

Таким образом, можно сказать, что вакуум и происходящие в нем процессы, могли иметь важнейшее значение на ранних этапах формирования Вселенной. После проведенной работы по сбору и анализу информации о физическом вакууме, его роли в инфляционной модели, можно заключить, что изучение вакуума и его свойств является перспективным направлением. Следует гораздо больше внимания уделять исследованию вакуума в рамках современной физики, не только в рамках космологии, но и в квантовой теории поля. Изучение вакуума может значительно способствовать созданию Теории Великого Объединения, изучению ускоренного расширения Вселенной, процессов, которые могли происходить после Большого Взрыва и решению других важных научных проблем.

#### Список использованных источников

1. Chamers A. Modern Vacuum Physics. // Boca Raton: CRC Press. 2004, P.214-219.
2. Vilenkin A. Many Worlds in One: The Search for Other Universes. // London: Wiley. 2006, P.34-36.
3. Постнов К.А. Лекции по общей астрофизике для физиков. №10. Космология // Москва, МГУ.2001.
4. Guth A. The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins. // Perseus. 1997, P.158-195.
5. Callan C., Coleman S. Fate of the false vacuum. II. First quantum corrections. // Phys. Rev. 1977, P.458-475.
6. Liddle A. An Introduction to Modern Cosmology (2nd ed.). // London: Wiley. 2003, P.45-55.

УДК 539.216.2:620.198

#### ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В CoZnO/CoZn НАНОСТРУКТУРАХ

Зикина Айнур

[agun\\_zikirina@mail.ru](mailto:agun_zikirina@mail.ru)

Докторант 2го курса специальности 6D060500 "Ядерная физика"  
физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Кадыржанов К.К.

#### Введение

Структуры типа CoZnO/CoZn обладают хорошими механическими свойствами, такими как прочность, устойчивость к внешним воздействиям, оптическими свойствами, которые обусловлены наличием широкой запрещенной зоны у оксида цинка, химической стабильности и отсутствие токсичности, магнитными и проводящими свойствами, которые обусловлены наличием в структуре кобальта обладающего высокой намагниченностью и коэрцитивной силой [1-3]. Как правило такие структуры получают золь-гель методом или химическим методом, которые позволяют получать различного рода нано- и микрочастицы, обладающими уникальными свойствами. Стоит отметить, что как правило, полученные наноструктуры представляют собой оксидные соединения CoZnO с малым процентным содержанием кобальта не превышающим 5-10 ат. % [4-6]. При этом работ посвященных получению цилиндрических структур в форме нанопроволок или нанотрубок не так много, что свидетельствует о сложности получения структур подобной геометрии [7]. Одним из методов получения нано- и микроструктур цилиндрической геометрии является электрохимического синтеза наноструктур с использованием различных пористых матриц в качестве шаблонов [8]. Применение данных методов позволяет получать нано- и микроструктуры цилиндрической или конусообразной геометрии с большим аспектным соотношением составляющим от 100 до 1000, а также диаметрами от 50 нм до 1 мкм. При этом структуры синтезированные данными методами обладают хорошей степенью кристалличности, высокими прочностными свойствами и т.д.

### Экспериментальная часть

Электрохимический синтез проводился с использованием раствора  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (167g/l),  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (58g/l),  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (45g/l), Аскорбиновая кислота  $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$  (1,5g/l). Разность прикладываемых потенциалов: 1.25-2.5 В, с шагом 0.25 В, контроль методом хроноамперометрии.

В качестве методов исследования использовались растровая электронная микроскопия, энергодисперсионный анализ, метод рентгеновской дифракции.

### Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены РЭМ изображения синтезированных наноструктур в зависимости от разности прикладываемых потенциалов.

