

Импульсная лазерная абляция в жидкости фемто- и наносекундными источниками. Особенности процесса

© А.Н. Савкин, Т.Ю. Сидоровнина,
В.А. Тимошенко, Ю.В. Голубенко

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Представлены результаты измерения параметров золотых и серебряных наночастиц, полученных методом импульсной лазерной абляции (ИЛА) в жидкости. Измерения проведены с помощью различных оптико-спектральных методов и методом электронной микроскопии. Для синтеза наночастиц использована вторая гармоника Nd:YAG-лазера с длиной волны 532 нм, а также излучение фемтосекундного лазера S-PulseHR с длиной волны 1030 нм. Представлены качественные результаты в виде спектров поглощения наночастиц и снимков наночастиц.

Ключевые слова: лазерная абляция, наночастицы, синтез наночастиц, спектры поглощения.

Лазерная абляция является одним из перспективных инструментов управления свойствами синтезируемых наночастиц и наноструктур. Один из наиболее распространенных способов получения наночастиц с помощью лазерного излучения — импульсная лазерная абляция (ИЛА) твердых мишеней в жидкости, газе или вакууме [1, 2].

Преимущество метода ИЛА в воде — материальный состав мишени полностью отражается в составе получаемых наночастиц, что позволяет получить чистый коллоидный раствор без примесей, который может использоваться в дальнейшем [3].

Наночастицы получены в виде коллоидных растворов. В качестве растворителя применялись дистиллированная вода и раствор 30%-ного глицерина в дистиллированной воде. Рабочий объем жидкости составил 25 мл на всех режимах обработки.

Первым выбранным источником для ИЛА в жидкости является импульсный Nd : YAG-лазер LQ829 фирмы SOLARLS с длиной волны 532 нм (вторая гармоника), длительностью импульса 10 нс, частотой повторения импульсов 10 Гц и энергией в импульсе 500 мДж. В качестве второго источника лазерного излучения использован импульсный фемтосекундный лазер с диодной накачкой S-PulseHR фирмы AmplitudeSystemes. Длина волны излучения составляет 1030 нм, длительность импульса до 500 фс, частота следования импульсов 300 кГц и энергией в импульсе 40 мкДж.

Измерены спектры поглощения серебряных наночастиц в растворе 30%-ного глицерина (рис. 1) и золотых наночастиц в дистиллированной воде (рис. 2), полученных на фемто- и наносекундных режимах.

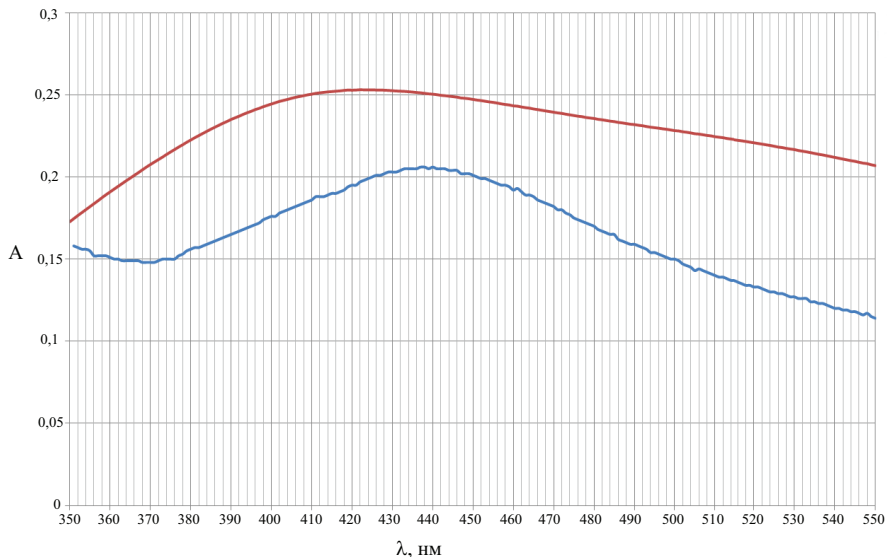


Рис. 1. Спектры поглощения серебряных наночастиц, полученных в растворе 30%-ного глицерина при фемто- и наносекундных режимах:

