

## **ФОРМИРОВАНИЕ НАНОПРОВОЛОК ВИСМУТА И СУРЬМЫ В ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЕ**

*Этанолдогу импульстук плазмада висмут жана сурьманы наноструктуралоодо алардын наножищелери калыптанат. ТЕМ (электрондук микроскоп) жана гранулометриялык анализдердин жыйынтыгында висмуттун жана сурьманын диаметри 20 нанометрден 300 нанометрге чейин болгон наножищелери бар экендиги аныкталды.*

*При наноструктурировании висмута и сурьмы в импульсной плазме в этаноле формируются нанопроволоки. Результаты ТЕМ и гранулометрических анализов показали наличие нанопроволок висмута и сурьмы с диаметром от 20 нм до 300 нм.*

*For nanostructuring of bismuth and antimony in a pulsed plasma in ethanol formed nanowires. The results of TEM and the grain size analysis showed the presence of nanowires of bismuth and antimony with a diameter of 20 nm to 300 nm.*

Ранее сообщалось /1-5/ о получении одномерных (1D) наноструктур висмута и сурьмы в лаборатории нанотехнологии Института химии и химической технологии Национальной академии наук Кыргызской Республики.

С использованием энергии импульсной плазмы /6-7/ были синтезированы нанотрубки, нанопрутики, сферические наночастицы висмута и сурьмы. Перечисленные наноструктуры были получены диспергированием соответствующего металла в импульсной плазме, создаваемой в дистиллированной воде, бензоле или толуоле при комнатной температуре. Энергия единичного импульса – 0,05 Дж, сила тока – 6 А и напряжение в цепи – 220 В, частота импульсов – 70 Гц.

Настоящая работа посвящена синтезу металлических нанопроволок висмута и сурьмы в этаноле.

Два электрода из металлического висмута и сурьмы, представляющие собой прутки диаметром 0,3 мм, длиной 12 мм, подсоединенные к плюсу и минусу электрической цепи, помещались в реактор с этанолом объемом 200 мл. Диспергирование электродов из висмута и сурьмы в этаноле проводилось при тех же условиях, что и в /6-7/.

Продукты диспергирования анализировались методами РФА (рентгеновские аппараты ДРОН-3, Rigaku Geigerflex X-Ray Diffractometer RINT 2500 с Cu-излучением  $\lambda_{\text{Cu}} = 1.54178\text{\AA}$ ). Электронные снимки образцов сделаны на просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) JEOL-2000 FX и сканирующем электронном микроскопе (SEM) JEOL JSM-6490LA. Гранулометрический анализ выполнен на приборе LS 13 320 Aqueous Liquid Module.

Анализ дифрактограмм и уточнение параметров элементарных ячеек осуществляли с использованием базы данных ICDD PDF-2, оригинального комплекса программ «OriginPro7,5» и таблиц Я.Л.Гиллера /8/.

На дифрактограмме продукта наноструктурирования висмута (рис.1) в этаноле обнаружены линии металлического висмута в моноклинной модификации P2.1/m (11) с параметрами кристаллической решетки:  $a = 6,696 \text{ \AA}$ ,  $b = 4,145 \text{ \AA}$ ,  $c = 4,704 \text{ \AA}$   $\beta = 86,55^\circ$ .

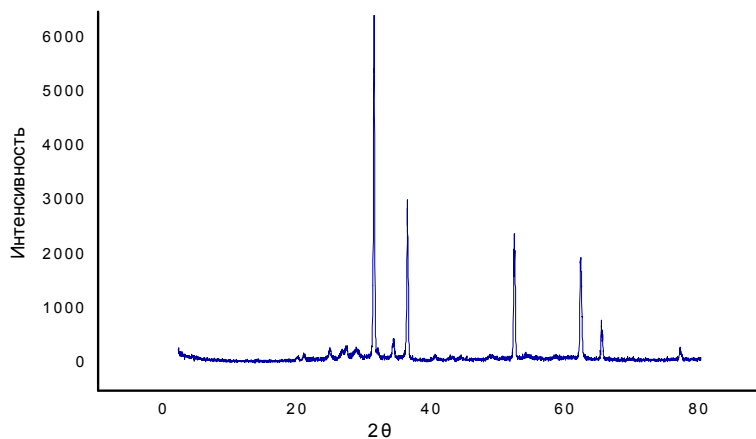


Рис.1. Дифрактограмма нанопроволок висмута из этанола

На рис. 2 показан SEM-снимок агломератов нанопроволок висмута (а) и сурьмы (б), поэтому прежде чем снимать ТЕМ-снимок нанопроволоков висмута и сурьмы, наши образцы были подвергнуты ультразвуковой обработке в течение 10 минут.

