

УДК 535.621.373.826

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ МИКРО И НАНО СТРУКТУР ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МЕТАЛЛА В СРЕДЕ ЖИДКОГО АЗОТА

© 2012 В.С. Казакевич¹, П.В. Казакевич¹, П.С. Яресько^{1,2}, И.Г. Нестеров¹

¹ Самарский филиал Физического института имени П.Н. Лебедева
Российской академии наук

² Самарский государственный университет

Поступила в редакцию 11.12.2012

В результате работы были экспериментально получены микро и нано структуры на поверхности медной и золотой мишени в среде жидкого азота методом лазерной абляции. Показаны различия в форме и размере образующихся структур в зависимости от плотности энергии лазерного излучения.

Ключевые слова: лазерная абляция в жидкому азоту, наночастицы золота, микро и нано структуры.

ВВЕДЕНИЕ

Эксперименты по лазерной абляции металлической мишени в жидкости, как правило, разделяют на две части. К первой части относится получение продуктов лазерной абляции в жидкой среде (дистиллированная вода, этиловый спирт) [1, 2]. Ко второй части относится изменение морфологии поверхности мишени после взаимодействия со сфокусированным лазерным излучением [2].

Получение микро и наноструктур на поверхности мишени при лазерной абляции металлов в жидкостях хорошо известно [2-4]. При изучении процесса их образования основное внимание в литературе уделяется длине волн, плотности мощности лазерного излучения, длительности и частоте следования лазерных импульсов. Однако, вопросы формирования структур на поверхности металлических мишеней при использовании жидкостей находящихся при криогенной температуре рассматриваются в меньшей степени.

ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Модификация поверхности проводилась с использованием методики лазерной абляции стационарным пучком в жидкости при криогенной температуре [5].

Излучение пикосекундного лазера RL PQ 30\300 с длиной волны 1064 нм, длительностью

Казакевич Владимир Станиславович, кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель директора по научной работе. E-mail: Kazakevich@fian.smr.ru

*Казакевич Павел Владимирович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник.
E-mail: Kazakevich_pv@fian.smr.ru*

*Яресько Павел Сергеевич, инженер, аспирант СамГУ.
E-mail: yarepar@gmail*

Нестеров Игорь Геннадьевич, инженер-исследователь

импульса 250 пс, средней энергией в импульсе ~ 30 мДж фокусировалось объективом на поверхность золотой или медной мишени находящуюся в среде жидкого азота. Частота следования импульсов 5 Гц. Плотность энергии варьировалась от 15 до 300 Дж/см².

Для регистрации изменения морфологии поверхности использовался сканирующий электронный микроскоп Carl Zeiss EVO 50.

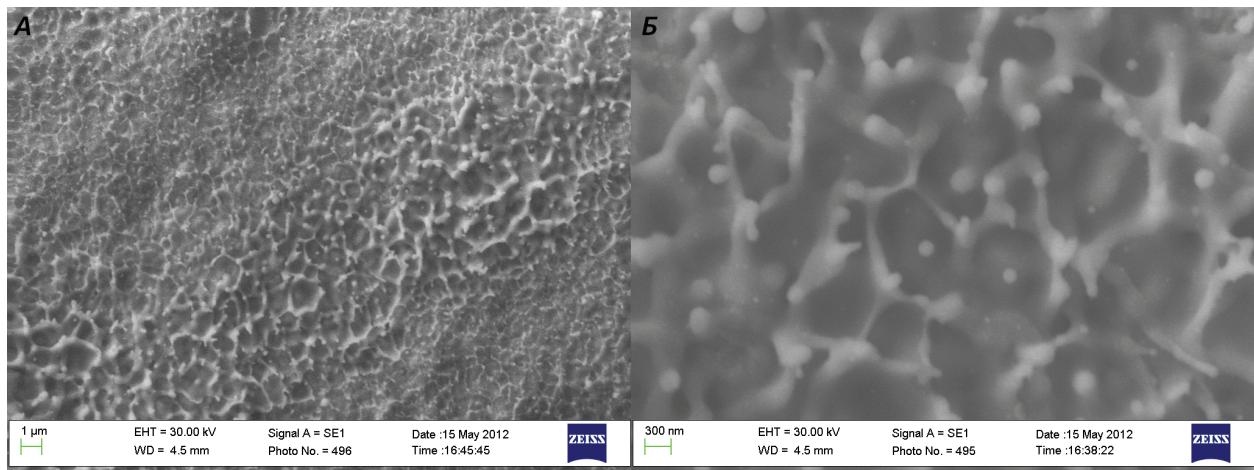
На рис. 1а представлена обзорная фотография поверхности золотого образца после облучения мишени в течении 5 мин излучением Nd:YAG лазера ($E = 30 \text{ мДж}$, $v=5 \text{ Гц}$). Плотность энергии на поверхности мишени 40 Дж/см².

