Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

**PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS
OF THE STUDY OF CLUSTERS,
NANOSTRUCTURES AND
NANOMATERIALS**

**FIZIKO-HIMIČESKIE ASPEKTY
IZUČENIÂ KLASTEROV,
NANOSTRUKTUR I NANOMATERIALOV**

выпуск 13

ТВЕРЬ 2021

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в журнале «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

<https://www.physchemaspects.ru>

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]. – Тверь: Издательство Тверского государственного университета, 2021. – Вып. 13. – 956 с.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-47789 от 13.12.2011.

Издание составлено из оригинальных статей, кратких сообщений и обзоров теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Журнал предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

Переводное название: Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials

Транслитерация названия: Fiziko-himičeskie aspekty izučeniâ klasterov, nanostruktur i nanomaterialov

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Print ISSN 2226-4442

Online ISSN 2658-4360

© Коллектив авторов, 2021

© Тверской государственной
университет, 2021

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНОГО ОКСИДА МЕДИ

М.А. Ясная¹, А.В. Блинов¹, А.Б. Голик¹, Д.Г. Маглакелидзе¹, А.А. Гвозденко¹,
А.А. Кравцов^{1,2}, А.А. Блинова¹

¹ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1

²ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр
Российской академии наук»

344006, Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41

blinov.a@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2021.13.937

Аннотация: В данной работе получены образцы наноразмерного оксида меди, стабилизированного полиэтиленгликолем различных марок с молекулярными массами от 200 до 6000 Да. Методом рентгеновской дифрактометрии исследована кристаллическая структура полученных образцов наноразмерного оксида меди. В результате рентгенофазового анализа установлено, что структура образцов представляет собой моноклинную кристаллическую решетку, с пространственной группой $C2/c$. Методом фотонно-корреляционной спектроскопии изучено влияние молекулярной массы полимера на размер наночастиц. Анализ результатов исследования показал наличие во всех образцах наноразмерного оксида меди (II), стабилизированного полиэтиленгликолем с различной молекулярной массой, одной фракции частиц, распределение которых по размеру носит мономодальный характер. Установлено, что молекулярная масса полиэтиленгликоля оказывает влияние на размер частиц CuO в коллоидных растворах, при этом фазовый состав и размеры кристаллитов остаются неизменными. Средний гидродинамический радиус частиц CuO в полученных образцах составляет порядка 140 ± 40 нм. Наименьшие значения гидродинамического радиуса 70 ± 15 нм наблюдаются в образце наноразмерного оксида меди, стабилизированного полиэтиленгликолем с молярной массой 6000 Да. Методом синхронного термического анализа исследовано влияние стабилизатора с различными молекулярными массами на фазовые переходы образцов при термической обработке. В результате термического анализа установлено, что оптимальной температурой прокаливания порошков наноразмерного CuO является $500^\circ C$.

Ключевые слова: оксид меди (II), полиэтиленгликоль, синхронный термический анализ, рентгеновская дифрактометрия, фотонно-корреляционная спектроскопия.

1. Введение

Современная электроника, медицина, фармация, биотехнологии и другие отрасли развиваются по пути уменьшения размеров основных элементов. Изменение размеров элементов и устройств на их основе от микрометрового до нанометрового диапазона приводит к кардинальному изменению физических, химических и биологических свойств, способствует расширению функциональных возможностей [1, 2]. Наноматериалы с необычными электронными, тепловыми, оптическими и другими свойствами, связанными с пониженной размерностью и

квантовыми размерными эффектами, широко исследуются в последнее время. Внедрение таких материалов в реальное производство требует, в первую очередь, обеспечения стабильности наноструктур, обладающих малыми объемами и высокоразвитой поверхностью [3, 4].

Перспективными материалами для создания элементов долговременной памяти, оптоэлектронных устройств, электродов литий-ионных аккумуляторов, газовых и биосенсоров, считаются наноструктуры на основе сегнетоэлектриков, диэлектриков и антиферромагнетиков [5]. Моноксид меди CuO с моноклинной кристаллической структурой является узкополосным полупроводником p -типа ($E_g = 1,2$ эВ) [5, 6], сверхпроводником с высокой температурой Кюри ($T_c = -60$ °C), как и другие оксиды переходных металлов, обладает антиферромагнитными свойствами с температурой Нилы $T_n = 230$ К [7, 8]. Помимо этого, CuO обладает высокой теплопроводностью, температурной стабильностью, высокой сенсibilизацией к химическим и биологическим соединениям, фотоэлектрическими, фотокаталитическими и антимикробными свойствами [9-11].

