм с использованием импульсной плазмы при энергии единичного импульса 0,05 Дж в различных жидкостях при комнатной температуре.

Ключевые слова: наночастицы, нанотрубки, висмут, импульсная плазма.

Tірек сөздер: нанобөлшектер, нанотүтіктер, висмут, импульсті плазма.

Для формирования наноструктур необходимы способы, позволяющие насыщать энергией вещество. Самыми приемлемыми для формирования наноструктурных материалов представляются условия, возникающие при действии разнообразных видов концентрированной энергии (плазменные струи, ускоренные электронные потоки, ударные волны, лазерные лучи и другие виды излучений). Но все эти уже известные методы получения наноматериалов требуют больших затрат из-за потерь энергии в окружающую среду, громоздкого аппаратурного оформления и низкого выхода конечных продуктов.

Одним из самых локализованных и эффективных высокоэнергетических воздействий для наноструктурирования твердого тела является импульсная плазма, создаваемая в жидкостях [1].

В данной работе рассматривается влияние среды на формирование наноструктурных частиц висмута в импульсной плазме в жидкостях при комнатной температуре.

Полученные данные были исследованы рентгенофазовому Rigaku RINT-2500 с $\text{CuK}\alpha$ – излучением ($\lambda=1,54187 \text{ \AA}$) и электронно-микроскопическому анализам на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JEOL JSM-6490LA и просвечивающем электронном микроскопе высокого разрешения (ПЭМ) JEOL-200FX.

Рентгенофазовый анализ продукта диспергирования висмута в дистиллированной воде показал образование двух фаз: металлического висмута (89,97%) в ромбоэдрической сингонии (пространственная группа $R\bar{3}m, 166$) с параметрами кристаллической решетки: $a=4,55 \text{ \AA}$ и $c=11,86 \text{ \AA}$ и следов оксида висмута (10,03 %) – $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ (моноклинной модификации, структурный тип $P2_1/c(14)$). Отчистку от оксидов проводили обработкой продуктов диспергирования 20% раствором винной кислоты, после чего были обнаружены линии металлического висмута (99,5%) с ромбоэдрической структурой ($a=4,546 \text{ \AA}$ и $c=11,86 \text{ \AA}$).

На электронно-микроскопических снимках (рис.1), полученных при помощи СЭМ и ПЭМ ВР, видны различные нанотрубки (НТ) металлического висмута: общий вид (а,б) и многослойные прямые нанотрубки с открытыми (в,г) и закрытыми концами (д,е) со средним диаметром 300 – 500 нм и длиной до 1 мкм. Данные рентгенофазового и электронно-микроскопического анализов, полученные нами, совпадают с результатами авторов, синтезировавших НТ висмута гидротермальным методом [2-4] и методом химического восстановления с использованием боргидрида натрия [5-6].

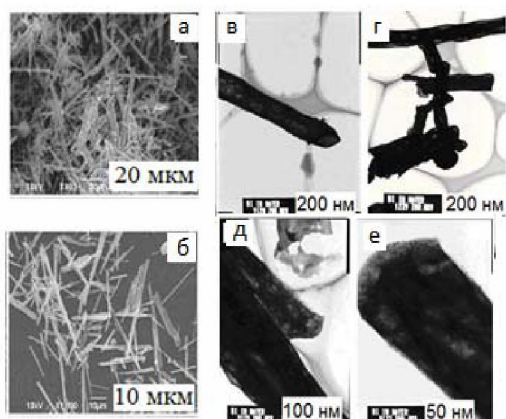


Рисунок 1 – СЭМ снимки (а,б) и ПЭМ снимки (в,г,д,е) нанотрубок висмута, полученные из импульсной плазмы в воде после очистки раствором винной кислоты (а), закрученные (б) и прямые (в) с диаметром 3 - 10 нм и длиной до 200 нм. Из диаграммы распределения частиц по размерам (рис.2) видно, что средний размер нанотрубок висмута составляет 70 - 80 нм.

