

УДК 539.21; 621.373.826  
doi: 10.18101/ 978-5-9793-0898-2-17-22

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ**

© **Гырылов Е. И.**, научный сотрудник,  
Институт физического материаловедения СО РАН,  
Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
E-mail: evivgyr.bsc@mail.ru

© **Номоев А. В.**, доктор физико-математических наук, доцент  
Бурятского государственного университета  
Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а  
E-mail: nomoevav@mail.ru

© **Балданов Б. Б.**, научный сотрудник,  
Бурятского государственного университета  
Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а  
E-mail: nomoevav@mail.ru

© **Табачкова Н. Ю.**, кандидат физико-математических наук, доцент  
Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС»  
Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4  
E-mail: ntabachkova@gmail.com

© **Хижняк М. А.**, научный сотрудник,  
Бурятский государственный университет  
Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а  
E-mail: nomoevav@mail.ru

© **Козлова В. В.**, студент,  
Бурятский государственный университет  
Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а  
E-mail: nomoevav@mail.ru

Разработана экспериментальная установка для получения наночастиц в научных целях. В установке используется иттербиевый импульсный волоконный лазер, автоматизированная система перемещения мишени. Установка позволяет получать коллоидные растворы наночастиц, например Ta и Si в этиловом спирте (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH).

*Ключевые слова:* экспериментальная установка, нанотехнологии, наночастицы, коллоидный раствор, лазерная абляция.

Под лазерной абляцией понимается метод удаления вещества с поверхности лазерным импульсом. При плотности мощности лазерного импульса, превышающей порог режима абляции, происходит микровзрыв с образованием кратера на поверхности образца и светящейся плазмы вместе с разлетающимися частицами. При лазерной абляции твердых тел в жидкостях параплазменное облако, вырвавшееся из мишени, быстро остывает с формированием частиц малого размера, наночастицы остаются в объеме жидкости, образуя коллоидный раствор.

Лазерная абляция в жидкости имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами. В первую очередь это отсутствие контакта с реакционной средой и внесения посторонних химических реагентов. Это позволяет получать наночастицы высокой чистоты практически любых материалов от металлов и керамики до полимеров в чистых растворителях. К недостаткам метода относится невысокая производительность, при концентрации наночастиц в дисперсии 0,05 г/л скорость наработки составляет до 0,2 л/ч [1]. Этими особенностями метода определяются области применения — научные исследования, физика, биология и медицина, косметология, оптика и оптоэлектроника.

В разработанной установке используется иттербиевый импульсный волоконный лазер модель YLP-1-100-20-20-НС-RG. Лазер излучает периодические импульсы с длиной волны излучения 1064 нм, длительностью импульса 100 нс, энергией в импульсе 1 мДж и пиковой мощностью в импульсе до 10 кВт. Средняя выходная мощность 20 Вт и частота повторения импульсов от 20 кГц до 100 кГц. Средняя выходная мощность и частота повторения импульсов регулируется отдельным блоком управления. На рис. 1 а) показано фото экспериментальной установки.

В установке используется подвижный столик — моторизованный двухосный линейный транслятор со следующими характеристиками: диапазон перемещения 75x75 мм, шаг деления 2,5 мкм, максимальная скорость 10 мм/с, максимальная нагрузка 6 кг. Моторизованные сканирующие трансляторы используются для приложений, в которых требуется высокая точность и повторяемость. В работе представлена экспериментальная установка для получения на-

ночастиц Ta и Si в растворе этанола ( $C_2H_5OH$ ) методом лазерной абляции объемных металлических и полупроводниковых мишеней. В качестве мишеней использовались объемные пластины Ta и Si, дисперсионная среда — этиловый спирт. Абляция проводилась в цилиндрических стеклянных емкостях. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1 б).

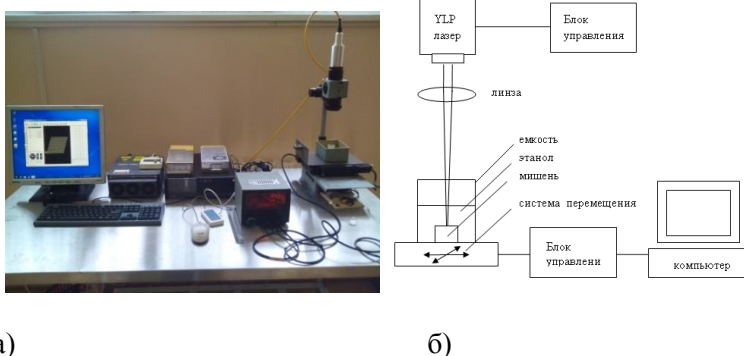


Рис. 1. Экспериментальная установка:  
а) фото установки, б) схема установки

Блоком управления лазером задавались параметры лазерного излучения средняя выходная мощность 20 Вт и частота следования импульсов 60 кГц. Излучение лазера, при перемещении вдоль оптической оси коллиматора лазера, фокусировалось собирающей линзой на образец мишени, который помещался на дно цилиндрической емкости с жидкостью. Для равномерного облучения мишени была реализована автоматическая система перемещения образца в плоскости XY с использованием шаговых двигателей Standa и CNCUSB контроллера. В горизонтальной плоскости, перпендикулярно оптической оси, осуществлялось сканирование образца относительно лазерного пучка со скоростью 0,3–0,5 мм/с. Шаг между линиями сканирования составлял 0,156–0,312 мм. Параметры сканирования задавались и управлялись через компьютер. Многократное сканирование заданной площади поверхности образца производилось 10-20 мин. Использование системы сканирования позволило равномерно проводить испарение материала с поверхности мишени, уменьшая образования кратеров, тем самым повысить эффектив-