Для получения наноструктур на основе монооксида меди используют различные методы, например, бактериальный синтез, «зелёный» синтез, электролитический метод, микроволновый синтез, термическое разложение, гидротермальный метод синтеза и золь-гель метод [12, 13]. Каждый из разработанных методов имеет свои достоинства и недостатки, однако метод осаждения на сегодняшний день является наиболее простым, в аппаратном исполнении, и экономичным методом синтеза наночастиц оксида меди (II).

2. Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Наночастицы оксида меди (II) получали методом осаждения. В качестве прекурсора использовали ацетат меди $Cu(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$ (чда, «Михайловский завод химических реактивов», г. Барнаул), а в качестве осадителя использовали водный раствор гидроксида натрия $NaOH$ (чда, ООО «Поволжье», г. Дзержинск). Для стабилизации наночастиц оксида меди (II) использовали полиэтиленгликоль (ПЭГ) с различной молекулярной массой 200, 400, 1500, 4000, 6000 Да (ООО «Завод синтанолов», г. Дзержинск).

Наночастицы CuO , стабилизированные полиэтилен гликолем, получали в три этапа. На первом этапе получали растворы ацетата меди с ПЭГ различной молекулярной массой (от 200 до 6000 Да). Полученный раствор нагревали до температуры кипения при постоянном перемешивании. На втором этапе, в кипящий раствор ацетата меди с ПЭГ

по каплям вводили раствор осадителя (гидроксид натрия). Об образовании наночастиц CuO судили по изменению окраски раствора с голубой на темно-коричневую. При постоянном перемешивании получали коллоидный раствор CuO , который затем охлаждали до комнатной температуры. На третьем этапе раствор, содержащий наночастицы CuO , центрифугировали, многократно промывая этиловым спиртом, а затем полученный осадок высушивали в сушильном шкафу при $T = 60^\circ\text{C}$.

Предварительную оценку размеров наночастиц CuO и их распределение по размерам в коллоидных растворах осуществляли методом динамического светорассеяния света с помощью многофункционального спектрометра динамического и статического рассеяния света «Photocor-Complex» (производство «Антек», Россия).

Идентификацию образцов наноразмерного CuO , стабилизированного полиэтилен гликолем, осуществляли методом порошковой дифрактометрии (рентгенофазовый анализ) на рентгеновском дифрактометре «Empyrean» серии 2.

Синхронный термический анализ осуществляли методами дифференциального термического анализа (ДТА) и термогравиметрии (ТГ), совмещенными с масс-спектроскопией на приборе «NETZSCH STA 449 F5 Jupiter» (Германия). В качестве программного обеспечения использовался пакет программ «NETZSCH Proteus-Thermal Analysis», v. 6.1.0.

Для получения информации о влиянии молекулярной массы стабилизатора на дисперсионный состав коллоидных частиц CuO (размер частиц, распределение по размерам) полученные порошки CuO редиспергировали в дистиллированной воде и исследовали методом фотонно-корреляционной спектроскопии. Анализ гистограмм распределения гидродинамических радиусов показал наличие во всех образцах наноразмерного оксида меди (II), стабилизированного ПЭГ с различной молекулярной массой, одной фракций частиц, распределение которых по размеру носит унимодальный характер. Средний гидродинамический радиус частиц CuO в водных золях составляет порядка 140 ± 40 нм. Наименьшие значения гидродинамического радиуса 70 ± 15 нм наблюдаются в образце наноразмерного оксида меди, стабилизированного полиэтиленгликолем с молярной массой 6000 Да.

Образцы наноразмерного оксида меди, стабилизированные ПЭГ ($M_r = 200, 400, 1500, 4000, 6000$ Да), исследовали с помощью рентгенофазового анализа. Дифрактограммы образцов CuO , стабилизированных ПЭГ с различными молекулярными массами, имеют аналогичный характер. На рис. 1 представлена одна из дифрактограмм наноразмерного оксида меди, стабилизированного ПЭГ 200.