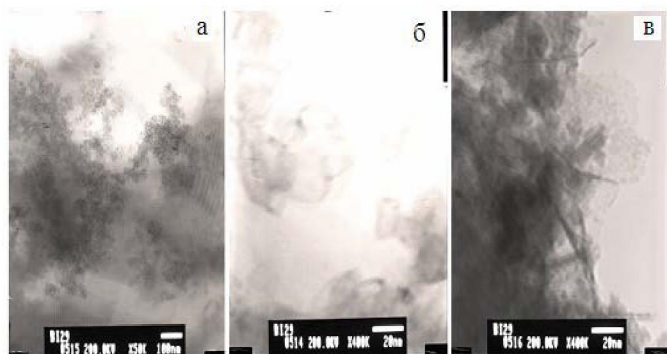
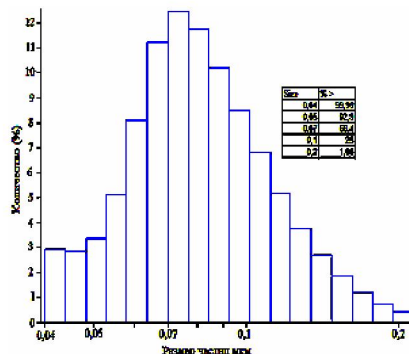


Рисунок 2 – ПЭМ снимки и диаграмма распределения по размерам нанотрубок, полученных диспергированием висмута в этиловом спирте

На дифрактограмме продукта наноструктурирования висмута в этиловом спирте обнаружены линии металлического висмута в моноклинной модификации (пространственная группа $P2_1/m, 11$) с параметрами кристаллической решетки: $a=6,696 \text{ \AA}$, $b=4,145 \text{ \AA}$, $c=4,704 \text{ \AA}$, $\beta=86,55^\circ$. В обычных условиях висмут имеет ромбоэдрическую кристаллическую решетку, но при высоких давлениях (2,72 ГПа) переходит в моноклинную III модификацию с параметрами кристаллической решетки: $a=6,65 \text{ \AA}$, $b=4,20 \text{ \AA}$, $c=4,65 \text{ \AA}$, $\beta=85,33^\circ$ [7].

На ПЭМ снимках продукта диспергирования висмута в этиловом спирте (рис.2) обнаружены следующие нанотрубки: общий их вид



Диспергирование висмута чистотой 99,97 % проводили в импульсной плазме, создаваемой в бензоле марки «х.ч.» и в абсолютном бензоле (высушенном металлическим натрием).

Металлический висмут может существовать в нескольких кристаллических модификациях (ромбоэдрический I, моноклинный в двух формах II и III, кубический и тетрагональный) [7-8]. При атмосферном давлении устойчива только модификация I, которая при высоких давлениях 2,57 ГПа и 25 °С переходит в моноклинную II модификацию с параметрами кристаллической решетки: $a=6,724\text{?}$, $b=6,117\text{?}$, $c=3,304\text{?}$, $\beta=110,30^\circ$ [9].

На дифрактограмме продукта диспергирования висмута в бензоле обнаружены линии двух фаз: металлического висмута и оксида висмута – $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$. Частицы металлического висмута проиндексированы в ромбоэдрической сингонии (пространственная группа R3m,166) с параметрами решетки: $a=4,552\text{?}$ и $c=11,856\text{?}$. Рефлексы с индексами hkl (221, 002, 400, 223) мы отнесли к метастабильной тетрагональной модификации $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ (структурный тип P42_{1c}(114) с параметрами кристаллической решетки: $a=7,743\text{?}$ и $c=5,630\text{?}$).

Авторами [10-11] наночастицы ромбоэдрического висмута размером менее 10 нм были получены восстановлением растворенных в воде солей висмута внутри обращенных мицелл на основе диизооктилсульфосукцината натрия. Смешивание растворенного в изооктане АОТ с определенным количеством водного раствора BiOClO_4 приводило к образованию обращенных мицелл. Второй мицеллярный раствор NaBH_4 готовили аналогичным образом при таком же соотношении $w=[\text{H}_2\text{O}]:[\text{АОТ}]$. Оба раствора смешивали в атмосфере аргона. После выдерживания такой смеси в течение нескольких часов при комнатной температуре осаждались наночастицы висмута.

На ПЭМ ВР снимке (рис.3) продукта диспергирования висмута в бензоле видны сферические наночастицы металлического висмута. Анализ диаграммы распределения частиц по размерам показал, что 99,5 % частиц имеют размеры - 3-7 нм. Выход продукта составляет 86,30 %.

