

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ  
АБЛЯЦИЕЙ ЛАТУНИ В ЖИДКОСТИ**

Д.А. Гончарова

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. В.А. Светличный  
Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050  
E-mail: [dg\\_va.1991@list.ru](mailto:dg_va.1991@list.ru)

**STRUCTURE AND PROPERTIES OF NANOPARTICLES OBTAINED BY LAZER ABLATION OF  
THE BRASS IN THE LIQUID**

D.A. Goncharova

Scientific Supervisor: Dr. V.A. Svetlichnyi  
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050  
E-mail: [dg\\_va.1991@list.ru](mailto:dg_va.1991@list.ru)

***Abstract.** Laser ablation of the brass target under pulsed irradiation of fundamental harmonic of Nd:YAG laser (1064 nm, 7 ns, 20 Hz) was realized in water and ethyl alcohol. The mixture of nanoparticles of zinc oxide, copper oxide and brass were received in the form of colloidal dispersions and nanopowders. Oxides of zinc and copper are observed, mostly, in water; while a large amount of brass nanoparticles are formed in alcohol. The obtained nanoparticles can be applied in catalysis, biomedicine and nonlinear optics.*

**Введение.** Наночастицы представляют собой новый тип материалов, которые могут иметь свойства отличные, как от свойств отдельных атомов и молекул, так и от свойств объемного вещества. Помимо размерных эффектов, определяющее влияние на свойства наночастиц имеет их состав. В последнее время наблюдается интерес к наночастицам сложного состава, например, биметаллическим. Если включение второго компонента вызывает синергетический эффект, то химические и физические свойства могут быть настроены путем изменения состава сплава, что позволяет регулировать свойствами наноматериалов [1]. Биметаллические наночастицы меди и цинка имеют большой интерес в области гетерогенного катализа (производство метанола, реакции конверсии водяного пара, реакции гидрирования и др.), так же они обладают антибактериальными и противогрибковыми свойствами. Синтез наночастиц сплава CuZn и интерметаллидов был реализован с использованием методов электрического взрыва, механического размола, электрического дугового разряда, жидкофазного синтеза с помощью термолитиза. Импульсная лазерная абляция (PLA) в жидкости, один из перспективных и простых способов синтеза наночастиц сложного состава, в том числе из сплавов интерметаллидов. Цель данной работы – получение наночастиц методом лазерной абляции мишени латуни (Cu<sub>60</sub>Zn<sub>40</sub>) в жидкости и исследование их физико-химических свойств в дисперсиях и порошках.

**Материалы и методы исследования.** PLA латунной мишени (Cu<sub>60</sub>Zn<sub>40</sub>) проводилась в двух растворителях (вода и этиловый спирт) при воздействии излучением Nd:YAG лазера (1064 нм, 20 Гц, 7 нс). Условия эксперимента и установка подробно описаны в работе [2]. Были получены дисперсии с концентрацией 200 мг/л, которые исследовались методами просвечивающей электронной микроскопии

(ПЭМ) и УФ-видимой спектроскопии. При сушке на воздухе из дисперсий были получены порошки, которые были исследованы методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгеноструктурного анализа (РСА).

**Результаты.** На рис. 1а показаны данные ПЭМ для дисперсий, полученных РЛА латуни в воде. Видно, что наночастицы имеют преимущественно прямоугольную форму, есть включения сферических частиц, с размером не более 40 нм. Стоит отметить, что при абляции меди в воде, полученные частицы имеют квадратную и прямоугольную форму, а на ПЭМ изображении, полученного при абляции цинка в воде наблюдается и прямоугольная и сферическая формы наночастиц. Для наночастиц, полученных РЛА латуни в этиловом спирте характерно наличие только сферических частиц. Средний размер частиц составляет 10–15 нм.

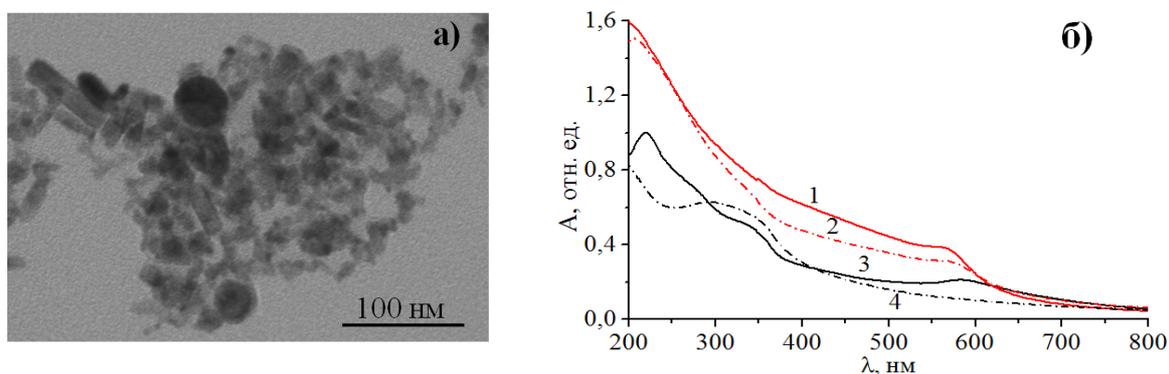


Рис. 1. ПЭМ изображение (а), спектры поглощения дисперсий (б)