Рис. 1. Дифрактограмма образца наноразмерного оксида меди (II), стабилизированного ПЭГ-200.

Рис. 2. Дериватограмма образца наноразмерного оксида меди (II), стабилизированного ПЭГ-200.

В результате рентгенофазового анализа установлено, что полученные образцы представляют собой оксид меди (II) с моноклинной-бета кристаллической решеткой, пространственная группа $C2/c$. Малая интенсивность пиков и их уширение говорят о том, что частицы находятся

в нанокристаллическом состоянии. Расчет диаметра кристаллитов выполнили по методу Дебая-Шеррера. Как показали результаты расчетов, размер кристаллитов наноразмерного оксида меди (II) составляет 13 ± 2 нм, и не зависит от молекулярной массы используемого для стабилизации полимера.

Синхронный термический анализ осуществляли методами ДТА и ТГ, совмещенными с масс-спектроскопией. Нагрев образцов вели в диапазоне температур 25–1080 °С. Скорость нагрева образцов – 30 С/мин. Все измерения проводились в потоке воздуха с расходом 40 см³/мин. В процессе нагревания образцов фиксировались изменения концентрации оксида углерода (IV) и паров воды в газовой фазе. На рис. 2 представлена дериватограмма образца наноразмерного CuO, стабилизированного ПЭГ-200.

Дериватограммы образцов наноразмерного CuO, стабилизированного ПЭГ с различной молекулярной массой, носят схожий характер. На термогравиметрических кривых всех образцов можно выделить четыре основных участка (см. рис. 3).

Рис. 3. Термогравиметрические кривые образцов наноразмерного оксида меди, стабилизированного ПЭГ с молекулярными массами 200, 400, 1500, 4000, 6000 Да.

На первом участке в интервале температур от 60 до 200 °С происходит испарение остатков растворителя, физически и химически адсорбированной воды. В этом же интервале температур начинается превращение гидроксида меди (II) в оксид меди (II):

Как видно из рис. 4 а, в интервале температур 60–200 °С происходит

первое увеличение концентрации паров воды в газовой фазе, при этом концентрация оксида углерода (IV) остается минимальной.

Рис. 4. Изменение концентрации паров воды (а) и CO_2 (б) в газовой фазе при термогравиметрическом анализе образцов наноразмерного CuO , стабилизированного ПЭГ.

На втором участке в интервале температур от 200 до 400 $^{\circ}C$ происходит термическая и окислительная деструкция полимера. Протекание этих процессов сопровождается резким изменением массы образцов. Потеря массы у различных образцов составляет в данном интервале температур от 20 до 35%. Процесс разложения ПЭГ начинается около 120 $^{\circ}C$ [14]. Скорость разложения полимера резко возрастает при температурах 180–200 $^{\circ}C$ и достигает своего максимума при 240–280 $^{\circ}C$. Процесс разложения ПЭГ сопровождается выделением большого количества оксида углерода (IV) и воды (см. рис. 4 а и 4 б). Максимальные

концентрации CO_2 и H_2O у образцов стабилизированных низкомолекулярным ПЭГ (200, 400 Да) наблюдаются в интервале температур 250–280 °С. Разложение высокомолекулярного ПЭГ (1500 – 6000 Да) идет в несколько стадий, что выражается в появлении второго максимума концентраций CO_2 и H_2O в интервале температур 350–380 °С. Полное разложение ПЭГ происходит при температуре около 600 °С.

При дальнейшем повышении температуры от 350 до 500 °С наблюдается третий участок изменения массы образца – масса образцов увеличилась в среднем на 5%. При осаждении оксида меди (II) из водных растворов, как правило, CuO не является единственным продуктом реакции. Одновременно в реакционной системе идет образование гидратированного оксида меди (I) переменного состава $Cu_2O \cdot nH_2O$. Увеличение массы образцов, по-видимому, связано с окислением до оксида меди (I) Cu_2O .

На следующем температурном участке от 500 до 1000 °С масса образцов оксида меди (II) остается постоянной. При дальнейшем увеличении температуры от 1000 до 1080 °С происходит потеря массы образцов оксида меди порядка 10%. Что связано с интенсивным разложением CuO до металлической меди и потерей большого количества кислорода.