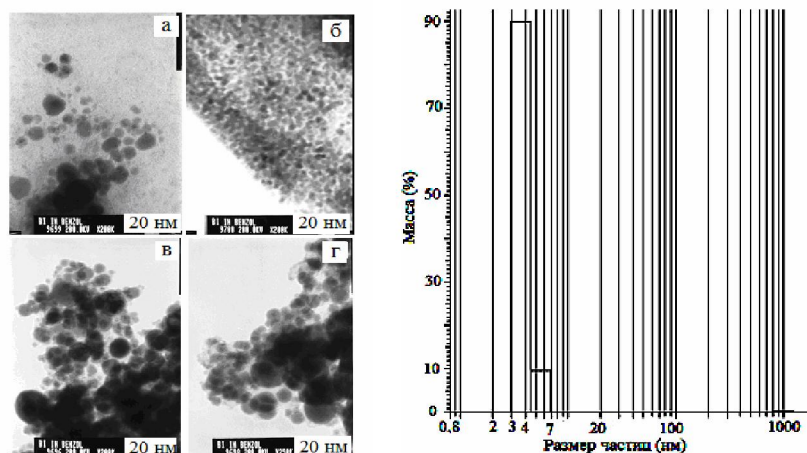


Рисунок 3 – ПЭМ снимок сферических наночастиц висмута, полученных в бензоле, и диаграмма распределения частиц по размерам

На дифрактограмме (рис.4) продукта наноструктурирования висмута в абсолютном бензоле (высушенном металлическим натрием) обнаружены линии металлического висмута в моноклинной модификации C2/m(12) с параметрами кристаллической решетки: $a=6,721\text{?}$, $b=6,125\text{?}$, $c=3,274\text{?}$, $\beta=111,65^\circ$. Результаты ПЭМ ВР анализа показали присутствие ограниченных наночастиц данным образце (рис.4) со средним размером 50 - 70 нм.

Расшифровка дифрактограммы показала, что при диспергировании висмута в абсолютном бензоле образуется фаза чистого металлического висмута – наночастицы висмута с моноклинной структурой.

При диспергировании металлического висмута в импульсной плазме в толуоле формируются частицы металлического висмута, что следует из данных рентгенофазового анализа (рис.5). Металлический висмут кристаллизуется в ромбоэдрической сингонии (пространственная группа R3m,166) с параметрами решетки: $a=4,55\text{?}$ и $c=11,86\text{?}$. ПЭМ ВР снимки образцов, полученных диспер-

гированием висмута в толуоле (рис.5а,б), позволили установить, что образуются короткие прямые нанотрубки металлического висмута (98,7 %) с диаметром 10 - 16 нм и с длиной 40 - 125 нм.

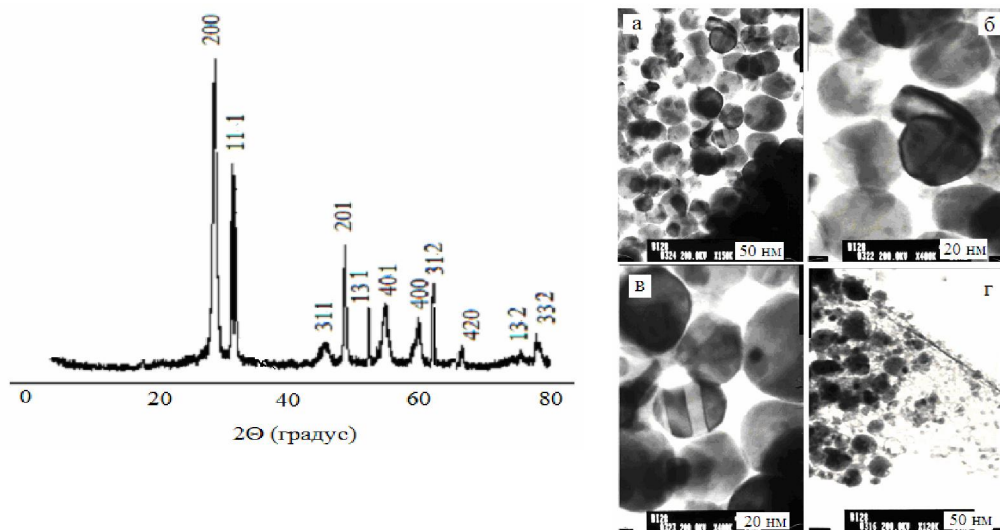


Рисунок 4 – Дифрактограмма и ПЭМ снимок наночастиц висмута в абсолютном бензоле

По результатам ПЭМ снимка (рис.5в) авторами [2] установлено, что при гидротермальном восстановлении оксида висмута Bi_2O_3 с этиленгликолем при температуре 200 °С образуются нанотрубки металлического висмута с ромбоэдрической структурой (пространственная группа $R\bar{3}m, 166$) с параметрами кристаллической решетки: $a=4,541\text{?}$, $c=11,855\text{?}$, с диаметром $\sim 3 - 6$ нм и длиной до 500 нм, что совпадает с нашими данными.