При облучении Au мишени наблюдается формирование структур различного масштаба. Основная доля структур на поверхности образца имеет субмикронный размер.

Увеличенный фрагмент области облучения представлен на рис. 1б. В отличие от структур образующихся при сканировании образца [2] не наблюдается формирования глубоких каналов связанных с эффектом кинжалного проплавления. Структуры формируются одновременно по всей площади образца.

Характерная субмикронная размерность структур на золотой мишени значительно меньше размера лазерного пятна (~3x3 мм) на поверхности мишени. На изображении (рис. 1б) наблюдаются сферические образования, размер которых составляет от 10 до 200 нм.

Одним из основных параметров лазерной абляции является создаваемая плотность энергии излучения на поверхности образца. Для экспериментального определения степени влияния плотности энергии излучения Nd:YAG лазера на размерность образующихся структур при лазерной абляции в среде жидкого азота, использовалась медная мишень. Исходная поверхность ми-



а)

б)

Рис. 1. а – обзорное изображение поверхности золотой мишени после лазерной абляции в среде жидкого азота. Сканирующий электронный микроскоп, масштабная метка 1 мкм;
б – изображение поверхности золотой мишени после лазерной абляции в среде жидкого азота.
Сканирующий электронный микроскоп, масштабная метка 300 нм

шени представлена на рис. 2. Структура поверхности связана с процессом изготовления образца.

При использовании плотности энергии порядка 300 Дж/см² наблюдается активное плавление и выброс материала образца в окружающую криогенную жидкость. При этом на поверхности мишени происходит формирование глубокого кратера.

При уменьшении плотности энергии на поверхности мишени до 50 Дж/см² наблюдается формирование микроструктур, типичная фотография которых представлена на рис. 3.

Структуры характеризуются капливидной формой, в ряде структур оканчиваются сферическим образованием. На поверхности также наблюдаются сферические частицы меди субмикронного и нанометрового масштаба.

В случае уменьшения плотности энергии до

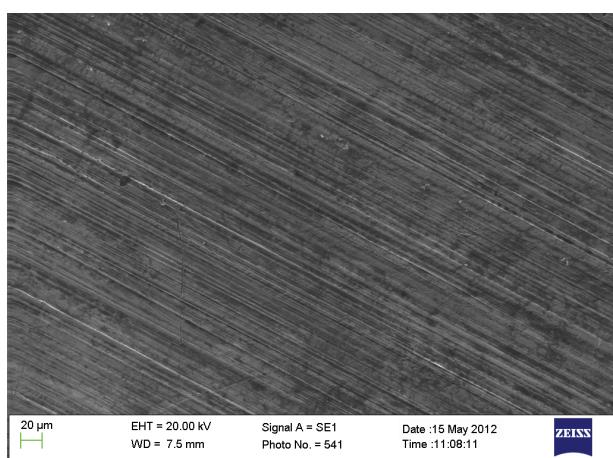


Рис. 2. Изображение исходной поверхности медной мишени. Сканирующий электронный микроскоп, масштабная метка 20 мкм.

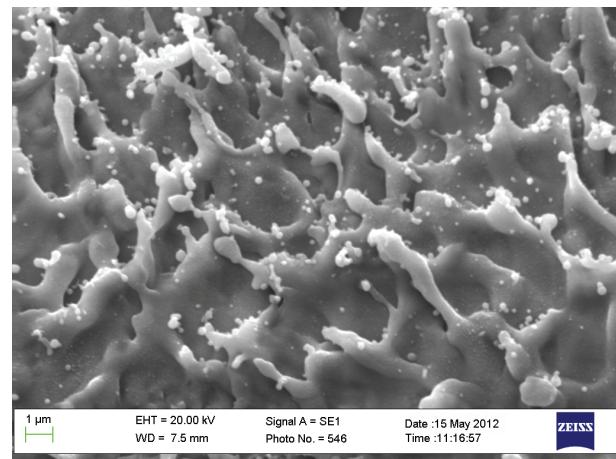


Рис. 3. Изображение поверхности медной мишени после лазерной абляции в среде жидкого азота. Сканирующий электронный микроскоп, масштабная метка 1 мкм.

Плотность энергии 50 Дж/см²

15 Дж/см² наблюдаются равномерное покрытие поверхности пятна субмикронными структурами, характерное изображение которых представлено на рис. 4.

Как и в случае золотой мишени, характерная субмикронная размерность структур на медной мишени значительно меньше размера лазерного пятна на поверхности мишени. Структуры заканчиваются сферообразными вершинами, являющимися центрами выноса расплавленного вещества в окружающую жидкость. Однако на периферии лазерной абляции с изменением плотности энергии изменяется и геометрия наблюдаемых структур.

