

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА ОКСИДА ЦИНКА

*А.С. Иващутенко, к.т.н., доцент,  
Е.М. Водопьянов, студент гр. 5А32*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-444-555  
E-mail: Headfire94@gmail.com*

В последние десятилетия наблюдается большой интерес в исследовании оксида цинка (ZnO). Это уникальный функциональный материал с высокой подвижностью электронов, высокотемпературной проводимостью, большой шириной запрещенной зоны (3,37 эВ) и энергией связи экситонов (60мэВ), обладающий полупроводниковыми, пьезоэлектрическими, ферроэлектрическими и ферромагнитными свойствами, которые позволяют использовать его для широкого спектра устройств. Оптические и электрические свойства находят применения в таких устройствах как солнечные батареи, фотодетекторы, лазерные диоды, светодиоды, датчики загазованности, биосенсоры, нелинейные ограничители перенапряжения, тонкопленочные транзисторы и др. Антибактериальные, и дезинфицирующие свойства, биосовместимость, а также способность к отражению ультрафиолетового излучения находят применение в текстильной и полимерной промышленности, парфюмерии, косметике, медицине [1-4].

С другой стороны, оксид цинка привлекает внимание своей способностью принимать различные формы наноструктур: нанопроволоки, наноленты, нанокольца, нанорешетки, наносферы, нановолокна, нано-тетраподы и гетероструктуры, которые представляют интерес для широкого круга применений [5].

Ультрадисперсный порошок оксида цинка был получен универсальным плазмодинамическим методом в сверхзвуковой струе электроразрядной плазмы. Струя генерируется импульсным (до  $10^{-4}$  с), сильноточным (105 А), коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) [6], конструкция которого представлена на рис.1.

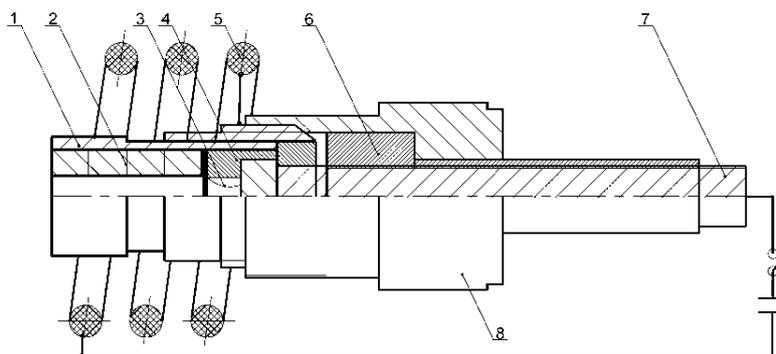


Рис. 1. Конструкция КМПУ: 1 – электрод-ствол; 2 – цинковые диски; 3 – электровзрывающиеся проводники; 4, 6 – изоляторы центрального электрода; 5 – соленоид; 7 – центральный электрод, 8 – корпус.

Ствол ускорителя представляет собой внешний титановый электрод-ствол с цинковыми дисками внутри, диаметр ускорительного канала составляет 9мм, а длина 190мм. Плазменный выстрел осуществляется в герметичную камеру-реактор заполненную кислородом (0,5 атм.) и воздухом (0,5 атм.).

Электрическое питание ускорителя осуществлялось с помощью ёмкостного накопителя энергии ( $C=3,6$  мФ,  $U=3,8$  кВ). Осциллограммы рабочего тока  $i(t)$  и напряжения  $u(t)$  приведены на рис.2. В течении всего рабочего цикла происходит электроэрозионная наработка цинка с поверхности ускорительного канала. Материал поступает в плазму разряда и вылетает сверхзвуковой струей в камеру, где взаимодействует с кислородом и образует ультрадисперсный порошок оксида цинка.