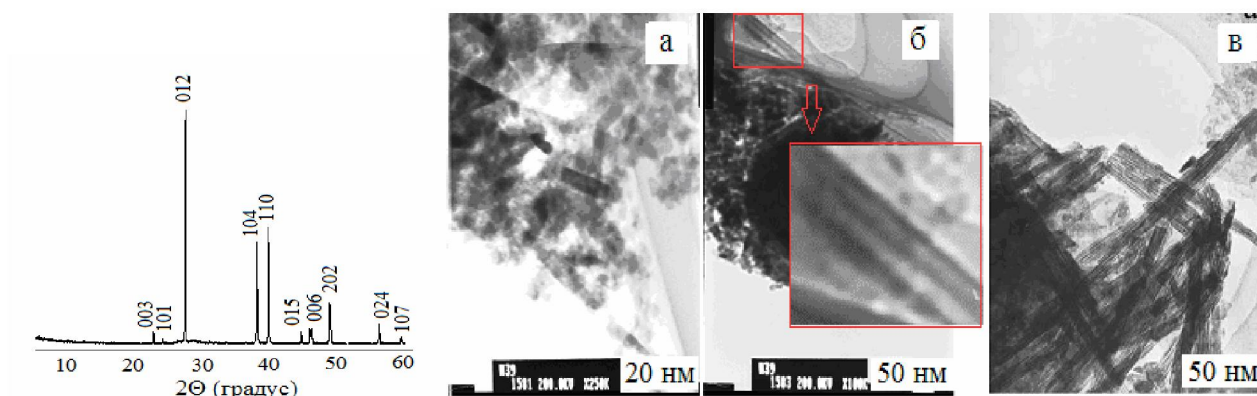


Рисунок 5 – Дифрактограмма и ПЭМ снимки нанотрубок висмута из импульсной плазмы в толуоле (а,б); ПЭМ снимок нанотрубок висмута, полученных гидротермальным методом (в) [2]

На дифрактограмме (рис.6а) продукта диспергирования висмута в диметилсульфоксиде (ДМСО) обнаружены Bi_2S_3 , кристаллизующийся в орторомбической сингонии (пространственная группа $Pbnm, 62$) с параметрами кристаллической решетки: $a=11,06\text{?}$, $b=11,37\text{?}$, $c=4,01\text{?}$, и моноклинный $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$, имеющий две линии, отмеченные звездочками. ПЭМ снимки показали наличие нанотрубок сульфида висмута (рис.6б) с диаметром 20 - 25 нм и длиной 500 – 1000 нм.

Авторами [12-14] были получены нанопроволоки и наностержни сульфида висмута сольвотермальным методом. Bi_2S_3 кристаллизуется в (220) плоскостях в орторомбической сингонии.

