

Структура и морфология наночастиц Ni-Cr сплава синтезированных методами лазерной абляции и электровзрывным разрядом в воде

С. А. Нуретдинов

*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь,
e-mail: znosko@rambler.ru, sergey.admin@mail.ru*

Синтезированы наночастицы Ni-Cr сплава методами использующими плазменное состояние вещества – лазерной абляцией и электровзрывным разрядом в дистиллированной воде. Определены условия, позволяющие получать наносuspензии с воспроизводимыми размерными распределениями наночастиц. Полученные наночастицы имеют пирамидальную и октаэдрическую форму. Их количество в размерном диапазоне 40 – 80 нм составляет порядка 50 %.

Ключевые слова: наночастица; лазерно-плазменный синтез наночастиц; лазерная абляция в жидкости; электровзрывной разряд; АСМ-микроскопия.

Structure and morphology of Ni-Cr alloy nanoparticles synthesized by laser ablation methods and electric explosive discharge in water

S. A. Nuretdinov

*Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Belarus,
e-mail: znosko@rambler.ru, sergey.admin@mail.ru*

Ni-Cr alloy nanoparticles were synthesized using methods using the plasma state of matter - laser ablation and electric explosive discharge in distilled water. Conditions have been determined that make it possible to obtain nanosuspensions with reproducible size distributions of nanoparticles. Nanoparticles have a pyramidal and octahedral structure. Their number in the size range 40–80 nm exceeds 60 %.

Keywords: nanoparticle; laser-plasma synthesis of nanoparticles; laser ablation in liquid; electric explosive discharge; AFM microscopy.

Введение

Используемые методы синтеза наночастиц можно разделить на три большие группы. К первой группе относятся диспергационные методы. Это разнообразные методы, в которых используется процесс дробления (диспергирования) макрообъекта на наночастицы. Вторую группу составляют конденсационные методы. Это методы, в которых происходит синтез (конденсация) наночастиц из отдельных атомов, молекул, ионов. К третьей группе относятся диспергационно-конденсационные методы. Это методы, у которых на первой стадии происходит дробление макрообъекта на атомы, молекулы или ионы, а на второй стадии – синтез (конденсация) из них наночастиц. Среди диспергационно-конденсационных методов синтеза наночастиц отдельной группой стоят методы, использующие плазменное состояние вещества [1–3].

Одним из таких методов является импульсная лазерная абляция твердофазных материалов в жидкостях [4–6]. Сфокусированное лазерное излучение направ-

ляется на твердофазный объект, расположенный в жидкости (воде, этаноле и др.). На границе раздела фаз жидкость-твёрдое тело формируется эрозионный плазменный факел, содержащий атомы и ионы твёрдого тела и жидкости. По мере рекомбинации плазменного факела в нем происходит наноструктурная конденсация вещества. Образуются кластеры, которые, сталкиваясь друг с другом, атомами и ионами, увеличиваются в размерах вплоть до субмикронного уровня. Протекание абляции в жидкости приводит к аккумулярованию ею синтезированных наночастиц. В итоге получают наносuspensions. Изменением параметров лазерного излучения, положения твердофазного объекта в жидкости можно в определенной степени управлять синтезом наночастиц и их свойствами. Для синтеза наночастиц методом импульсной лазерной абляции в жидкости чаще всего применяются серийные YAG:Nd³⁺-лазеры, излучающие на длине волны 1,06 мкм [7], однако лучшие результаты получаются при использовании ультрафиолетовых эксимерных лазеров [8], что обусловлено более высокой поглощательной способностью веществ к ультрафиолетовому излучению, чем к инфракрасному.

Более производительным плазменным методом синтеза наночастиц является электрический взрыв проводников и электровзрывной разряд [9–12]. Тонкий проводник погружается в жидкость. К его концам прикладывается импульсное высокое напряжение, и по нему протекает электрический ток большой величины. Вследствие этого он нагревается, плавится, испаряется, а пар частично ионизируется. Происходит электрический взрыв проводника, и на месте проводника в жидкости образуется плазменный канал. На внешней границе плазменный канал контактирует с окружающей его жидкостью. Вследствие столкновения молекул и ионов плазмы с молекулами жидкости происходят плазмо-химические реакции, в результате которых может происходить синтез новых веществ. После того, как электрический ток перестает течь по плазменному каналу, прекращается энерговклад в него. Температура и давление в плазменном канале падают, начинается рекомбинация остывающей плазмы. По мере рекомбинации плазменного канала в нем происходит конденсация вещества и синтез наночастиц, состоящих из атомов проводника, и атомов окружающей его жидкости.