— фемтосекундный режим; — наносекундный режим

Как для серебряных, так и для золотых наночастиц наблюдается сдвиг плазмонного резонанса в длинноволновую область. Пик поглощения для серебряных частиц расположен на длинах волн 422... 425 нм (наносекундный режим) и 437...440 нм (фемтосекундный режим). Явный пик поглощения для золотых наночастиц соответствует длинам волн 524...529 нм (наносекундный режим) и 546...549 нм (фемтосекундный режим). Наблюдаемое различие оптических плотностей A , указанных по вертикальной оси на рис. 1 и 2,

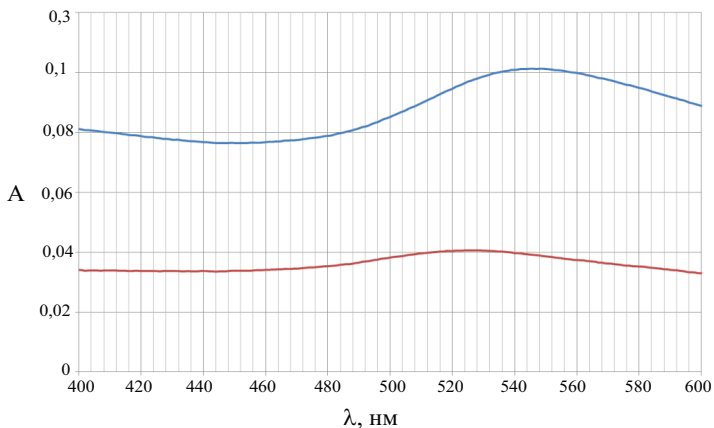


Рис. 2. Спектры поглощения золотых наночастиц, полученных в дистиллированной воде при фемто- и наносекундных режимах:

— фемтосекундный режим; — наносекундный режим

можно объяснить различной концентрацией наночастиц в объеме коллоидного раствора. Концентрация наночастиц зависит от режима обработки, времени обработки, состояния поверхности мишени, а также производительности лазера.

На втором этапе измерений проведен анализ размеров серебряных (рис. 3) и золотых (рис. 4) наночастиц методом просвечивающей электронной микроскопии.

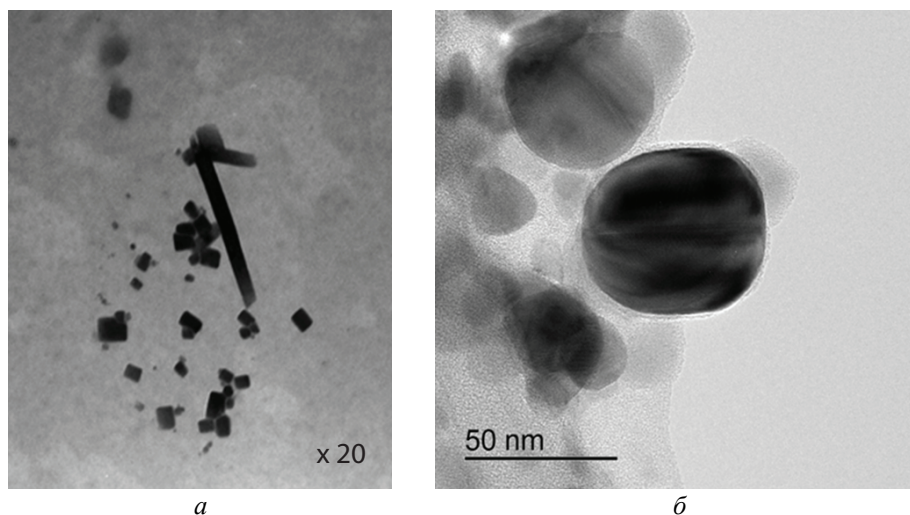


Рис. 3. Снимки серебряных наночастиц, полученных в 30%-ном растворе глицерина на фемтосекундном (а) и наносекундном (б) режимах. Фото получены с помощью просвечивающего электронного микроскопа Hitachi H-500