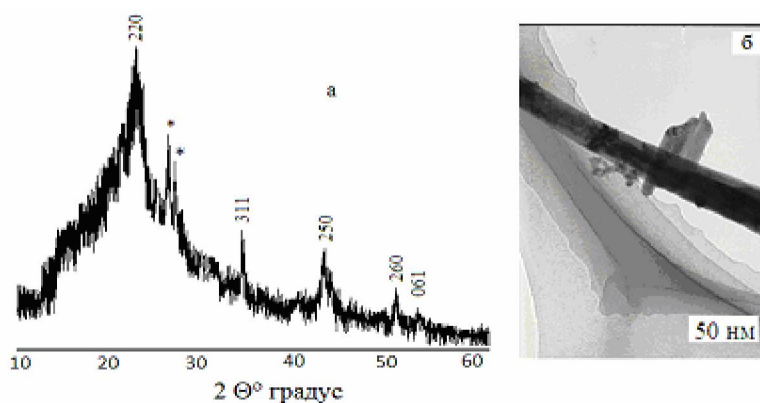


Рисунок 6 – Дифрактограмма и ПЭМ снимки продукта диспергирования висмута в ДМСО

На дифрактограмме продукта диспергирования висмута в N,N' -диметилформамиде (ДМФА), обнаружена фаза (рис.7) металлического висмута моноклинной сингонии (пространственная группа $P2_1/m, 11$) с параметрами кристаллической решетки: $a=6,55\text{ \AA}$, $b=4,18\text{ \AA}$, $c=4,45\text{ \AA}$, и две линии, принадлежащие $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ моноклинной сингонии (пространственная группа $P2_{1/c} (14)$), отмеченные звездочкой. ПЭМ ВР снимки показали наличие нанотрубок (рис.7) металлического висмута моноклинной сингонии с диаметром 80 - 160 нм и длиной до 1 мкм.

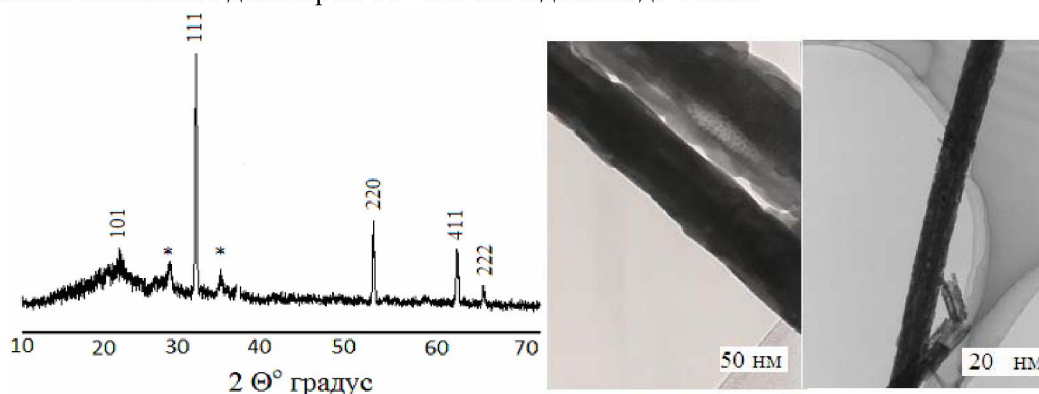


Рисунок 7 – Дифрактограмма и ПЭМ ВР изображение нанотрубок металлического висмута, полученного диспергированием висмута в ДМФА

Металлический висмут также имеет слоистую ромбоэдрическую (тригональную) кристаллическую структуру (рис.8), очень близкую к кубической гранецентрированной с гофрированными гексагональными слоями, подобными плоским слоям в графите [15-16]. Поэтому с полной уверенностью мы предположили, что для данных элементов возможен прямой синтез нанотрубок энергонасыщением в импульсной плазме.

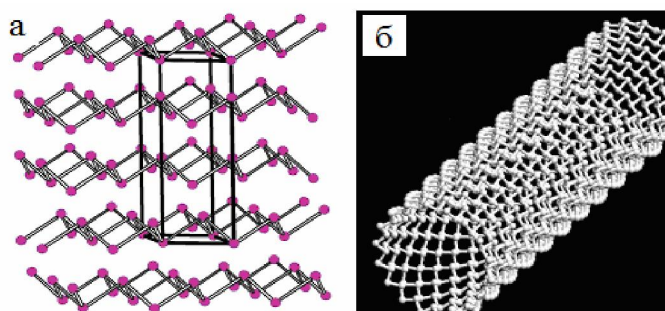


Рисунок 8 – Ромбоэдрическая структура металлического висмута (а) и нанотрубки висмута (б) [16]

Висмут – серебристо-серый металл с розоватым оттенком, может существовать в нескольких кристаллических модификациях. При обычном атмосферном давлении существует только одна ромбоэдрическая модификация висмута с пространственной группой $R3m$ (параметры кристаллической решетки: $a=0,4746\text{ нм}$ и $\alpha=57^\circ$). Ромбоэдрическая модификация I при давлении 2,57 ГПа и температуре 25°C переходит в модификацию II – моноклинную пространственной группы $C2m$ с параметрами решетки: $a=0,6674\text{ нм}$,

