

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИЕЙ НИКЕЛЯ В ИЗОЛИРОВАННОМ ОБЪЕМЕ ЖИДКОСТИ

© 2016 г. С.Д. ЛЕЩИК, И.Г. СЕРГИЕНКО

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Беларусь

Введение

Согласно современным представлениям свойства частиц нанометрового диапазона отличаются от свойств микрочастиц, а тем более от свойств макроскопических тел, и могут быть специфичны при различии размера, например, в 10-20 нм [1]. Этот факт, наряду с развивающимися и совершенствующимися технологиями получения и исследования наночастиц, способствует интенсивному развитию исследований в данной научной и прикладной области. Одним из методов получения наночастиц из самых различных материалов является импульсная лазерная абляция (ИЛА) веществ, в том числе в жидкости. Этот метод применим как для неметаллов [2, 3], так и для металлов и сплавов [4-6]. При этом за счет изменения технологических режимов процесса ИЛА возможно регулирование размеров получаемых наноструктур. Образующиеся при лазерной абляции металлов в жидкой среде частицы металлов, оксидов металлов, сплавов, а также наноструктуры, имеющие многослойное строение представляют интерес во многих приложениях [1, 7, 8]: для очистки воды (наночастицы железа, диоксида титана), в качестве фотокатализаторов (оксиды титана и цинка), в качестве оптических сенсоров для обнаружения опухолей в медицине (металлические наночастицы); как красители (металлы и их оксиды), в области фундаментальных исследований и т.д. Большинство работ по генерации наночастиц путем ИЛА металлических мишеней и дальнейшему исследованию их свойств, касаются благородных металлов. Гораздо меньше внимания уделено изучению продуктов абляции в жидких средах других металлов. Целью настоящей работы явилось исследование продуктов импульсной лазерной абляции (ИЛА) никеля в жидкости, полученных при различных условиях проведения эксперимента.

Материалы, техника и методики исследований

Для проведения абляции использовали Nd:YAG-лазер LS-2147 с длиной волны 532 нм, 355 нм. Упрощенная схема эксперимента приведена на рис. 1.

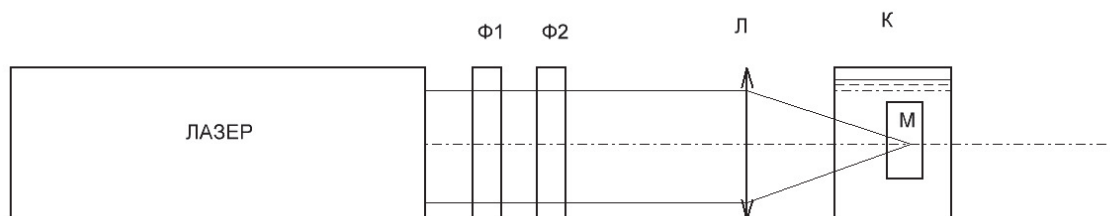


Рис. 1. Схема установки для получения наночастиц методом импульсной лазерной абляции: Ф1 – фильтр СЗС-23; Ф2 – фильтр УФС-5; Л – фокусирующая линза с $f=20$ мм; К – кварцевая кювета с жидкостью; М – мишень.

Для исключения излучения лазера на основной частоте используется светофильтр СЗС-23 (Ф1 на рис. 1) при работе на второй гармонике излучения. При работе на третьей гармонике дополнительно вводится фильтр Ф2 (УФС-5) для подавления из-

лучения второй гармоники. Параметры излучения лазера: длина волны 2-ой гармоники $\lambda=532$ нм, 3-ой гармоники – $\lambda=355$ нм, длительность светового импульса по полувысоте составляла 16 нс. Экспозиция при частоте следования лазерных импульсов 10 Гц составляла 30 минут, что соответствует 18000 импульсам. Энергия в импульсе варьировалась от 30 до 120 мДж. Лазерное излучение фокусировалось на мишень, находящуюся в жидкости, в пятно диаметром до 0,3 мм.

В качестве материала мишени использовали никель. В качестве жидкости, в которой осуществлялась абляция, применяли дистиллированную воду.