Изображение структур обнаруженных на периферии лазерного пятна представлено на рис. 5а. При анализе наклоненного образца отчетливо

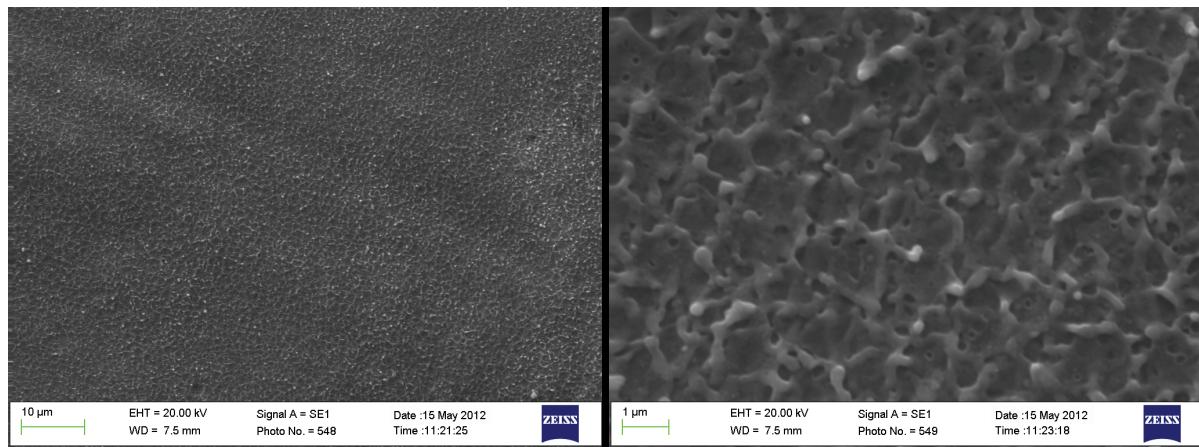
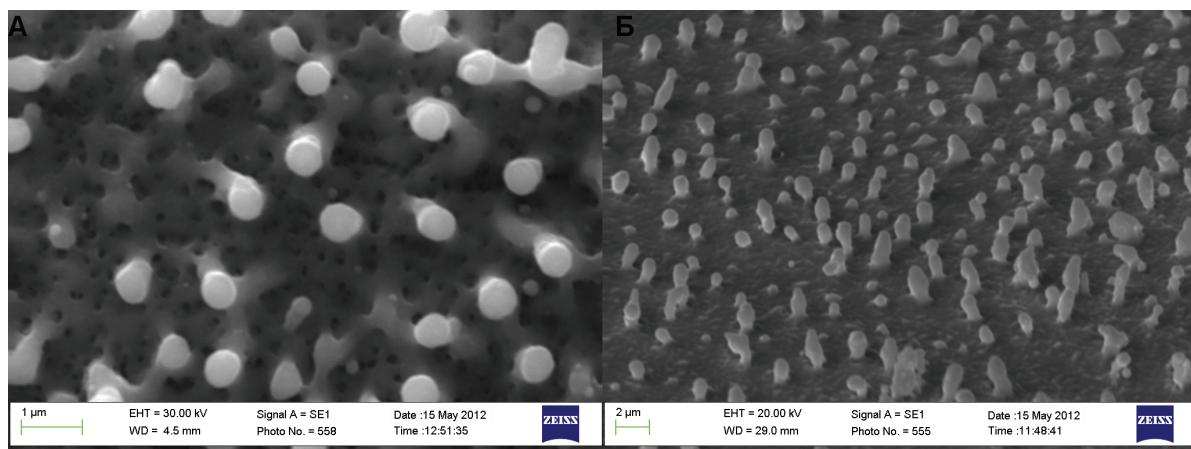


Рис. 4. Изображение поверхности медной мишени после лазерной абляции в среде жидкого азота. Сканирующий электронный микроскоп, масштабная метка 10 мкм и 1 мкм соответственно. Плотность энергии 15 Дж/см².



а)

б)

Рис. 5. а – изображение поверхности медной мишени после лазерной абляции в среде жидкого азота. Сканирующий электронный микроскоп, масштабная метка 10 мкм и 1 мкм соответственно; б – изображение поверхности медной мишени после лазерной абляции в среде жидкого азота. Сканирующий электронный микроскоп, масштабная метка 2 мкм

разрешается форма образующихся структур, рис. 5б. При измерении расстояния между структурами средний период составил 1.5 мкм.