$a=0,6117$ нм, $c=0,3304$ нм и $\beta=110,33^\circ$. При давлении 2,72 ГПа происходит переход моноклинной II в моноклинную III (пространственная группа $P2_1/m$ с параметрами кристаллической решетки: $a=0,6650$ нм, $b=0,420$ нм, $c=0,4650$ нм, $\beta=85,33^\circ$). Кроме изменения модификации, давление влияет на температуру плавления висмута. С ростом давления температура плавления висмута понижается, а у большинства металлов растет. Это необычное свойство считают следствием способности висмута расширяться при затвердевании и уплотняться при расплавлении. И это не удивительно: для всех физических тел характерна определенная корреляция изменений, происходящих под действием температуры и давления [17].

Каждый атом висмута образует ковалентные связи с тремя атомами в слое (парами $6p^3$ -электронов) и связи с тремя атомами в соседнем слое на расстояниях $r_1=3,07\text{?}$, и связи с тремя атомами в соседнем слое на расстояниях $r_2=3,30\text{?}$, чтобы сформировать тригональную пирамиду. Эти пирамиды далее формируют свернутый слой висмута с разделением вершины [18-19].

Таким образом, благодаря полиморфизму висмута возможно формирование как нанотрубок висмута, так и наночастиц сферической и других форм в различных кристаллических модификациях. Это касается и соединений этих элементов.

Действительно, при наноструктурировании висмута, кроме уже известных ромбоэдрических нанотрубок, были получены нанотрубки сульфида висмута, моноклинные нанотрубки и наночастицы металлического висмута [20].

Понижение симметрии металлического ромбоэдрического висмута, при переходе в качестве среды от дистиллированной воды к чистому этанолу, до моноклинной мы объясняем внедрением атомов углерода в кристаллическую решетку ромбоэдрического висмута и формированием моноклинных нанотрубок висмута.

При диспергировании висмута в бензоле марки «х.ч.», кроме металлических наночастиц висмута, образуются наночастицы $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$, что объясняется присутствием воды в бензоле. В абсолютном бензоле формируются ограниченные наночастицы металлического висмута с пониженной моноклинной симметрией.

Понижение симметрии нанокристаллов висмута при переходе из бензола марки «х.ч.» в абсолютный бензол мы объясняем внедрением атомов углерода в кристаллическую решетку висмута. Формирование более совершенных сферических ромбоэдрических наночастиц висмута в не высушенном бензоле связано с тем, что углерод в газовом пузыре реагирует с водой с образованием CO и CO_2 и покидает зону реакции.

Может возникнуть вопрос, почему в кристаллическую решетку висмута не может быть внедрен атом водорода. Атомы водорода самые мелкие из всех атомов элементов Периодической системы, т.е. при формировании наноструктур в условиях ИПЖ (высокие давления в газовом пузыре) водород просто выбрасывается из кристаллической решетки формирующихся нанокристаллов. По этой причине мы считаем, что понижение симметрии ромбоэдрического висмута является следствием внедрения атомов углерода.

В природе висмут, в основном, встречается в виде минерала висмутин (Bi_2S_3) из-за высокого сродства этого металла к сере. Импульсная плазма приближается по своим свойствам к процессам, протекающим в природе, т.е. при диспергировании висмута в ДМСО, содержащем как серу, так и кислород, предпочтительно формирование сульфида висмута. Действительно, продукт диспергирования висмута в ДМСО по результатам энергодисперсионного и электронно-микроскопического анализа состоит на 92,8% из нанотрубок Bi_2S_3 .

Таким образом, при наноструктурировании твердого тела в импульсной плазме в жидкостях формируются наноструктуры. Предлагаемый нами метод получения наноструктур одностадийен, прост в аппаратурном оформлении, при этом нет потерь подводимой к электродам энергии во внешнюю среду, благодаря быстротечности единичного импульса.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Сулайманкулова С.К., Асанов У.А. Энергонасыщенные среды в плазме искрового разряда. – Б.: Кыргызпатент, 2002. – 264 с.
- 2 Liu X., Zeng J., Zhang S. et al. Novel bismuth nanotube arrays synthesized by solvothermal method // Chem. Phys. Lett. – 2003. – V. 374. – P. 348 - 352.
- 3 Yang B., Li C., Hu H. et al. A room-temperature route to bismuth nanotube arrays // Eur. J. Inorg. Chem. – 2003. – № 21. – P. 3699 - 3702.