Спектры поглощения, свежеприготовленных дисперсий и после 7 дней хранения, полученных РЛА латуни в воде и спирте, показаны на рис. 1б. Для наночастиц приготовленных в воде (кривая 3) спектр поглощения имеет пики на 220 и 590 нм, а так же два перегиба в области 290 и 350 нм. Пик на 220 нм связан с межзонным поглощением свободных электронов металлических наночастиц меди и их переходом на уровень Ферми [3]. Пик поверхностного плазмонного резонанса меди (ППР) расположен в области 560–590 нм, однако при окислении он смещается в длинноволновую область на 600–700 нм [4]. Расположение пика ППР латуни зависит от соотношения компонентов меди и цинка, при увеличении массовой доли цинка пик смещается в длинноволновую область. Окисление латуни так же приводит к смещению и уширению пика на 600–650 нм [4]. При хранении коллоидов, приготовленных в воде, проявляется один широкий пик в области от 300 до 400 нм (кривая 4), что говорит о полном окислении частиц. Для наночастиц, полученных РЛА латуни в этиловом спирте, в спектре поглощения наблюдается пик в области 570 нм (кривая 1), характерный для наночастиц латуни, возможно с присутствием оксидных фаз, так как при хранении коллоидного раствора пик смещается в длинноволновую область (кривая 2), что подтверждает дальнейшее окисление наночастиц.

Для подтверждений предположений, о фазовом составе наночастиц, порошки были исследованы методом РСА. Было установлено, что при РЛА мишени латуни в воде образуются смесь оксидов меди и цинка. При окисления латуни цинк имеет большую реакционную способность, чем медь (окислительно-восстановительный потенциал для меди  $\text{Cu}^0/\text{Cu}^{2+} = +0,34$  В, для цинка  $\text{Zn}^0/\text{Zn}^{2+} = -0,76$  В), поэтому фазы оксида цинка в 2 раза больше по процентному содержанию. В образцах остается фаза латуни, но ее

количество составляет менее двух процентов. При PLA мишени латуни в этиловом спирте, так же как и в воде имеются фазы оксида цинка и оксида меди. Кроме того, обнаружено присутствие фазы латуни  $\text{Cu}_{95}\text{Zn}_5$ , хотя абляция проводилась для мишени  $\text{Cu}_{60}\text{Zn}_{40}$ . Предполагается, что изменение стехиометрии происходит из-за того, что цинк более сильно подвержен окислению и выходит из решетки малых частиц латуни.

СЭМ изображения для порошков подтверждают наличие оксидной и металлической фаз. На рис. 2а показано СЭМ изображение, полученное методом обратно отраженных электронов. Видно, что имеется более темная фаза, соответствующая фазе оксида на фоне ярких, контрастных наночастиц сплава. Похожая картина наблюдается и для наночастиц, полученных в спирте (рис. 2б), при этом фазы оксида заметно меньше, а сферические частицы гораздо крупнее.

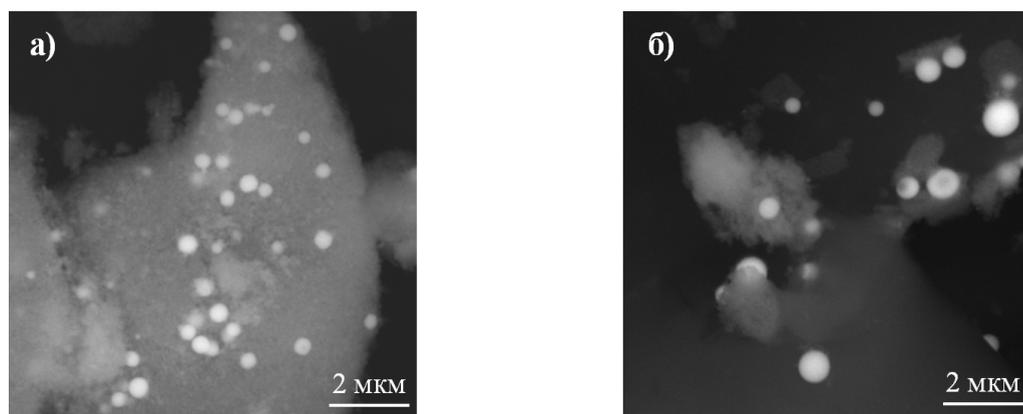


Рис. 2. СЭМ изображение в обратно отраженных электронах для порошков, приготовленных PLA латуни в воде (а) и спирте (б)

**Заключение.** В данной работе методом лазерной абляции в жидкости были получены смесь наночастиц оксидов цинка и меди и латуни. Установлено, что в воде основная фаза в основном представлена наночастицами оксидов, а в спирте наночастицами латуни. В дальнейшем будут исследованы функциональные свойства полученных наночастиц, для определения возможности их использования в нелинейной оптике (оптические лимитеры), катализе (в т.ч. фотокатализе) и биомедицине (антибактериальные растворы и композитные материалы).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ferrando R., Jellinek J., Johnston R.L. Nanoalloys: From Theory to Applications of Alloy Clusters and Nanoparticles // *Chemical Reviews*. – 2008. – V. 108. – № 3. – P. 845–910.
2. Светличный В.А., Лапин И.Н. Структура и свойства наночастиц, полученных методом лазерной абляции объемных мишеней металлического Zn в воде и этаноле // *Известия ВУЗов. Физика*. – 2013. – Т. 56. – № 5. – С. 86–91.
3. Петров Ю.И. Кластеры и малые частицы. – М.: Наука, 1986. – 368 с.
4. Cokoja M., Parala H., Schroter M.K., Fischer R.A. et al. Nano-brass colloids: synthesis by co-hydrogenolysis of  $[\text{CrCu}(\text{PMe}_3)]$  with  $[\text{ZnCr}^*2]$  and investigation of the oxidation behavior of a/b-CuZn nanoparticles // *Journal of Materials Chemistry*. – 2006. – V. 16. – P. 2420–2428.