Исследования размерных характеристик частиц, проводили с использованием атомно-силового микроскопа NT-206. Сканирование проводили на воздухе, при нормальных условиях и комнатной температуре с использованием кантилевера CSC 38/AIBS жесткостью 0,03 Н/м. Образцы для атомно-силовой микроскопии (АСМ) представляли собой кварцевое стекло с высушенной на нем пробой суспензии, полученной лазерной абляцией твердых тел в жидкости.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлены характерные изображения частиц, полученных в результате абляции никеля в дистиллированной воде. Анализ полученных изображений свидетельствует о полидисперсности продуктов абляции и, соответственно, о протекании различных механизмов образования частиц. При воздействии лазерного импульса на поверхности мишени одновременно происходит плавление, взрывоподобное испарение и локальное разрушение мишени в результате действия ударной волны и термоупругих напряжений. Подавляющее большинство частиц имеют размер до 100 нм. Можно полагать, что доминирующими механизмами образования частиц являются выброс расплава и конденсация из парогазовой фазы. Не исключено протекание химических реакций.

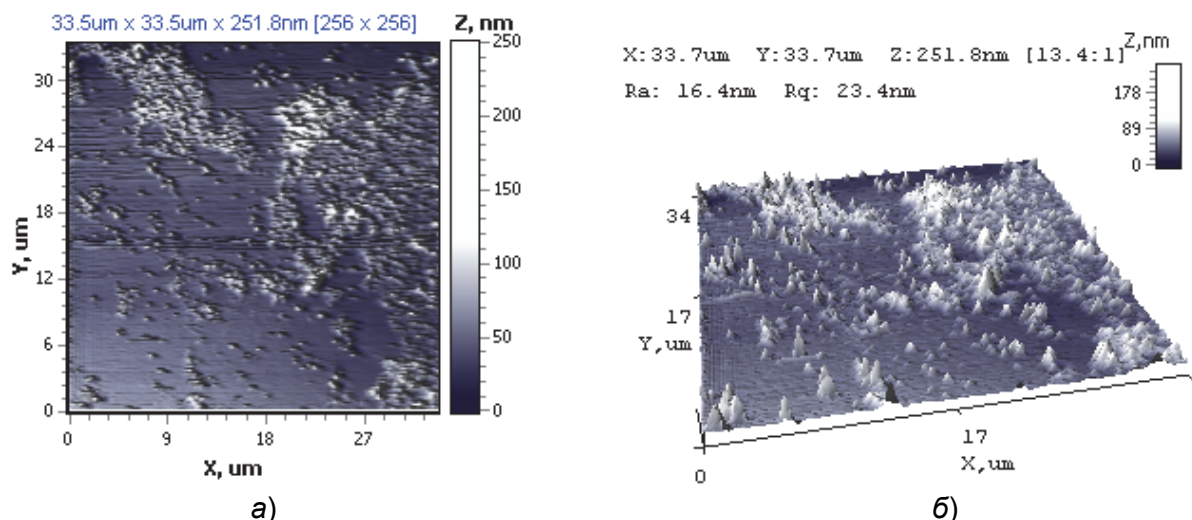


Рис. 2. Изображения частиц, полученных ИЛА никеля в дистиллированной воде: а – полутоновое изображение, б – 3D-изображение.

Анализ изображений частиц, полученных при различных режимах лазерного воздействия в диапазоне энергий в импульсе от 30 мДж до 120 мДж и длинах волн лазерного излучения равным 355 нм и 532 нм, не выявил ярко выраженных отличий в морфологии продуктов абляции.

Экспериментально установлено, что при увеличении плотности мощности лазерного излучения в диапазоне от $5,9 \times 10^7$ Вт/см² до $2,5 \times 10^8$ Вт/см² на длине волны равной 532 нм, преимущественный размер образующихся частиц возрастает с 20 нм до 60-80 нм (рис. 3). Тенденция к росту размера частиц при увеличении плотности мощности излучения подтвердилась при абляции лазерным излучением с длиной волны в 355 нм в диапазоне плотности мощности от $2,1 \times 10^7$ Вт/см² до $9,8 \times 10^8$ Вт/см².