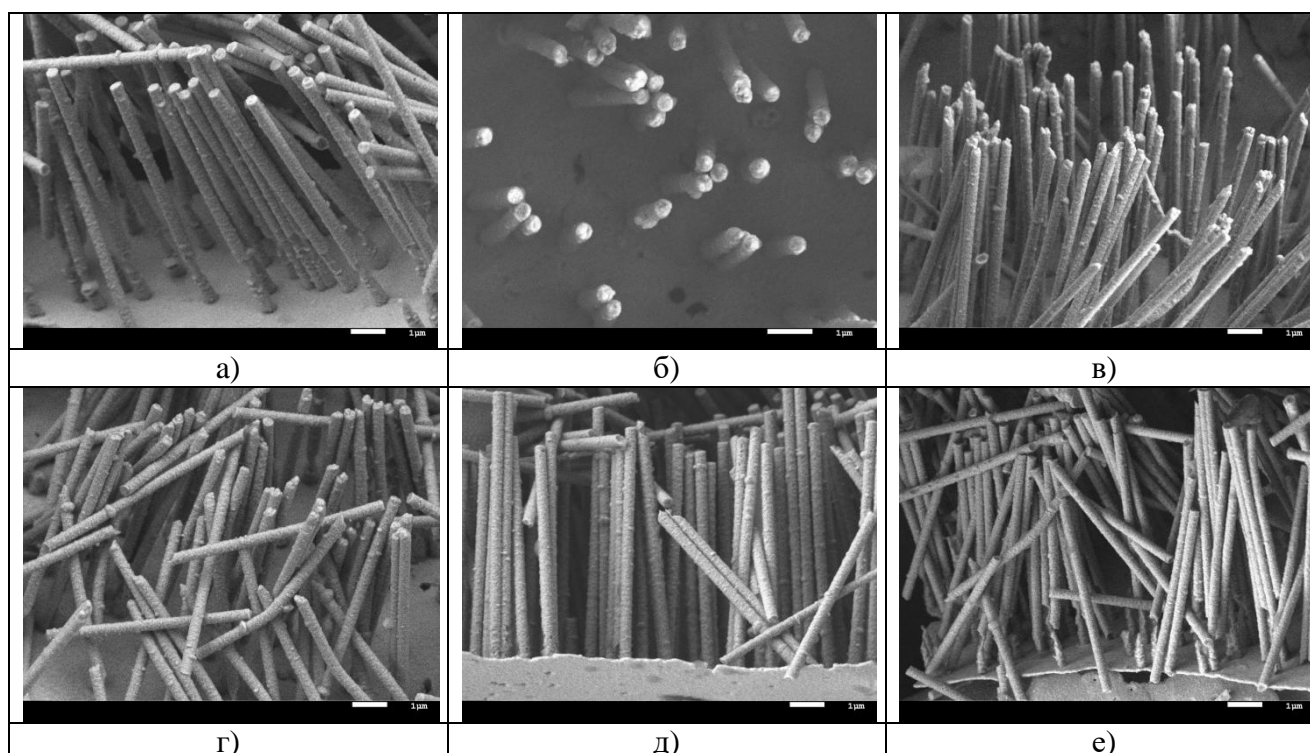


Рисунок 1. РЭМ изображения полученных наноструктур при разности потенциалов: а) 1.25 В; б) 1.5 В; в) 1.75 В; г) 2.0 В; д) 2.25 В; е) 2.5 В

Согласно представленным данным РЭМ изображениям видно, что сформированные наноструктуры методом электрохимического синтеза представляют собой цилиндрические нанопроволоки, с характерными размерами соответствующими геометрии пор шаблонных матриц. Сохранение геометрии шаблона синтезированными наноструктурами является еще одной отличительной особенностью метода электрохимического синтеза. При этом согласно полученным данным, увеличение разности прикладываемых потенциалов не приводит к существенным различиям в геометрии синтезированных нанопроволок, что свидетельствует об отсутствии влияния процессов выделения водорода при больших разностях потенциалов на пассивацию катодов, способной привести к неравномерному росту наноструктур. В таблице 1 представлены данные изменения элементного состава исследуемых наноструктур в зависимости от условий синтеза.