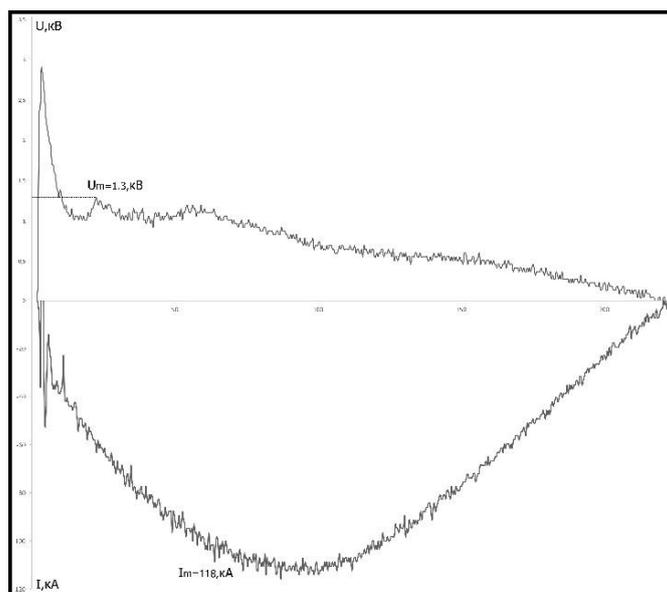


Рис. 2. Осциллограммы тока и напряжения на электродах КМПУ.

Регистрация протекания процесса синтеза ультрадисперсного оксида цинка осуществлялась через смотровое окно в камере-реакторе с помощью сверхвысокоскоростной камеры Photron FASTCAM SA1.1.

Сбор порошка происходит спустя некоторое время после окончательного осаждения частиц на стенки реактора. Массовый выход материала составил 9.5 г.

Для исследования фазового состава продукта он был подвергнут исследованию на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD 7000S. Анализ был проведен с помощью программного пакета PowderCell 2.4 и базы структурных данных PDF4+. В соответствии с полученными данными, порошок более чем на 99.9% состоит из фазы оксида цинка, что свидетельствует о правильности выбора энергетических параметров опыта и подтверждает изначальное предположение о возможности синтеза данной фазы.

Также образец подвергся и микроструктурному анализу. На рис. 3 приведен растровый микроэлектронный снимок порошкообразного продукта динамического синтеза в рассматриваемой системе.

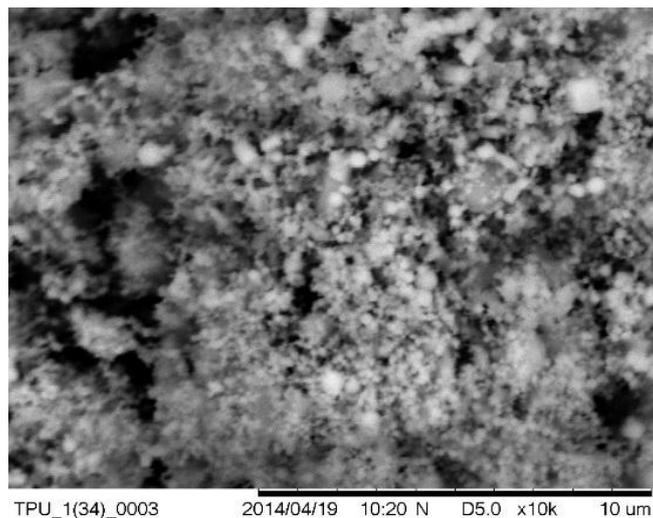


Рис. 3. Микроэлектронный снимок скопления ультрадисперсных объектов в составе продукта динамического синтеза оксида цинка.

Для подтверждения результатов рентгеновской дифрактометрии был произведен анализ просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) с помощью микроскопа Phillips CM-12.

На рис. 4. представлены светлопольный и темнопольный снимки полученного вещества, на которых прекрасно представлена гексагональная структура монокристаллического оксида цинка. Как видно, большую часть продукта составляют объекты размерами около 200нм.

Основываясь на результатах проведенной работы можно сделать вывод о возможности применения метода плазмодинамического синтеза для получения монокристаллического ультрадисперсного порошкового оксида цинка с кристаллической структурой - гексагональная сингония.