- 4 Li Y., Wang J., Deng Z. et al. Bismuth nanotubes: aration allow-temperature synthetic route // *J. Am. Chem. Soc.* – 2001. – V.123. – P. 9904 - 9905.
- 5 Derrouiche S. Zoican Loebick C., Pfefferle L. Optimization of routes for the synthesis of bismuth nanotubes: implications for nanostructure form and selectivity // *J. Phys. Chem. C.* – 2010. – V. 114. – № 8. – P. 3431 - 3440.
- 6 Derrouiche S., Zoican Loebick C., Wang C. et al. Energy-induced morphology changes in bismuth nanotubes // *J. Phys. Chem. C.* – 2010. – V.114. – № 10. – P. 4336 - 4339.
- 7 Юхин Ю.М., Михайлов Ю.И. Химия висмутовых соединений и материалов. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2001. – 360 с.
- 8 Химическая энциклопедия / гл. ред. И.Л. Кнунянц. – М.: Советская энциклопедия. – 1988. – Т. 1. – С. 379.
- 9 Brugger R.M., Bennion R.B., Worlton T.G. The crystal structure of bismuth – II at 26 kbar // *Phys. Lett. A.* – 1967. – V. 24. – № 13. – P. 714 - 717.
- 10 Edward E. Foos, Rhonda M. Stroud, Alan D. Berry et al. Synthesis of nanocrystalline bismuth in reverse micelles // *J. Am. Chem. Soc.* – 2000. – V.122. – № 29. – P. 7114 - 7115.
- 11 Fang J., Stokes K.L., Wiemann J. et al. Nanocrystalline bismuth synthesized via an in situ polymerization microemulsion process // *Mater. Lett.* – 2000. – V.42. – P. 113 - 120.
- 12 Sigman M.B. Korgel B.A. Solvent lesssyn the sis of Bi₂S₃ (bismuthinite) nanorods, nanowires, and nanofabric // *Chem. Mater.* – 2005. – V.17. – № 7. – P. 1655 - 1660.
- 13 Lou W., Chen M., Wang X. et al. Novel single-source precursors approach to prepare highly uniform Bi₂S₃ and Sb₂S₃ nanorods via a solvothermal treatment // *Chem. Mater.* – 2007. – V.19. – P. 872 - 878.
- 14 Ye C., Meng G., Jiang Z. et al. Rational growth of Bi₂S₃ nanotubes from quasi-two-dimensional precursors // *J. Am. Chem. Soc.* – 2002. – V.124. – № 51. – P. 15180 -15181.
- 15 Данильчик Л.Н., Окунев А.О., Тимофеева Ю.В. и др. Изучение дефектов структуры монокристаллических сплавов Bi+Sb методом двухкристалльной топографии в геометрии Брэгга // *Электронный научный журнал «Исследовано в России»*. – 2005. – С. 2307 - 2314. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/224>.
- 16 Wang X., Li Y. Solution-based synthetic strategiesfor 1-Dnanostructures // *Inorg. Chem.* – 2006. – V. 45. – № 19. – P. 7522 - 7534.
- 17 Висмут. http://i-think.ru/wikimet/?typemetall§ion_id=393.
- 18 Попель С.И., Спиридонов М.А., Жукова Л.А. Атомное упорядочение в расплавленных и аморфных металлах. – Екатеринбург: УГТУ, 1997. – 383с.
- 19 Григорович В.К. Металлическая связь и структура металлов. – М.: Наука, 1988. – 296 с.
- 20 Маткасымова А.А. Наноструктуры на основе висмута и сурьмы из импульсной плазмы: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.01. – Бишкек, 2012. – 105 с.