ность абляции при продолжительном облучении и сузить разброс по размерам получаемых наночастиц [2]. Коллоидный раствор исследовался на лазерном анализаторе размеров частиц SALD-7500 nano. При плотности мощности в импульсе  $1,3 \cdot 10^{10}$  Вт/м<sup>2</sup> и частоте импульсов 60 кГц средний размер частиц в растворе составлял 161 нм для Ta и 16 мкм для агрегатов Si. Полученный коллоидный раствор Si подвергался воздействию в ультразвуковой ванне с частотой 40 кГц и мощностью 30 Вт в течение 3 мин и затем заново анализировался на приборе SALD-7500 nano, в этом случае средний размер частиц Si в растворе составлял 33 нм. (рис. 2).

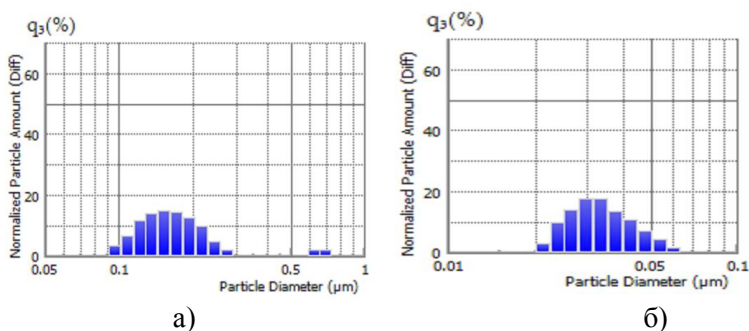
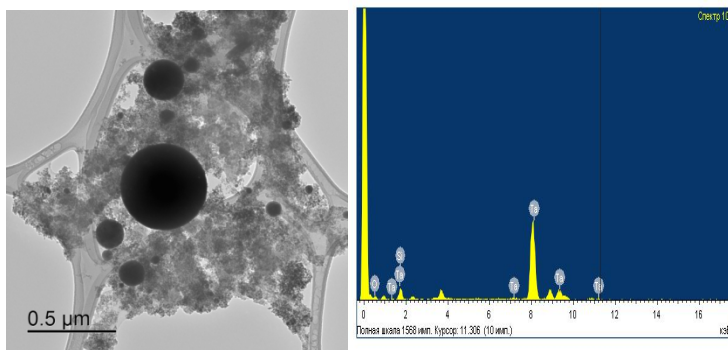


Рис. 2. Нормализованный размер частиц: а) для Ta, б) для Si

На рис. 3 приведены результаты, полученные на сканирующем электронном микроскопе JEOL для частиц Ta и Si при их одновременной абляции в одном растворе этилового спирта. На рис. 3 а) видно, что наночастицы Ta обладают сферической формой, что позволяет говорить о том, что тантал аблирует в жидкой фазе, а частицы Si коагулированы в более крупные агрегаты со слабой связью, которые под ультразвуковым воздействием распадаются на наночастицы. На рис. 3 б) приведен результат энергодисперсионного анализа (EDS), из которого следует, что в растворе содержатся наночастицы Ta и Si.



а)

б)

Рис. 3. Коллоидный раствор Ta и Si:  
а)изображение, б)EDS анализ

Установка позволяет получать коллоидные растворы наночастиц тантала и кремния со средним размером 161 нм и 33 нм соответственно. Синтезированные дисперсии могут использоваться для научных исследований в физике, биологии и медицине.

### Литература

1. Смагулов А.А., Лапин И.Н., Светличный В.А. Разработка автоматизированной установки для синтеза наночастиц благородных металлов методом лазерной абляции объемных мишеней в жидкости. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 2. С.152–155.

2. Пячин С.А., Пугачевский М.А. Новые технологии получения функциональных наноматериалов: лазерная абляция, электроискровое воздействие. Хабаровск, 2013. 38 с.

### A FACILITY FOR THE PRODUCTION NANOPARTICLES BY LASER ABLATION

*E. I. Gyrylov*, Research Associate at the Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6 Sakhyanovoy, Ulan-Ude, 670047, Russia  
E-mail: evivgyr.bsc@mail.ru

*A. V. Nomoev*, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor Buryat State University

24a, Smolina str, Ulan-Ude, 670000, Russia

*B.B. Baldanov*, Research Associate at the Buryat State University  
Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а  
24a, Smolina str, Ulan-Ude, 670000, Russia

*N.Y. Tabachkova*, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor National University of Science and Technology MISIS,  
Moscow, Russia,

*M.A. Hizhnyak*, Research Associate at the Buryat State University  
24a, Smolina str, Ulan-Ude, 670000, Russia

*V.V. Kozlova*, Student, Buryat State University,  
24a, Smolina str, Ulan-Ude, 670000, Russia

An experimental facility for the production of nanoparticles for research purposes. The facility uses ytterbium pulsed fiber laser, automated system moving target. Facility produces nanoparticle colloidal solutions, such as Si and Ta in ethyl alcohol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH).

*Keywords:* experimental facility, nanotechnology, nano-particles, colloidal solution, laser ablation.