Таблица 1. Данные энергодисперсионного анализа

Разность прикладываемых потенциалов, В	Co, at. %	Zn, at. %	O, at. %
1.25	11.4	27.1	61.5
1.5	16.7	71.9	11.4
1.75	26.4	68.1	5.5
2.0	34.5	63.8	1.7
2.25	47.6	52.4	-
2.5	53.7	46.3	-

Как видно из представленных данных, при разности потенциалов 1.25 В в составе синтезированных нанопроволок преобладает кислород, большая концентрация которого обусловлена процессами внедрения ионов кислорода в кристаллическую решетку, и последующим процессам окисления нанопроволок. При этом содержания цинка в синтезированных нанопроволоках превышает концентрацию кобальта более, чем в два раза. Данное различие в элементном составе обусловлено разницей в потенциалах восстановления кобальта и цинка, при низких разностях потенциалов восстановление кобальта из раствора электролита происходит медленно, в то время как цинк восстанавливается значительно быстрее и может образовывать устойчивые оксидные соединения. Увеличение разности прикладываемых потенциалов с 1.25 до 2.0 В приводит к резкому снижению концентрации кислорода в структуре нанопроволок с 61.5 ат. % при 1.25 В до 5.5 и 1.7 ат. % при 1.75 и 2.0 В соответственно, а также увеличению концентрации кобальта в структуре.

На рисунке 2 представлены рентгеновские дифрактограммы исследуемых наноструктур в зависимости от разности прикладываемых потенциалов. Общий вид дифрактограмм характерен для рассеивания рентгеновского излучения на объектах, состоящих из наноразмерных кристаллитов, поликристаллического типа, размер которых не превышает 20-50 нм.

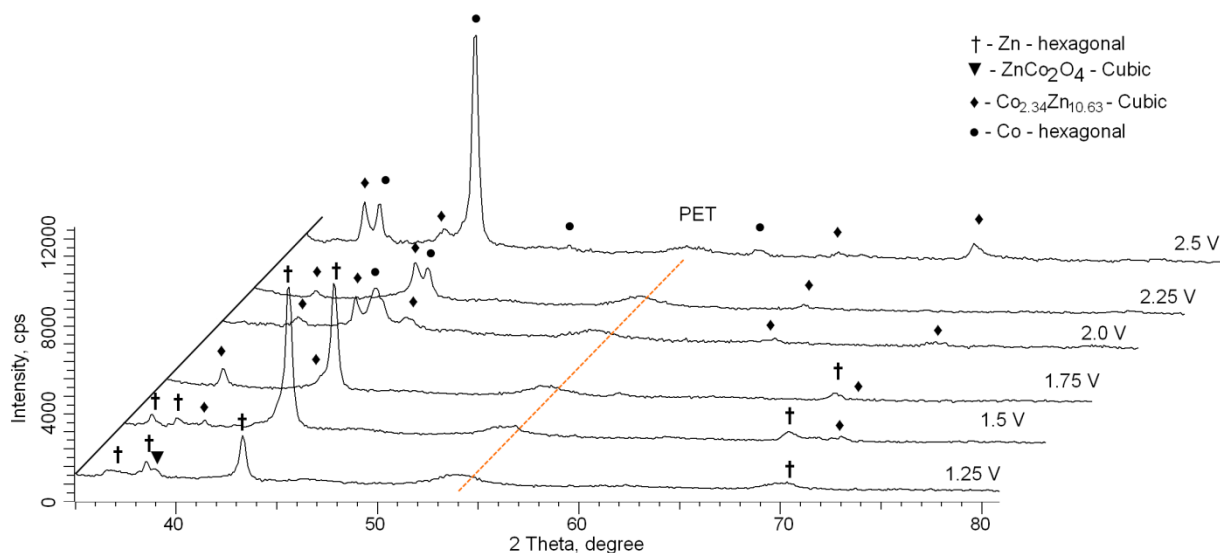


Рисунок 2. Рентгеновские дифрактограммы исследуемых CoZnO наноструктур

В случае, когда разность потенциалов осаждения составляла 1.25 В, фазовый состав синтезированных нанопроволок представляет собой смесь двух различных фаз характерных для фазы цинка с гексагонального типа кристаллической структурой и фазы ZnCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> шпинельного типа. Наличие оксидной фазы шпинель подтверждает высказанное ранее предположение о наличии оксидных фаз при больших концентрациях кислорода в структуре