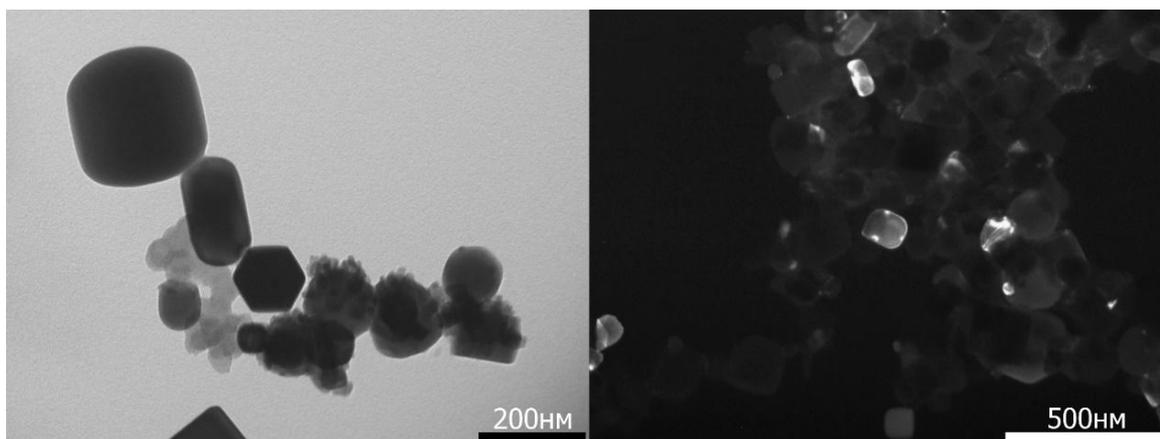


Рис. 4. ТЕМ-снимки оксида цинка светлопольный(слева), темнопольный (справа).

#### Список литературы:

1. Ozgur U., Hofstetter D., Morkoc H. ZnO devices and applications: a review of current status and future prospects //Proceedings of the IEEE. – 2010. – Т. 98. – №. 7. – С. 1255-1268.

2. Kuo C. L. et al. Synthesis of zinc oxide nanocrystalline powders for cosmetic applications //Ceramics International. – 2010. – Т. 36. – №. 2. – С. 693-698.3.
3. Renganathan B. et al. Nanocrystalline ZnO coated fiber optic sensor for ammonia gas detection //optics & laser technology. – 2011. – Т. 43. – №. 8. – С. 1398-1404.
4. Beek W. J. E., Wienk M. M., Janssen R. A. J. Efficient hybrid solar cells from zinc oxide nanoparticles and a conjugated polymer //Advanced Materials. – 2004. – Т. 16. – №. 12. – С. 1009-1013.
5. Djurišić A. B. et al. ZnO nanostructures: growth, properties and applications //Journal of Materials Chemistry. – 2012. – Т. 22. – №. 14. – С. 6526-6535.
6. А. Патент РФ № 2431947 Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / Сивков А.А., Пак А.Я. Приоритет от 30.04.2010.

### **РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ПЛАВЛЕНИЯ ЧАСТИЦЫ КВАРЦА В ПОТОКЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ**

*О.Г. Волокитин, к.т.н., доцент,  
В.В. Шеховцов, студент гр. 340*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г.Томск, пл.Соляная,2,  
тел.(3822)-650-478  
E-mail: volokitin\_oleg@mail.ru*

Песок, распространенный в природе, чаще всего представляет собой зерна кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) [1]. Среди материалов, создаваемых на основе кремнезема, особое место принадлежит кварцевому стеклу. Способы получения изделий из кварцевого песка резко отличаются от методов, принятых в технологии обычного стекла. Последнее обусловлено исключительно высокой вязкостью расплава кремнезема даже при температурах, превышающих  $2000^\circ\text{C}$ , и вместе с тем повышенной его летучестью [2-3]. Использование низкотемпературной плазмы, которая обладает высокой концентрацией энергии и температурой  $3000\text{-}5000^\circ\text{C}$ , позволит достичь необходимой вязкости расплава и обеспечить равномерный его прогрев[4-7].

Цель работы: провести расчет процесса расплавления частицы кварца при попадании ее в высокотемпературный силикатный расплав.

Осуществить экспериментальные исследования по плавлению кварца предлагается на разработанной электроплазменной установке для получения высокотемпературных силикатных расплавов рис. 1 [8,9].

Теплоносителем в установке служит поток плазмообразующего газа, который в виде высокотемпературной струи истекает из выходного сопла плазмотрона. После заполнения установки высокотемпературным силикатным расплавом, подаваемые в плавильную печь частицы кварца сразу попадают в расплав. Изначально полагалось, что нагреву подвергается песок, состоящий из  $\beta$ -кristобалита. Однако, наиболее распространенной формой существования диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  является  $\alpha$ -кварц.