Целью настоящей работы является исследование состава, свойств и структуры наночастиц Ni-Cr сплава синтезированных методами лазерной абляции и электровзрывным разрядом в дистиллированной воде.

1. Экспериментальные установки

На рис. 1 приведена схема установки для синтеза наночастиц методом лазерной абляции. Она состоит из YAG:Nd³⁺-лазера, который генерировал наносекундные импульсы длительностью до 30 наносекунд и энергией до 300 мДж, плоскопараллельной пластинки, отражающей 8% лазерного излучения, измерителя энергии лазерного излучения Ophir Pulsar 4, поворотной призмы, направляющей лазерное излучение вниз, и фокусирующей линзы, кюветы с жидкостью, в которой расположена мишень (твёрдофазный объект подвергаемый лазерной абляции), системы перемещения кюветы с жидкостью и мишенью, и системы управления. В качестве мишени использовалась пластинка Ni-Cr сплава.

Схема установки для синтеза наночастиц методом электровзрывного разряда приведена на рис. 2. От источника высокого напряжения заряжался емкостной накопитель энергии 5, который состоял из двух включенных параллельно конденсаторов ИК25-12У4. После зарядки емкостей до необходимого напряжения он отключался. С блока поджига 3 поступал импульс для включения игнитрона ИРТ-6. Сформированный сильноточный импульс по тоководам подавался на электроды, к которым крепился образец 2. Электроды и разрушаемый образец находились в разрядной камере 1 и были погружены в дистиллированную воду объемом 0,5 литра. Разрушаемый образец имел длину 80 мм и толщину 0,4 мм.

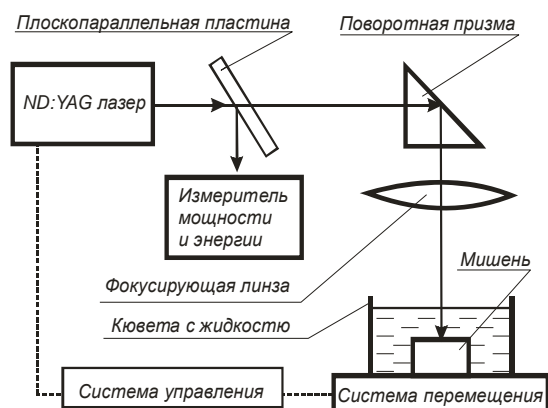


Рис. 1. Схема установки для синтеза наночастиц методом лазерной абляции

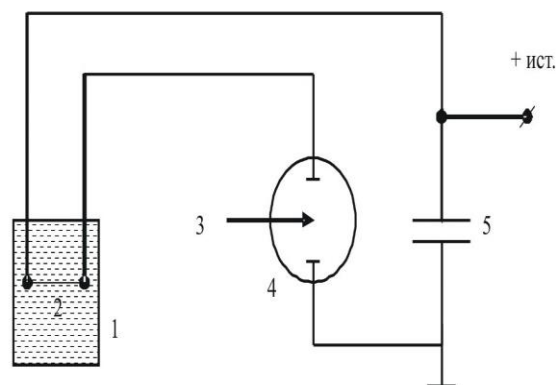


Рис. 2. Схема установки для синтеза наночастиц методом электровзрывного разряда

Исследования наночастиц проводилось с помощью атомно-силового микроскопа NT-206. Подготовка образцов осуществлялась следующим образом: на предметные стекла наносилось несколько капель полученных наносuspензий. Наночастицы осаждали на них после выпаривания воды.

2. Полученные результаты и их обсуждение

В результате диспергирования Ni-Cr сплава в дистиллированной воде электровзрывным разрядом были получены наносuspензии глянцево-черного отлива. Колбы с наносuspензиями едва пропускали естественный свет. Наносuspензии, полученные лазерной абляцией, были значительно светлее. На рис. 3 приведены боковые 3D АСМ-изображения наночастиц Ni-Cr сплава осажденных на предметные стекла из полученных наносuspензий (лазерная абляция слева). Синтезированные наночастицы имеют пирамидальную и октаэдрическую форму.