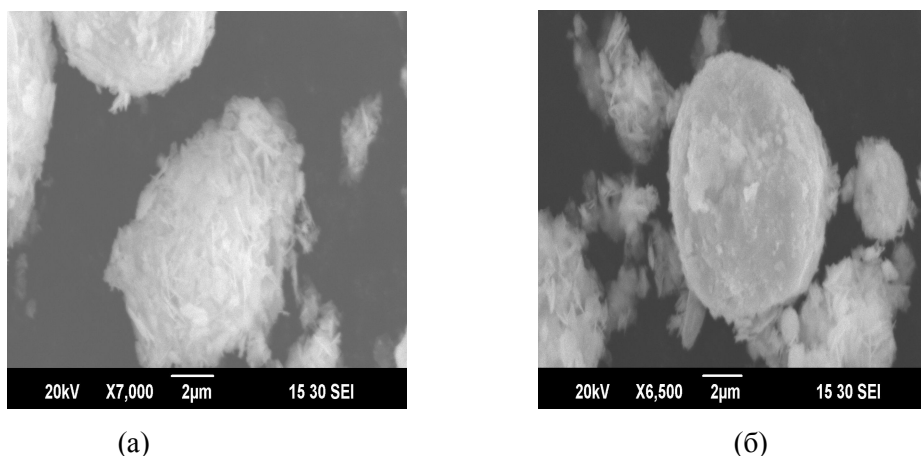


Рис.2. SEM-снимок агломератов нанопроволок висмута (а) и сурьмы (б)

Наличие агломератов нанопроволок висмута и сурьмы (рис.3) подтверждается гранулометрическим анализом, сделанным непосредственно после фильтрации и сушки образцов. Средний размер агломератов нанопроволок висмута 1-2 мкм, сурьмы – 2-3 мкм.

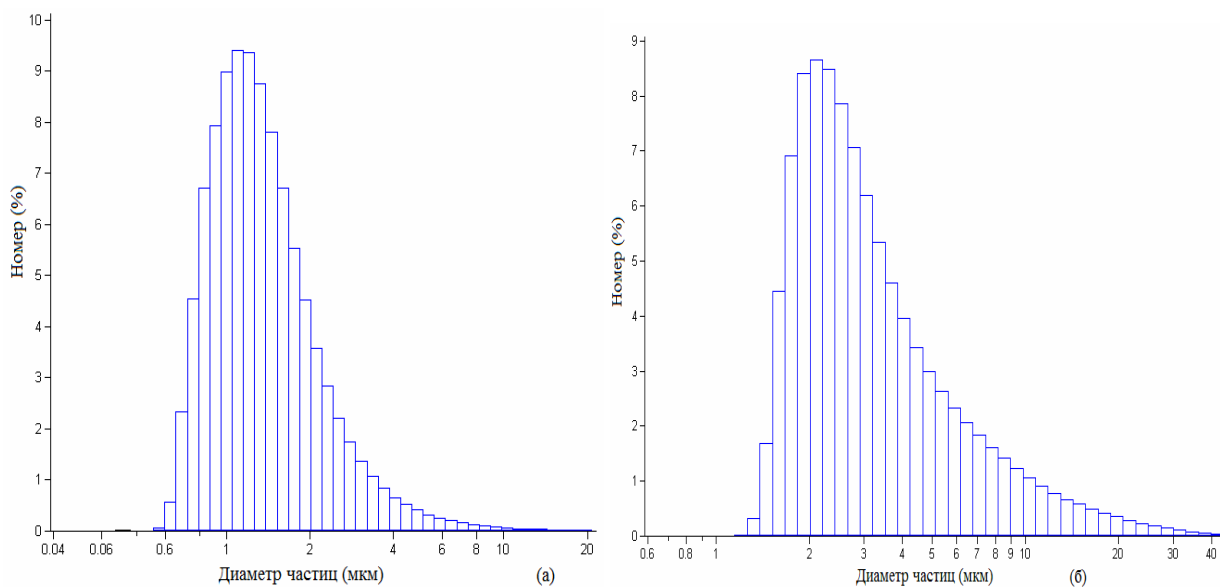


Рис.3. Гранулометрический анализ агломератов нанопроволочек висмута (а) и сурьмы (б)