На основании всего вышесказанного можно заключить, что наиболее оптимальной температурой прокаливания для получения «чистого» наноразмерного оксида меди является $T = 500$ °С, позволяющая удалить все примесные соединения, воду и не изменяющая фазовый состав образцов наноразмерного CuO .

3. Заключение

В результате проведенных исследований по получению и стабилизации наноразмерного оксида меди (II) полиэтиленгликолем с различной молекулярной массой было установлено, что:

1) размер коллоидных частиц CuO , стабилизированных ПЭГ, в водных золях уменьшается с ростом молекулярной массы используемого в качестве стабилизатора полимера;

2) молекулярная масса полимера-стабилизатора не влияет на размер кристаллитов наноразмерного CuO , который составляет 13 ± 2 нм;

3) результаты синхронного термического анализа показали, что оптимальной температурой прокаливания порошков наноразмерного CuO является 500 °С. При этой температуре происходит удаление физически и

химически связанной воды, примесных соединений и части полимера. Молекулярная масса полиэтиленгликоля, использованного для стабилизации наноразмерного CuO , не оказывает влияние на структуру, размер и фазовый состав образцов.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП Северо-Кавказского федерального университета при финансовой поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор проекта RF - 296.61321X0029 (соглашение № 075-15-2021-687).

Библиографический список:

1. **Radhakrishnan, A.A.** Structural and optical absorption analysis of CuO nanoparticles / A.A. Radhakrishnan, B.B. Beena // Indian Journal of Advances in Chemical Science. – 2014. – V. 2. – I. 2. – P. 158-161.
2. **Devi, H.S.** Synthesis of copper oxide nanoparticles by a novel method and its application in the degradation of methyl orange / H.S. Devi, T.D. Singh // Advance in Electronic and Electric engineering. – 2014. – V. 4. – № 1. – P. 83-88.
3. **Ahamed, M.** Synthesis, characterization, and antimicrobial activity of copper oxide nanoparticles / M. Ahamed, H.A. Alhadlaq, M.A.M. Khan et al. // Journal of Nanomaterials. – 2014. – V. 2014. – Art. ID 637858. – 4 p. DOI: 10.1155/2014/637858.
4. **Rani, R.** Antibacterial activity of copper oxide nanoparticles against gram negative bacterial strain synthesized by reverse micelle technique / R. Rani, H. Kumar, R.K. Salar, S.S. Purewal // International Journal of Pharmaceutical Research and Development. – 2014. – V. 6. – I. March. – P. 72-78.
5. **Tiwari, J.N.** Zero-dimensional, one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional nanostructured materials for advanced electrochemical energy devices / J.N. Tiwari, R.N. Tiwari, K.S. Kim // Progress in Materials Science. – 2012. – V. 57. – I. 4. – P. 724-803. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2011.08.003.
6. **Xia, Y.** One-dimensional nanostructures: synthesis, characterization, and applications / Y. Xia, P. Yang, Y. Sun et al. // Advanced Materials. – 2003. – V. 15. – I. 5. – P. 353-389. DOI: 10.1002/adma.200390087.
7. **Bourne, L.C.** High-pressure electrical conductivity measurements in the copper oxides / L.C. Bourne, P.Y. Yu, A. Zettl, M.L. Cohen // Physical Review B. – 1989. – V. 40. – I. 16. – P. 10973-10976. DOI: 10.1103/physrevb.40.10973.
8. **Azam, A.** Size-dependent antimicrobial properties of CuO nanoparticles against Gram-positive and -negative bacterial strains / A. Azam, A.S. Ahmed, M. Oves et al. // International Journal Nanomedicine. – 2012. – V. 7. – P. 3527-3535. DOI: 10.2147/ijn.s29020.
9. **Siemons, W.** Tetragonal CuO : end member of the $3d$ transition metal monoxides / W. Siemons, G. Koster, D.H.A. Blank et al. // Physical Review B. – 2009. – V. 79. – I. 19. – P. 195122-1-195122-7. DOI: 10.1103/physrevb.79.195122.
10. **Wu, D.** LSDA+U study of cupric oxide: electronic structure and native point defects / D. Wu, Q. Zhang, M. Tao // Physical Review B. – 2006. – V. 73. – I. 23. – P. 235206-1-235206-6. DOI: 10.1103/physrevb.73.235206.
11. **Anisimov, V.** First-principles calculations of the electronic structure and spectra of strongly correlated systems: the LDA+U method / V. Anisimov, F. Aryasetiawan, A. Lichtenstein // Journal of Physics Condensed Matter. – 1997. – V. 9. – № 4. – P. 767-808. DOI: 10.1088/0953-8984/9/4/002.
12. **Hasan, S.S.** Bacterial synthesis of copper/copper oxide nanoparticles / S.S. Hasan, S. Singh, R.Y. Parikh et al. // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2008. – V. 8. – I. 6. – P. 3191-3196. DOI: 10.1166/jnn.2008.095.
13. **Saito, G.** Synthesis of copper/copper oxide nanoparticles by solution plasma / G. Saito, S. Hosokai, M. Tsubota, T. Akiyama // Journal of Applied Physics. – 2011. – V. 110. – I. 2. – P. 023302-1-023302-6. DOI: 10.1063/1.3610496.
14. **Sampaio da Silva, F.A.** Study of thermal degradation of PEG/PVP coating adsorbed in Fe_3O_4 nanoparticles / F.A. Sampaio da Silva, E.E.G. Rojas, M.F. de Campos // Materials Science Forum. – 2016. – V. 881. – P. 481-484. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.881.481.