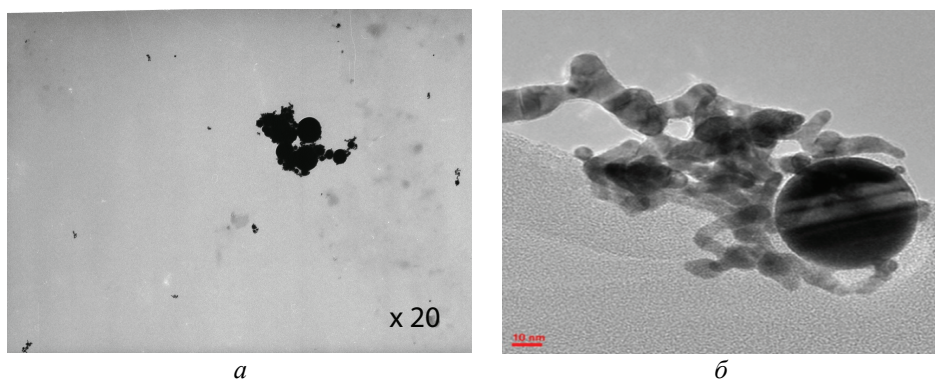


Рис. 4. Снимки золотых наночастиц, полученных в дистиллированной воде на фемтосекундном (а) и наносекундном (б) режимах. Фото получены с помощью просвечивающего электронного микроскопа Hitachi H-500

Средний диаметр наночастиц, полученных на наносекундном режиме, составил не более 80 нм. Форма частиц приближена к сферической. Некоторые частицы имеют сложную слоистую структуру при

сохранении сферической формы. Частицы, полученные в фемтосекундном режиме, имеют форму пластин. Первоначально частицы обладают высоким значением аспектного отношения. Однако при повторном попадании в лазерный луч наночастицы подвергаются частичной локальной фрагментации. В результате процесса фрагментации образуются наночастицы в виде пластин с меньшим аспектным отношением. Форма таких частиц в одном из сечений приближена к квадратной. Стороны «квадрата» в среднем имеют размер 20...40 нм.

Форма полученных золотых наночастиц (рис. 4) приближена к гантелеобразной (эллипсоид вращения). С течением времени частицы образуют гибкую связь, в результате чего в растворе возникают агрегаты частиц размером в несколько микрометров. Появление сферических частиц авторы данной статьи связывают с наличием примесей в составе мишени (низкая проба золотой мишени обуславливает наличие значительного количества примесей, в основном серебра). Более мелкие частицы золота коагулируют вокруг крупных сферических частиц. Средний диаметр сферических частиц составляет 100 нм. Частицы гантелеобразной формы имеют небольшое аспектное отношение 1:5. В поперечном сечении средний размер золотых наночастиц составил 10...12 нм. В нано- и фемтосекундном режиме параметры частиц мало различимы. Однако для золотых наночастиц, синтезированных в наносекундном режиме, наблюдается более высокая степень коагуляции наночастиц по сравнению с золотыми наночастицами, полученными на фемтосекундном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Солдатов А.Н., Васильева А.В. Эффект лазерной резонансной абляции в микро- и нанотехнологиях. *Известия Томского политехнического университета*. 2007, № 2, с. 81–85.
- [2] Антипов А.А. Формирование протяженных массивов наноструктур при лазерном воздействии на коллоидные системы. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва, ИОФ РАН, 2013, 38 с.
- [3] Симакин А.В., Воронов В.В., Шафеев Г.А. Образование наночастиц при лазерной абляции твердых тел в жидкостях. *Тр. Ин-та общей физики им. А.М. Прохорова. ИОФ РАН*, 2004, Т. 60. URL: http://www.gpi.ru/trudif/Vol_60.php (дата обращения 28.03.14).