На снимках ТЕМ (рис.4) видны нанопроволочки висмута с диаметром 20 нм. Гранулометрический анализ продукта диспергирования висмута (рис.5) в этаноле до фильтрации показал присутствие нанопроволочек висмута диаметрами от 40 нм до 300 нм. Средний диаметр нанопроволок 70-80 нм.

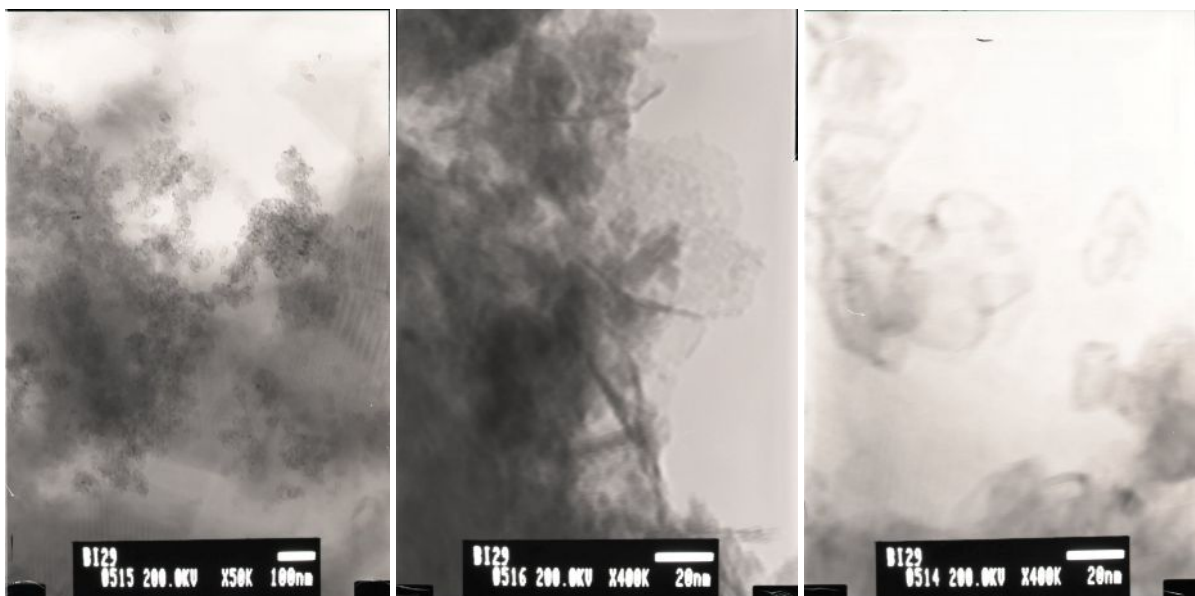


Рис.4. ТЕМ-снимок нанопроволок висмута

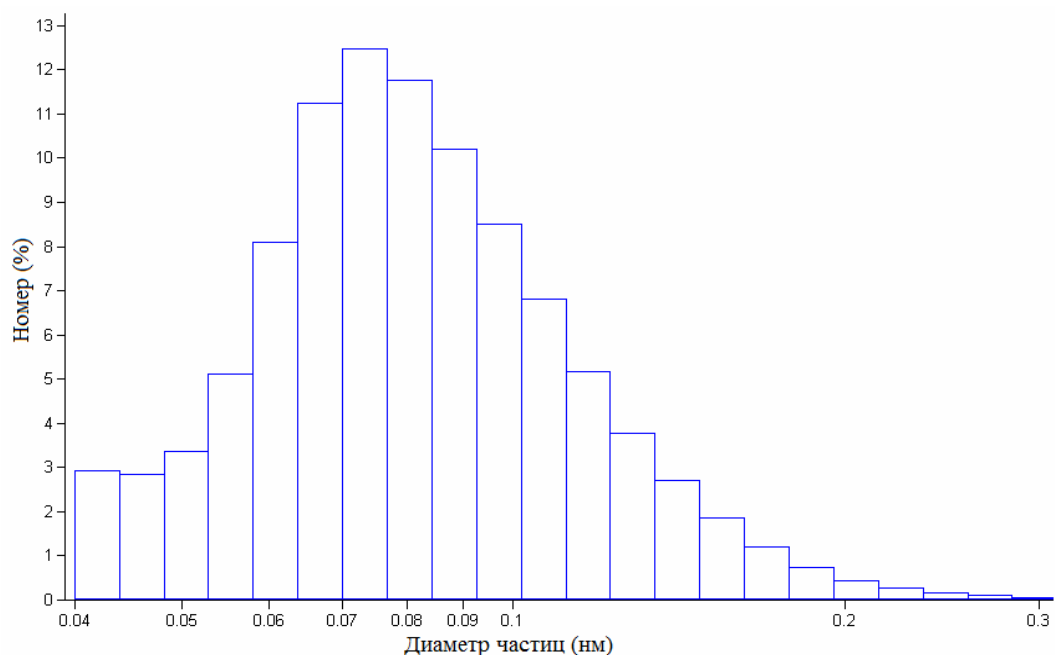


Рис.5. Гранулометрический анализ нанопроволока висмута в этаноле

При диспергировании сурьмы в этаноле обнаружена металлическая сурьма (дифрактограмма на рис.6), кристаллизующаяся в ромбоэдрической сингонии (пространственная группа  $R\bar{3}m$ , 