REFERENCES

- 1 Sulaymankulova S.K., Asanov U.A. Powersaturated environment spark plasma of the spark category. – Bishkek. Kyrgyzpatent. 2002. 264 p. (in Russ.).
- 2 Liu X., Zeng J., Zhang S. et al. Novel bismuth nanotube arrays synthesized by solvothermal method // *Chem. Phys. Lett.* – 2003. – V. 374. – P. 348 - 352.
- 3 Yang B., Li C., Hu H. et al. Aroom-temperature route to bismuth nanotube arrays // *Eur. J. Inorg. Chem.* – 2003. – № 21. – P. 3699 - 3702.
- 4 Li Y., Wang J., Deng Z. et al. Bismuth nanotubes: aration allow-temperature synthetic route // *J. Am. Chem. Soc.* – 2001. – V.123. – P. 9904 - 9905.
- 5 Derrouiche S. Zoican Loebick C., Pfefferle L. Optimization of routes for the synthesis of bismuth nanotubes: implications for nanostructure form and selectivity // *J. Phys. Chem. C.* – 2010. – V. 114. – № 8. – P. 3431 - 3440.
- 6 Derrouiche S., Zoican Loebick C., Wang C. et al. Energy-induced morphology changes in bismuth nanotubes // *J. Phys. Chem. C.* – 2010. – V.114. – № 10. – P. 4336 - 4339.
- 7 Yukhin Y.M., Mikhailov Y.I. Chemistry of bismuth compounds and materials. – Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2001. – 360 p.
- 8 Chemical encyclopedia /*Ch. Ed. I.L. Knunyants.* – Moscow: Soviet Encyclopedia. – 1988. – Т. 1. – P. 379.
- 9 Brugger R.M., Bennion R.B., Worlton T.G. The crystal structure of bismuth – II at 26 kbar // *Phys. Lett. A.* – 1967. – V. 24. – № 13. – P. 714 - 717.
- 10 Edward E. Foos, Rhonda M. Stroud, Alan D. Berry et al. Synthesis of nanocrystalline bismuth in reverse micelles // *J. Am. Chem. Soc.* – 2000. – V.122. – № 29. – P. 7114 - 7115.
- 11 Fang J., Stokes K.L., Wiemann J. et al. Nanocrystalline bismuth synthesized via an in situ polymerization microemulsion process // *Mater. Lett.* – 2000. – V.42. – P. 113 - 120.
- 12 Sigman M.B. Korgel B.A. Solvent lesssyn the sis of Bi₂S₃ (bismuthinite) nanorods, nanowires, and nanofabric // *Chem. Mater.* – 2005. – V.17. – № 7. – P. 1655 - 1660.
- 13 Lou W., Chen M., Wang X. et al. Novel single-source precursors approach to prepare highly uniform Bi₂S₃ and Sb₂S₃ nanorods via a solvothermal treatment // *Chem. Mater.* – 2007. – V.19. – P. 872 - 878.
- 14 Ye C., Meng G., Jiang Z. et al. Rational growth of Bi₂S₃ nanotubes from quasi-two-dimensional precursors // *J. Am. Chem. Soc.* – 2002. – V.124. – № 51. – P. 15180 -15181.
- 15 Danilchik L.N., Okunev A.O., Timofeeva Y. et al. Study of defects of structure monocrystalline Bi+Sb of alloys the method double-crystal topography in the Bragg geometry // *Electronic scientific journal "Investigated in Russia"*. – 2005. – С. 2307 – 2314. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/224>.

16 Wang X., Li Y. Solution-based synthetic strategies for 1-D nanostructures // Inorg. Chem. – 2006. – V. 45. – № 19. – P. 7522 - 7534.

17 Bismuth. http://i-think.ru/wikimet/?typemetall§ion_id=393.

18 Popel S.I., Spiridonov M.A., Zhukova L.A. Atomic ordering in molten and amorphous metals. – Yekaterinburg: USMU, 1997. – 383 p.

19 Grigorovich V.K. The metallic bond and structure of metals. – Moscow: Nauka, 1988. – 296 p.

20 Matkasyмова A.A. Nanostructures based on bismuth and antimony from pulsed plasma: diss. ... cand. chem. sciences: 02.00.01. – Bishkek, 2012. – 105 (in Russ.).

Резюме

(* – Институт химии и химической технологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан;
** – Медицинский колледж Ошского Государственного Университета, г. Ош, Кыргызстан)

А. А. Маткасымова^{}, Х. И. Гаффорова^{**}*

ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР ВИСМУТА

В данной работе рассматривается влияние среды на формирование наноструктурных частиц висмута с размерами от 3 нм до 500 нм с использованием импульсной плазмы при энергии единичного импульса 0,05 Дж в различных жидкостях при комнатной температуре.

Ключевые слова: наночастицы, нанотрубки, висмут, импульсная плазма.

Поступила 14.08.2014 г.