Статья поступила в редакцию 12.10.2015

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Савкин А.Н., Сидоровнина Т.Ю., Тимошенко В.А., Голубенко Ю.В. Импульсная лазерная абляция в жидкости фемто- и нано-секундными источниками. Особенности процесса. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2015, вып. 10. URL: <http://engjournal.ru/catalog/mesc/temp/1437.html>

Савкин Александр Николаевич — аспирант кафедры «Лазерные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: лазерные технологии, английский язык, машиностроение, лазерная абляция, приборостроение, электротехника. e-mail: savkin.al@gmail.ru

Сидоровнина Татьяна Юрьевна — студент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: лазерные технологии, английский язык, машиностроение, лазерная абляция, микрооптика, приборостроение. e-mail: sidorovnina9207@rambler.ru

Тимошенко Валерия Анатольевна — студент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: лазерные технологии, английский язык, машиностроение, лазерная абляция, аналитика, математика. e-mail: valera251@bk.ru

Голубенко Юрий Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: лазерные технологии, машиностроение, лазерная абляция, микроскопия, твердотельные лазеры. e-mail: 060137@mail.ru

Pulsed laser ablation in liquids by nanosecond and femtosecond sources. Features of the process

© A.N. Savkin, T.Yu. Sidorovnina,
V.A. Timoshenko, Yu.V. Golubenko

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The presented results of measuring gold and silver nanoparticles parameters were obtained by the method of pulsed laser ablation in liquid. We used different optical spectral methods and electron microscopy to carry out measurements. For the synthesis of nanoparticles we chose the second harmonic of Nd:YAG laser with a 532 nm wavelength, and irradiation of femtosecond laser S-PulseHR (wavelength 1030 nm). As a qualitative result we present the absorption spectra of the nanoparticles and nanoparticle pictures.

Keywords: laser ablation, nanoparticles, synthesis of nanoparticles, absorption spectra.

REFERENCES

- [1] Soldatov A.N., Vasilyeva A.V. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2007, no. 2, pp. 81–85.
- [2] Antipov A.A. *Formirovaniye protyazhennykh massivov nanostruktur pri lazernom vozdeystvii na kolloidnyye sistemy. Avtoref. dis. ... kand. fiz.-mat. nauk* [Formation of extended arrays of nanostructures at laser irradiation on colloidal systems. Author. diss. ... Cand. Sci. (Phys.-Math.)]. Moscow, GPI RAS, 2013, 38 p.
- [3] Simakin A.V., Voronov V.V., Shafeev G.A. *Obrazovaniye nanochastits pri lazernoy ablyatsii tverdykh tel v zhidkostyakh* [The formation of nanoparticles by laser ablation of solids in liquids]. *Trudy Instituta obshchey fiziki imeni Prokhorova RAN — Works of Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences. GPI RAS*, 2004, vol. 60. URL: http://www.gpi.ru/trudiod/Vol_60.php (accessed 28 March 2014).

Savkin A.N., Postgraduate student of the Department “Laser Technologies in Mechanical Engineering” at Bauman Moscow State Technical University. Field of research activity: laser technologies, machine building, laser ablation, instrument engineering, electrical engineering. e-mail: savkin.al@qmail.ru

Sidorovnina T.Yu., student of the Department “Laser Technologies in Mechanical Engineering” at Bauman Moscow State Technical University. Field of research activity: laser technologies, machine building, laser ablation, microoptics, instrument engineering. e-mail: sidorovnina9207@rambler.ru

Timoshenko V.A., student of the Department “Laser Technologies in Mechanical Engineering” at Bauman Moscow State Technical University. Field of research activity: laser technologies, machine building, laser ablation, analytics, mathematics. e-mail: valera251@bk.ru

Golubenko Yu.V., Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of Department “Laser Technologies in Mechanical Engineering” at Bauman Moscow State Technical University. Field of research activity: laser technologies, machine building, laser ablation, microscopy, solid-state lasers. e-mail: 060137@mail.ru