166) с параметрами решетки:  $a = 4,313 \text{ \AA}$  и  $c = 11,29 \text{ \AA}$ , что совпадает с данными JCPDS № 35-732.

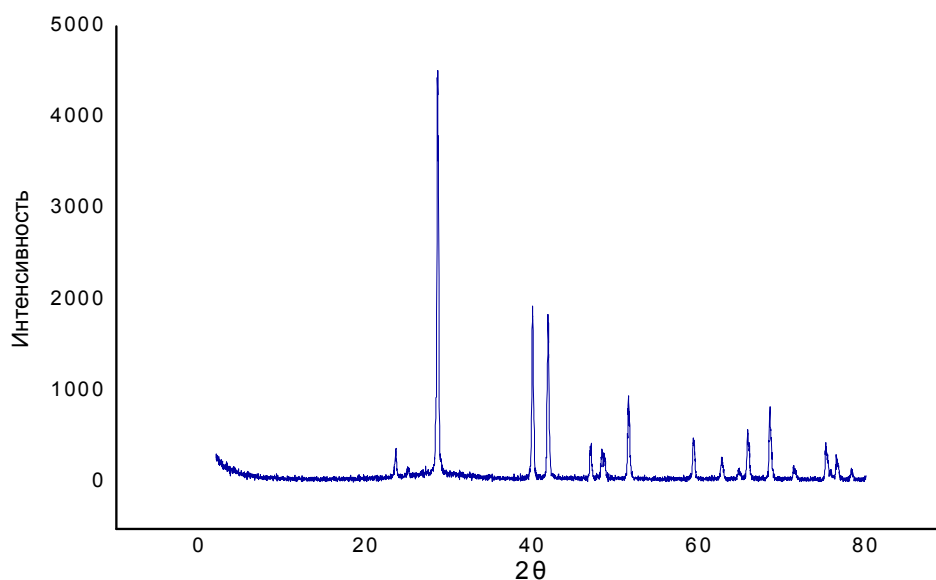


Рис.6. Дифрактограмма сурьмы в этаноле

Электронно-микроскопические снимки (рис.7), сделанные ТЕМ, позволили установить наличие нанопроволок сурьмы с диаметром 20 нм. Подобные нанопроволоки висмута и сурьмы

ромбоэдрической модификации были синтезированы авторами /9-13/. Диаметр нанопроволок при этом около 20-30 нм, а длина – от 0,2 до 2,5 мкм. Гранулометрический анализ нанопроволок сурьмы до фильтрации показывает (рис.8) присутствие нанопроволочек диаметрами от 40 нм до 100 нм.