На рис. 4 приведены фронтальные АСМ-изображения наночастиц Ni-Cr сплава, осажденных на кварцевую подложку наночастиц (слева) и АСМ профилограммы двух соседних наночастиц (справа).

На рис. 5 приведены гистограммы, показывающие размерные распределения наночастиц Ni-Cr сплава, синтезированных обоими методами. Положение максимума гистограмм зависит от метода, используемого для синтеза наночастиц. Количество наночастиц размером 40–80 нм составляет порядка 50 %.

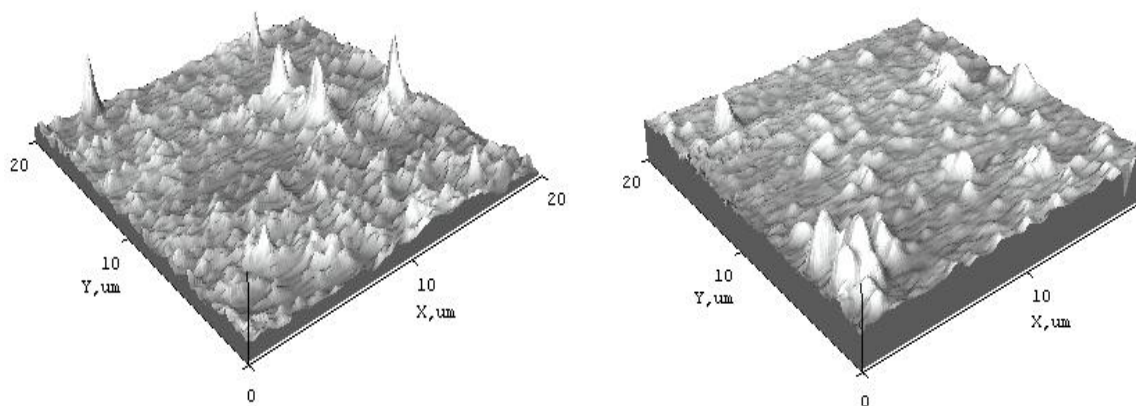


Рис. 3. Боковые 3D АСМ-изображения наночастиц Ni-Cr сплава

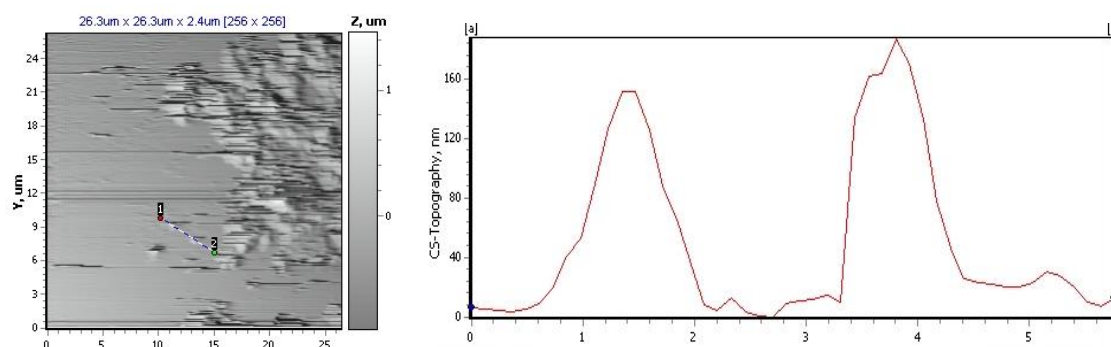


Рис. 4. АСМ профилограммы осажденных на кварцевую подложку наночастиц Ni-Cr сплава