References:

1. Radhakrishnan A.A., Beena B.B. Structural and optical absorption analysis of *CuO* nanoparticles, *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 2014, vol. 2, issue 2, pp. 158-161.
2. Devi H.S., Singh T.D. Synthesis of copper oxide nanoparticles by a novel method and its application in the degradation of methyl orange, *Advance in Electronic and Electric engineering*, 2014, vol. 4, no. 1, pp. 83-88.
3. Ahamed M., Alhadlaq H.A., Khan M.A.M. et al. Synthesis, characterization, and antimicrobial activity of copper oxide nanoparticles, *Journal of Nanomaterials*, 2014, vol. 2014, art. id 637858, 4 p. DOI: 10.1155/2014/637858.
4. Rani R., Kumar H., Salar R.K., Purewal S.S. Antibacterial activity of copper oxide nanoparticles against gram negative bacterial strain synthesized by reverse micelle technique, *International Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 2014, vol. 6, issue march, pp. 72-78.
5. Tiwari J.N., Tiwari R.N., Kim K.S. Zero-dimensional, one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional nanostructured materials for advanced electrochemical energy devices, *Progress in Materials Science*, 2012, vol. 57, issue 4, pp. 724-803. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2011.08.003.
6. Xia Y., Yang P., Sun Y. One-dimensional nanostructures: synthesis, characterization, and applications, *Advanced Materials*, 2003, vol. 15, issue 5, pp. 353-389. DOI: 10.1002/adma.200390087.
7. Bourne L.C., Yu P.Y., Zettl A., Cohen M.L. High-pressure electrical conductivity measurements in the copper oxides, *Physical Review B*, 1989, vol. 40, issue 16, pp. 10973-10976. DOI: 10.1103/physrevb.40.10973.
8. Azam A., Ahmed A.S., Oves M. et al. Size-dependent antimicrobial properties of *CuO* nanoparticles against Gram-positive and -negative bacterial strains, *International Journal Nanomedicine*, 2012, vol. 7, pp. 3527-3535. DOI: 10.2147/ijn.s29020.
9. Siemons W., Koster G., Blank D.H.A. et al. Tetragonal *CuO*: end member of the 3d transition metal monoxides, *Physical Review B*, 2009, vol. 79, issue 19, pp. 195122-1-195122-7. DOI: 10.1103/physrevb.79.195122.
10. Wu D., Zhang Q., Tao M. LSDA+U study of cupric oxide: electronic structure and native point defects, *Physical Review B*, 2006, vol. 73, issue 23, pp. 235206-1-235206-6. DOI: 10.1103/physrevb.73.235206.
11. Anisimov V., Aryasetiawan F., Lichtenstein A. First-principles calculations of the electronic structure and spectra of strongly correlated systems: the LDA+ U method, *Journal of Physics Condensed Matter*, 1997, vol. 9, no. 4, pp. 767-808. DOI: 10.1088/0953-8984/9/4/002.
12. Hasan S.S., Singh S., Parikh R.Y. et al. Bacterial synthesis of copper/copper oxide nanoparticles, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2008, vol. 8, issue 6, pp. 3191-3196. DOI: 10.1166/jnn.2008.095.
13. Saito G., Hosokai S., Tsubota M., Akiyama T. Synthesis of copper/copper oxide nanoparticles by solution plasma, *Journal of Applied Physics*, 2011, vol. 110, issue 2, pp. 023302-1-023302-6. DOI: 10.1063/1.3610496.
14. Sampaio da Silva, F.A., Rojas E.E.G., de Campos M.F. Study of thermal degradation of PEG/PVP coating adsorbed in *Fe₃O₄* nanoparticles, *Materials Science Forum*, 2016, vol. 881, pp. 481-484. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.881.481.