нанопроволок. При этом содержание оксидной фазы не превышает 22-25 %. При этом в случае формирования наноструктур при разности потенциалов 1.25 В наблюдается большая разница в размерах кристаллитов для каждой фазы, что свидетельствует о разной скорости формирования различных фаз. Увеличение разности потенциалов выше 1.5 В приводит к вытеснению оксидной фазы из структуры с образованием фазы твердого раствора замещения  $\text{Co}_{2.34}\text{Zn}_{10.63}$ , содержание которой в последующем увеличивается с увеличением разности прикладываемых потенциалов. Увеличение концентрации кобальта в структуре нанопроволок приводит не только к увеличению концентрации фазы  $\text{Co}_{2.34}\text{Zn}_{10.63}$ , но и изменению межплоскостных расстояний. Смещение дифракционных максимумов в область меньших углов свидетельствует об увеличении величины межплоскостных расстояний, что в виду увеличения содержания кобальта в структуре нанопроволок свидетельствует о процессах замещения атомами кобальта атомов цинка в узлах и междоузлиях кристаллической решетки.

### Заключение

В работе рассмотрены процессы фазовых превращений в  $\text{CoZnO/CoZn}$  наноструктурах в зависимости от разности прикладываемых потенциалов в процессе электрохимического синтеза наноструктур. Полученные наноструктуры представляют собой поликристаллические нанопроволоки, фазовый состав которых меняется согласно схеме  $\text{Zn} - \text{Hexagonal/ZnCo}_2\text{O}_4 - \text{spinel} \rightarrow \text{Zn} - \text{Hexagonal/Co}_{2.34}\text{Zn}_{10.63} \rightarrow \text{Co} - \text{Hexagonal/Co}_{2.34}\text{Zn}_{10.63}$  в зависимости от условий синтеза. В ходе исследования установлено, что при малых разностях потенциалов (1.25-1.75 В) в структуре нанопроволок наблюдается наличие кислорода, который внедряется в кристаллическую структуру в процессе синтеза. При этом увеличение разности прикладываемых потенциалов выше 1.75 В приводит к увеличению концентрации кобальта в структуре нанопроволок сопровождающимся вытеснением кислорода и образованию структуры  $\text{Co/Zn}$  со стехиометрическим соотношением 1:1.

### Список литературы

1. Kadyrzhanov K. K. et al. Phase transformations in  $\text{CoZnO/CoZn}$  nanostructures depending on the difference in applied potentials //Surface and Coatings Technology. – 2020. – Vol. 386. – P. 125495.
2. Li Z. et al. Confined Synthesis of 2D Nanostructured Materials toward Electrocatalysis //Advanced Energy Materials. – 2019. – P. 1900486.
3. Chakraborty B. et al. Improved chemical water oxidation with Zn in the tetrahedral site of spinel-type  $\text{ZnCo}_2\text{O}_4$  nanostructure //Materials Today Chemistry. – 2020. – Vol. 15. – P. 100226.
4. Li S. et al. Nanostructured Co-based bifunctional electrocatalysts for energy conversion and storage: current status and perspectives //Journal of Materials Chemistry A. – 2019. – Vol. 7. – №. 32. – P. 18674-18707.
5. Zhang K. et al. The synthesis of core-shell nanowires with intense dielectric and magnetic resonance properties at microwave frequency //Journal of Materials Chemistry C. – 2019. – Vol. 7. – №. 12. – P. 3590-3597.
6. Chen L. et al. A novel route for the generation of  $\text{Co/CoZn/CoNi}$  layered double hydroxides at ambient temperature //Inorganic Chemistry Frontiers. – 2019. – Vol. 6. – №. 6. – P. 1415-1421.
7. Xu Y. et al. Highly sensitive and selective detection of acetone based on platinum sensitized porous tungsten oxide nanospheres //Sensors and Actuators B: Chemical. – 2020. – Vol. 307. – P. 127616.
8. Yao M. S. et al. MOF Thin Film-Coated Metal Oxide Nanowire Array: Significantly Improved Chemiresistor Sensor Performance //Advanced Materials. – 2016. – Vol. 28. – №. 26. – P. 5229-5234.