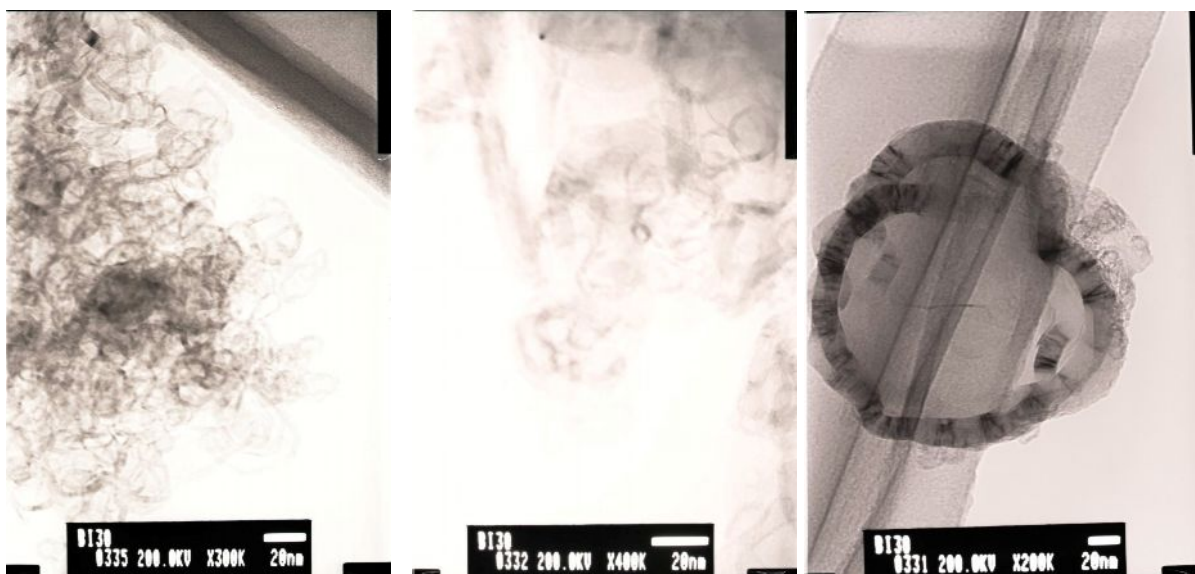


Рис.7. ТЕМ-снимок нанопроволок сурьмы

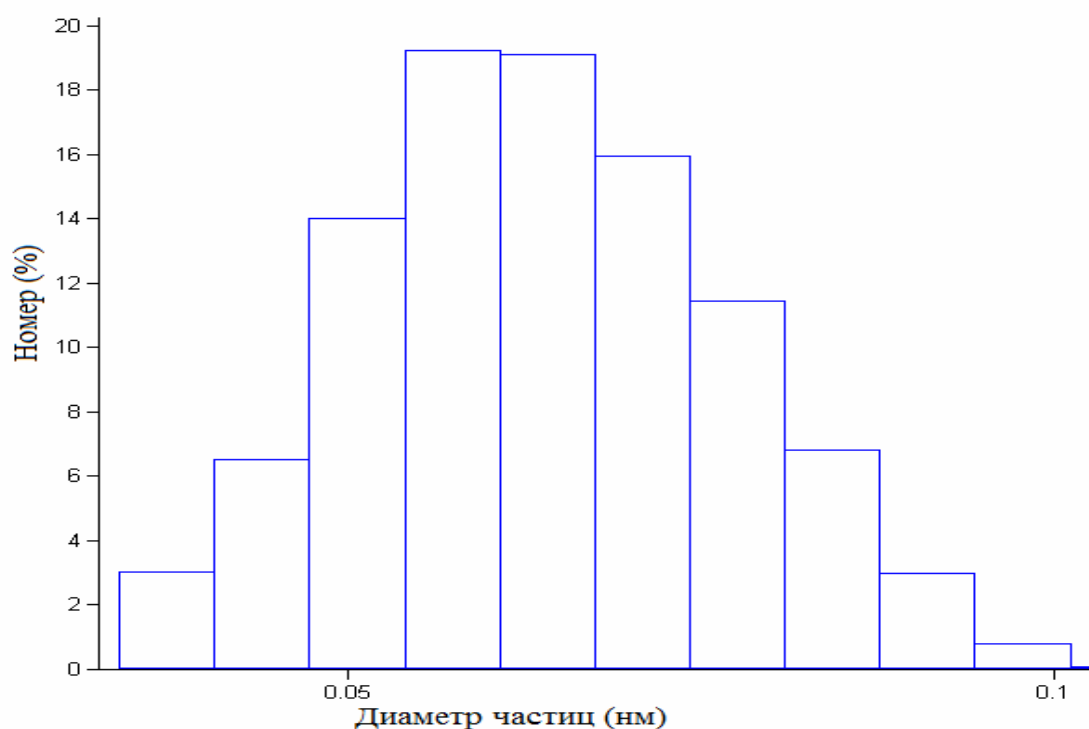


Рис.8. Гранулометрический анализ нанопроволок сурьмы из этанола.

## Выводы

1. При наноструктурировании висмута и сурьмы в импульсной плазме в этаноле формируются нанопроволок.
2. Нанопроволоки висмута кристаллизуются в моноклинной модификации, а сурьмы – в ромбоэдрической модификации.
3. Гранулометрический анализ показывает диаметры нанопроволок висмута от 20 до 300 нм, сурьмы – от 20 до 100 нм.
4. Нанопроволоки, полученные в этаноле, сильно агломерируются, что подтверждает SEM-снимок.

### Список литературы

1. Маткасымова А.А., Маметова А.С., Сулайманкулова С.К., Дженлода Р.Х. Нанотрубки сурьмы из импульсной плазмы в жидкости // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2008. – Т. XXII. – № 9(89). – С. 39–45.
2. Маткасымова А.А., Абдыкеримова А.С., Маметова А.С., Сулайманкулова С.К. Нанотрубки висмута из импульсной плазмы в жидкости // *Известия КГТУ им. И. Раззакова*. – 2008. – № 13. – С. 177–180.
3. Matkasyimova A., Emil Omurzak, Sulaimankulova S. Nanorods of Metallic Bismuth and Antimony by the Impulse Plasma in Liquid // *J. Clust. Sci.* - 2009. - V.20. - № 1. - P. 153 – 158.
4. Маткасымова А.А., Абдыкеримова А.С., Маметова А.С., Сулайманкулова С.К. Диспергирование сурьмы в ароматических углеводородах // *Известия КГТУ им. И.Раззакова*. – 2009. – № 17. – С. 89–90.