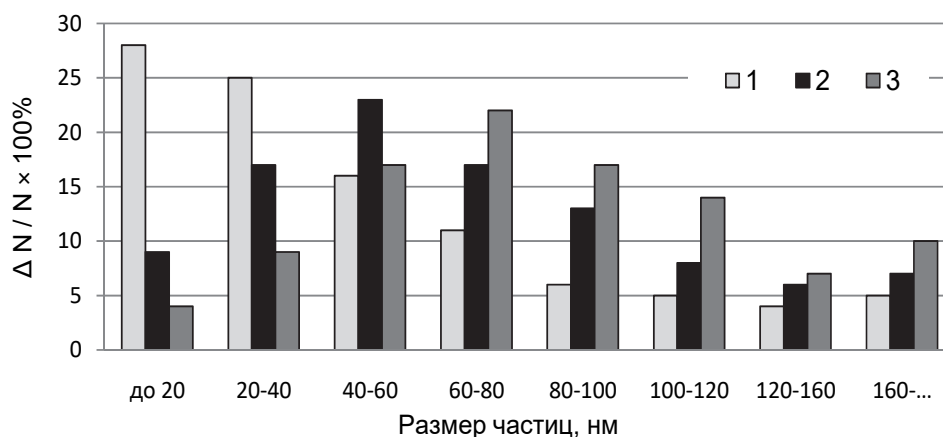


Рис. 3. Распределение частиц, полученных при абляции никеля в воде лазерными импульсами с длиной волны равной 532 нм, в зависимости от плотности мощности излучения Q: 1 – Q = 5,9x10⁷ Вт/см², 2 – Q = 1,8x10⁸ Вт/см², 3 – Q = 2,5x10⁸ Вт/см².

Увеличение размеров частиц при более интенсивном энергетическом воздействии на мишень, по всей вероятности, вызвано тем, что роль механизмов, отвечающих за образование крупных частиц, также возрастает.

Заключение

Экспериментально исследованы размерные характеристики наночастиц, полученных лазерной абляцией Ni в жидкости. Показано, что преимущественный размер наночастиц лежит в диапазоне до 100 нм. Выявлено, что изменение режимов лазерного воздействия оказывает влияние на распределение частиц по размерам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров Г.Н. Применение лазеров в нанотехнологии: получение наночастиц и наноструктур методами лазерной абляции и лазерной нанолитографии // Успехи физических наук. – 2013, т. 183, №7, с. 673-718.
2. Гракович П.Н. Лазерная абляция политетрафторэтилена // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. – 2008, т. LII, № 3, с. 97-105.
3. Лещик С.Д., Зноско К.Ф., Сергиенко И.Г. Получение наночастиц лазерной абляцией твердых тел в жидкости в режиме наносекундных импульсов // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения / Материалы междунар. науч.-техн. конф. «INTERMATIC – 2014», 1 – 5 декабря 2014 г. Москва. – М.: МГТУ МИРЭА, 2014, часть 2. – с. 84-87.
4. Казакевич П.В., Воронов В.В., Симакин А.В., Шафеев Г.А. Образование наночастиц меди и латуни при лазерной абляции в жидкости // Квантовая электроника. – 2004. – т. 34, № 10. – с. 951-956.
5. Симакин А.В., Воронов В.В., Шафеев Г.А. Образование наночастиц при лазерной абляции твердых тел в жидкостях // Труды института общей физики им. А.М. Прохорова. – 2004. – Том 64. – с. 83-107.
6. Казакевич В.С., Казакевич П.В., Ярьско П.С., Нестеров И.Г. Влияние физико-химических свойств жидкости на процессы лазерной абляции и фрагментации наночастиц Au в изолированном объеме // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – т. 14, № 4. – с. 64-69.
7. Поул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии // Москва: Техносфера. – 2006. – 336 с
8. Лещик С.Д., Шупан П.И., Лежава А.Г. Электроосаждение хрома из наноэлектролитов, полученных с использованием технологий лазерной абляции твердофазных материалов в водной среде // Весн. ГрДУ ім. Я. Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2015, № 1 (198), с. 13-19.