- 19. Kurlov A.S., Gusev A.I. Tungsten Carbides and W-C Phase Diagram // Inorganic Materials. 2006. № 42. P. 121-127.
- 20. Jung W.-G. Recovery of tungsten carbide from hard material sludge by oxidation and carbothermal reduction process // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2014.  $N_2 20$ . P. 2384-2388.
- 21. Luthin J., Linsmeier Ch. Influence of oxygen on the carbide formation on tungsten // Journal of Nuclear Materials. 2001. № 290-293. P. 121-125.
- 22. Abad M.D., Muñoz-Márquez M.A., Mrabet S.E., Justo A., Sánchez-López J.C. Tailored synthesis of nanostructured WC/a-C coatings by dual magnetron sputtering // Surface and Coatings Technology. 2010. № 204. P. 3490-3500.

# Разработка технологии плазмодинамического синтеза ультрадисперсного монокристалического порошка оксида цинка

## Водопьянов Е.М. headfire94@gmail.com

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Ивашутенко А.С., кафедра ЭПП Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет

В последние десятилетия наблюдается большой интерес в исследовании оксида цинка (ZnO). Это уникальный функциональный материал с высокой подвижностью электронов, высокотемпературной проводимостью, большой шириной запрещенной (3,37)эВ) И энергией связи экситонов (60мэВ), обладающий полупроводниковыми, пьезоэлектрическими, ферроэлектрическими 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 ограничителях 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 ( $10^{5}$  A), коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) [6], конструкция которого представлена на рис.1.

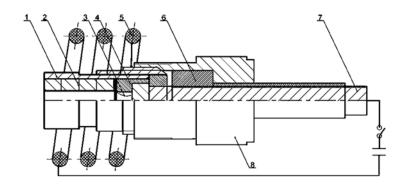


Рис. 1. Конструкция КМПУ: 1-электрод-ствол; 2-цинковые диски; 3-электровзрывающиеся проводники; 4,6-изоляторы центрального электрода; 5-соленоид; 7-центральный электрод, 8-корпус.

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.

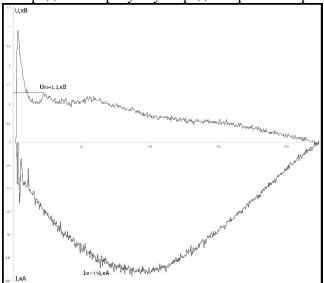


Рис.2. Осциллограммы тока и напряжения на электродах КМПУ

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.

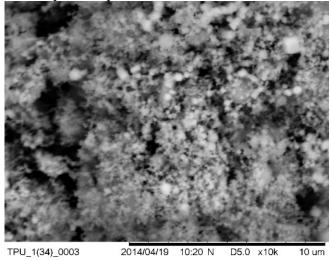


Рис. 3. Микроэлектронный снимок скопления ультрадисперсных объектов в составе продукта динамического синтеза оксида цинка

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

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

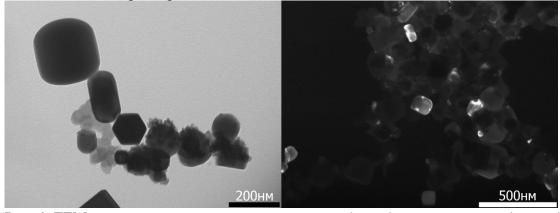


Рис. 4. ТЕМ-снимки оксида цинка светлопольный (слева), темнопольный (справа) Основываясь на результатах проведенной работы можно сделать вывод о возможности применения метода плазмодинамического синтеза для получения

монокристаллического ультрадисперсного порошкового оксида цинка с кристаллической структурой - гексагональная сингония

#### Список литература:

- 1. Ozgur U., Hofstetter D., Morkoc H. ZnO devices and applications: a review of current status and future prospects //Proceedings of the IEEE. 2010. T. 98. №. 7. C. 1255-1268.
- 2. Kuo C. L. et al. Synthesis of zinc oxide nanocrystalline powders for cosmetic applications //Ceramics International. 2010. T. 36. № 2. C. 693-698.3.
- 3. Renganathan B. et al. Nanocrystalline ZnO coated fiber optic sensor for ammonia gas detection //optics & laser technology. 2011. T. 43. №. 8. C. 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. T. 16. №. 12. C. 1009-1013.
- 5. Djurišić A. B. et al. ZnO nanostructures: growth, properties and applications //Journal of Materials Chemistry. 2012. T. 22. №. 14. C. 6526-6535.
- 6. А. Патент РФ № 2431947 Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / Сивков А.А., Пак А.Я. Приоритет от 30.04.2010.

## Структурные состояния фаз в поверхностных и переходных слоях системы «покрытие из тантала-основа из никелида титана» после электронно-пучковой обработки

### Захарова M.A. tibiboreth@gmail.com

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Остапенко М.Г., ассистент кафедры ОФ ФТИ ТПУ, м.н.с. лаборатории материаловедения сплавов с памятью формы ИФПМ СО РАН

В настоящее время распространено использование методов модификации поверхности металлов и сплавов с использованием пучковых технологий, позволяющих изменять поверхностную структуру материалов и, как следствие, их физические свойства [1]. Электронно-пучковые обработки широко используются для комплексной обработки поверхности металлов и сплавов с целью формирования метастабильных состояний в поверхностных слоях и изменения физикомеханических свойств материалов. Однако, данные о структурных состояниях неравновесных фаз, сохранившихся после или синтезированных в результате облучения, крайне ограничены.

Целью данной работы является исследование структурно-фазовых состояний в поверхностных и переходных слоях никелида титана с покрытием из тантала после обработки электронным пучком с плотностью энергии 15 Дж/см<sup>2</sup>.

**Материалы и методы.** Образцы для исследования представляли собой слав Ti<sub>49.5</sub>Ni<sub>50.5</sub> с покрытием из тантала толщиной 400 нм (далее – образцы 400Ta/TiNi). После нанесения покрытия проводилась модификация поверхности образцов электронным пучком при плотности энергии в пучке электронов 15 Дж/см<sup>2</sup> (далее – образцы (400Ta/TiNi)<sup>e15</sup>). Для анализа фазового состава и структуры использовали