5. Маткасымова А.А., Маметова А.С., Сулайманкулова С.К. Способ получения нанотрубок висмута и сурьмы. Патент №1080 KG. – 2007.
6. Асанов У.А. Физико-химические процессы в плазме искрового разряда, создаваемого в жидких диэлектриках / Кыргызпатент. – Бишкек, 2002. – 262 с.
7. Сулайманкулова С.К., Асанов У.А. Энергонасыщенные среды в плазме искрового разряда / Кыргызпатент. – Бишкек, 2002. – 264 с.
8. Гиллер Я.Л. Таблицы межплоскостных расстояний. – М.: Недра, 1966. – Т. 2. – 362 с.
9. Yuanhao Gao, Helin Niu, Chuan Zeng and Qianwang Chen, Preparation and characterization of single-crystalline bismuth nanowires by a low-temperature solvothermal process // [Chemical Physics Letters](#). – 2003. – [V.367. – № 1-2](#). – P. 141-144.
10. Cornelius T.W. Fabrication and Characterisation of Bismuth Nanowires. PhD thesis, University of Heidelberg, 2006.
11. Cornelius T.W., Brots J., Chtanko N. et al. Controlled fabrication of poly- and single-crystalline bismuth nanowires // *Nanotechnology*. – 2005. - V.16. – P. 246 - 249.

12. Liang Li, Yanhe Xiao, Youwen Yang et al. Fabrication of Antimony Junction Nanowires in Anodic Alumina Membranes // Chemistry Letters. – 2005. - V.34. - №9. - P. 1274 – 1275.

13. Ye Wu Wang, Byung Hee Hong, Ju Young Lee et al. Antimony Nanowires Self-Assembled from Sb Nanoparticles // J. Phys. Chem. B. – 2004. – V.108. – P. 16723 – 16726.