

УДК 535:621.373.826

В. С. Бураков, А. В. Буцень, М. И. Неделько, А. А. Невар, Н. В. Тарасенко

**ПЛАЗМЕННО-ЛАЗЕРНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ  
НАНОЧАСТИЦ В ЖИДКОСТЯХ**

*Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси, пр. Независимости, 68,  
220072 Минск, Беларусь  
[n.tarasenko@ifanbel.bas-net.by](mailto:n.tarasenko@ifanbel.bas-net.by)*

Получение наноразмерных частиц заданного химического состава, морфологии и структуры имеет решающее значение для достижения их уникальных свойств, привлекательных в различных практических приложениях, в том числе в микроэлектронике, медицине, биологии, гетерогенном катализе и т.д. В последние годы успешно развиваются плазменно-лазерные методы синтеза наночастиц [1], основанные на процессах лазерной абляции и электрических разрядах в жидкофазных средах. Метод лазерной абляции отличается простотой реализации, отсутствием побочных примесей в конечном продукте, может быть применен для большого числа материалов как проводящих, так и непроводящих, полупроводников, а также тугоплавких материалов. Второй способ, базирующийся на использовании дуговых и искровых разрядов в жидкостях и газах, перспективен для получения наноразмерных частиц композитного состава. Достоинством электроразрядного метода синтеза наночастиц является возможность управления параметрами конечных продуктов путем вариации режимов разряда, достаточно высокая производительность, несложный процесс подготовки исходных материалов и возможность масштабирования процесса синтеза. Дополнительные преимущества можно получить при использовании оптимальных режимов совместного воздействия потоков лазерного излучения и импульсных электрических разрядов на распыляемый материал, обеспечивающих эффективное инициирование разряда и модификацию размеров, структуры и состава формируемых частиц.

Возможности плазменно-лазерных методов для синтеза металлических (Au, Ag, Gd, Co, Mo, Ni), биметаллических (Ag-Cu, Ag-Au) наночастиц, а также наночастиц оксидов (ZnO, CuO, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Tb<sup>3+</sup>), карбидов (WC, TiC) и силицидов (GdSi) вместе с некоторыми примерами применения синтезированных материалов обсуждаются в настоящей работе. В качестве примеров рассматриваются результаты решения следующих задач: а) синтез магнитных наночастиц на основе наноразмерных соединений гадолиния для биомедицинских приложений; б) получение легированных нанокристаллов ZnO для создания полупроводниковых лазеров и светодиодов в ультрафиолетовой (УФ) области спектра; в) лазерно-индуцированная модификация синтезированных наночастиц; г) разработка методов оптической диагностики для оптимизации процесса образования наноразмерных частиц в растворах, д) создание экспериментального образца плазменно-лазерного реактора для генерации наночастиц.

Результаты наших работ по плазменно-лазерному синтезу наночастиц обобщены в табл.1, 2. Приведены типичные ПЭМ-изображения наночастиц золота

синтезированных методом лазерной абляции и наночастиц карбида вольфрама, полученных при электрическом разряде в этаноле.

Таблица 1. Параметры наночастиц синтезированных методом лазерной абляции в жидкостях

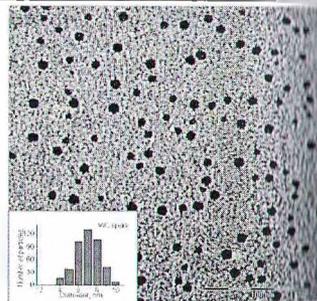
	Материал	Жидкость	Состав наночастиц	Средний размер, нм(TEM)
1	2	3	4	5
1	Ag	acetone	Ag	10±5
2	Au	fructose aqueous solution	Au	5±2
3	Au	glucose aqueous solution	Au	5±2
4	Cu	acetone	Cu	10±2
5	Cu	SDS	Cu	7-10
6	Zn	water	ZnO	30-40
7	ZnO	water	ZnO	15-20



ПЭМ изображения наночастиц золота полученных методом лазерной абляции в воде

Таблица 2. Условия электроразрядного синтеза и характеристики синтезированных наночастиц

Тип разряда	Электроды	Жидкость	Производительность мг/мин	Средний диаметр, нм
дуга	W : C	этанол	0,2	25 нм (сферы)
искра	W : C	этанол	2,5	7 нм (сферы)
искра	Cu:Cu	CuCl <sub>2</sub> раствор	39,2	15 нм (сферы)
искра	Cu: C	CuCl <sub>2</sub> раствор	5,9	5-7 нм (сферы)
дуга	Zn: Zn	вода	32	нанопроволоки ± диаметр 10-15 нм длина 150-200 нм
искра	Zn: Zn	вода	41	нанопроволоки ± диаметр 10 нм длина 150 нм



ПЭМ изображения наночастиц WC<sub>2</sub> синтезированных в искровом разряде в этаноле

[1] Тарасенко Н.В., Буцень А.В. Лазерный синтез и модификация композитных наночастиц в жидкостях // Квантовая электроника. – 2010. - Т. 40. - С. 986 – 1003.