Original paper

**INFLUENCE OF THE POLYETHYLENE GLYCOL MOLECULAR MASS ON THERMAL
TRANSITIONS OF NANOSIZED COPPER OXIDE**

M.A. Yasnaya¹, A.V. Blinov¹, A.B. Golik¹, D.G. Maglakelidze¹, A.A. Gvozdenko¹, A.A. Kravtsov^{1,2},
A.A. Blinova¹

¹*North-Caucasian Federal University, Stavropol, Russia*

²*Federal Research Center The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Rostov-on-Don, Russia*

DOI: 10.26456/pcascnn/2021.13.937

Abstract: In this work, samples of nanosized copper oxide stabilized with polyethylene glycol of various grades with molecular weights from 200 to 6000 Da were obtained. The crystal structure of the samples was investigated by X-ray diffractometry. As a result of the XRD analysis, it was found that the samples have a monoclinic crystal lattice with space group *C2/c*. The effect of the molecular weight of the polymer on the size of nanoparticles was studied by the photon correlation spectroscopy method. Analysis of the results showed the presence of one fraction of particles in all samples, the size distribution was monomodal. It was found that the molecular weight of polyethylene glycol has an effect on the *CuO* particle size in colloidal solutions, while the phase composition and crystallite size

remain unchanged. The average hydrodynamic radius of CuO particles in the obtained samples was about 140 ± 40 nm. The smallest hydrodynamic radius of 70 ± 15 nm was observed in a sample of nanosized copper oxide stabilized with polyethylene glycol with a molecular weight of 6000 Da. The effect of stabilizers with different molecular weights on the phase transitions of samples during heat treatment was investigated by the synchronous thermal analysis. As a result of thermal analysis, it was found that the optimum temperature for calcining nanosized CuO powders was 500°C .

Keywords: copper oxide (II), polyethylene glycol, synchronous thermal analysis, XRD, photon correlation spectroscopy.

Ясная Мария Анатольевна – к.х.н., доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Блинов Андрей Владимирович – к.т.н., доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Голик Алексей Борисович – студент 4 курса кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Маглакелидзе Давид Гурамович – студент 2 курса кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Гвозденко Алексей Алексеевич – студент 4 курса кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Кравцов Александр Александрович – к.т.н., научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории керамики и технохимии научно-лабораторного комплекса чистых зон физико-технический факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», старший научный сотрудник лаборатории физики и технологии полупроводниковых наногетероструктур для СВЧ электроники и фотоники ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук»

Блинова Анастасия Александровна – к.т.н., доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Mariya A. Yasnaya – Ph. D., Docent, Department of Electronics and Nanotechnology of the Engineering Institute, North-Caucasus Federal University

Andrey. V. Blinov – Ph. D., Docent, Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North-Caucasus Federal University

Alexey B. Golik – 4th year student, Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North-Caucasus Federal University

David G. Maglakelidze – 2nd year student, Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North-Caucasus Federal University

Alexey A. Gvozdenko – 4th year student, Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North-Caucasus Federal University

Aleksandr A. Kravtsov – Ph. D., Researcher, Scientific-research Laboratory of Ceramics and Technochemistry, Scientific-laboratory Complex of Clean Rooms, Physics and Technology Faculty, North-Caucasus Federal University, Senior Researcher, Laboratory of Physics and Technology of Semiconductor Nanoheterostructures for Microwave Electronics and Photonics, Federal Research Center The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences

Anastasiya A. Blinova – Ph. D., Docent, Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North-Caucasus Federal University

Поступила в редакцию/received: 26.07.2021; после рецензирования/revised: 27.08.2021; принята/accepted 01.09.2021.