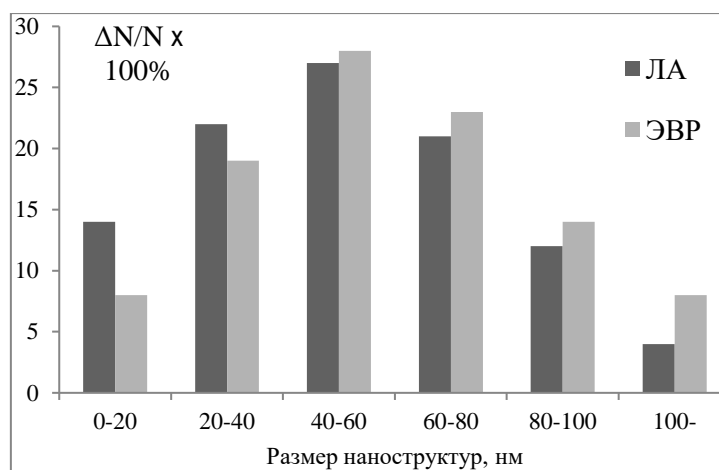


Рис. 5. Гистограммы размерных распределений наноструктур Ni-Cr сплава

Заключение

Произведен синтез наночастиц Ni-Cr сплава в плазме эрозионного факела, полученного импульсной лазерной абляцией, и в плазме электровзрывного разряда в дистиллированной воде. АСМ-микроскопией изучена структура и морфология осажденных на предметные стёкла наночастиц из полученных наносuspензий.

Морфологическое разнообразие наночастиц до 100 нм невысокое. Синтезированные наночастицы имеют пирамидальную и октаэдрическую форму. Особенностью является то, что распределение наночастиц, синтезированных методом электро-взрывного разряда, сдвинуто в сторону больших размеров наночастиц.

Библиографические ссылки

1. Орлов А. М. Электроплазменный метод получения металлических наночастиц заданного размера / А. М. Орлов, И. О. Явтушенко, Д. С. Боднарский // Журнал технической физики. 2015. Т. 85, № 5. С. 81–87.
2. Особенности физико-химических свойств нанопорошков и наноматериалов / А. П. Ильин [и др.] Томск: изд-во ПТУ, 2017. 212 с.
3. Модификация химического состава и повышение износостойкости полуфриттовой глазури напольной керамической плитки путем добавления плавленного корунда / С. С. Ануфрик [и др.] // Журнал Белорусского гос. университета. Физика. 2017. № 2. С. 83–94.
4. Получение наночастиц лазерной абляцией твердых тел в жидкости в режиме наносекундных импульсов / С. Д. Лещик [и др.] // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2014. Т. 14, № 2. С.84–87.
5. Лещик С. Д. Исследование частиц, генерированных лазерной абляцией твердых тел в жидкости / С. Д. Лещик, К. Ф. Зноско, Ю. К. Калугин // Вестник Брестского ГТУ. Серия: Машиностроение. 2014. № 4. С. 6–10.
6. Макаров Г. Н. Применение лазеров в нанотехнологии: получение наночастиц и наноструктур методами лазерной абляции и лазерной нанолитографии / Г. Н. Макаров // Успехи физических наук. 2013. Т. 183, № 7. С. 673–718.
7. Сергиенко И. Г. Влияние временного фактора на поведение наночастиц меди и суспензий на их основе, полученных методами импульсной лазерной абляции и электроразрядного разрушения / И. Г. Сергиенко, К. Ф. Зноско, С. Д. Лещик // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. 2017. Т. 7, № 2. С. 47–57.
8. Ануфрик С. С. Влияние параметров LC-контура на энергию генерации ХеСІ-лазера / С. С. Ануфрик, К. Ф. Зноско, А. Д. Курганский / Квантовая электроника. 1989. Т. 16, № 11. С. 2228–2231.
9. Production and characterization of molybdenum nanopowders obtained by electrical explosion of wires / A. P. Ilyin [et al.] // Optoelectronics and Advanced Materials – Rapid Communication. 2010. Vol. 4, No. 6. P. 834–837.
10. Synthesis of tungsten carbide nanopowder via submerged discharge method / V. S. Burakov [et al.] // J. of Nanoparticle Research. 2008. Vol. 10, No. 5. P. 881–886.
11. Сергиенко И. Г. Получение наноразмерных частиц методом электроразрядного разрушения материалов в жидкости и исследование их свойств / И. Г. Сергиенко, К. Ф. Зноско, В. В. Тарковский // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. 2017. Т. 7, № 1. С. 56–65.
12. Сергиенко И. Г. Получение наночастиц и суспензий на их основе методом электроразрядного разрушения в жидкости при микросекундном импульсе / И. Г. Сергиенко, К. Ф. Зноско, В. В. Тарковский // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. 2018. Т. 8, № 1. С. 50–61.
13. Chemical Composition of Ceramic Tile Glazes / S. S. Anufrik [et al.] // Journal of Applied Spectroscopy. 2016 Vol. 83, No 5. P. 764–770.