Энергодисперсионный анализ области облуч-

чения образца свидетельствует об отсутствии загрязнений и о частичном образовании оксида меди при контакте структур с окружающей средой при извлечении образца из жидкого азота (рис. 6).

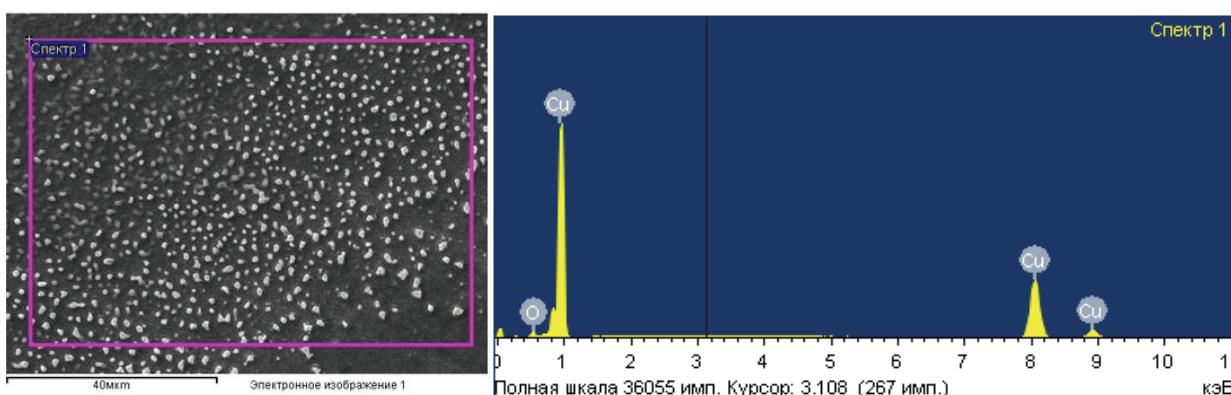


Рис. 6. Электронное изображение и данные энергодисперсионного анализа участка облученной поверхности медного образца в среде жидкого азота.

Анализ поверхности структуры проводился через 10 мин после извлечения образца. По-всей видимости процесс окисления структур проявится при более длительном нахождении образца «на воздухе».

Таким образом были экспериментально получены микро и нано структуры на поверхности медной и золотой мишени в среде жидкого азота. Размер структур варьируется от 10 нм до 5мкм. Показаны различия в форме и размере образующихся структур в зависимости от плотности энергии лазерного излучения на поверхности мишени Средний период структур при плотности энергии 15 Дж/см² составил 1.5 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бармина Е.В., Стратакис Э., Шафеев Г.А. Квантовая электроника, 40 (2010)
2. Образование периодических структур при лазерной абляции металлических мишеней в жидкости / П.В. Казакевич, А.В. Симакин, Г.А. Шафеев // Квантовая электроника, 35(9), 831-834, (2005).
3. Reduction of Cytochrome c by Halide-Modified, Laser-Ablated Silver Colloids / M.S. Sibbald, G. Chumanov and T.M. Cotton // J. Phys. Chem., 100, 4672 (1996).
4. Laser-Induced Shape Changes of Colloidal Gold Nanorods Using Femtosecond and Nanosecond Laser Pulses / S. Link, C. Burda, B. Nikoobakht and M.A. El-Sayed // J. Phys. Chem. B, 104 (2000) 6152
5. Лазерная абляция золотой мишени в среде жидкого азота / П.С. Яреско, В.С. Казакевич, П.В. Казакевич, И.Н. Сараева // Сборник трудов всероссийской молодежной научно-технической конференции “КОС-МОС - 2012”. Самара: СГАУ, 2012.

FORMATION OF MICRO-AND NANO-STRUCTURES BY LASER ABLATION OF METALS IN LIQUID NITROGEN

© 2012 V.S. Kazakevich¹, P.V. Kazakevich¹, P.S. Yaresko^{1,2}, I.G. Nesterov¹

¹ Samara Branch of P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences,

² Samara State University

As a result, work has been experimentally obtained micro-and nano-structures on the surface of copper and gold targets. Shows the differences in the shape and size of the image structures, depending on the energy density of the laser radiation. Using energy dispersive analysis of the irradiated region of the copper sample shows no pollution on the target surface.

Key words: laser ablation in liquid nitrogen, gold nanoparticles, micro nano structures.

Vladimir Kazakevich, Candidate of Physics and Mathematics,
Associate Professor, Deputy Director for Science.

E-mail: Kazakevich@fian.smr.ru

Pavel Kazakevich, Candidate of Physics and Mathematics, Chief
Research Fellow. E-mail: Kazakevich_pv@fian.smr.ru

Pavel Yaresko, Engineer, Graduate Student at the SamSU.

E-mail: yarepav@gmail.com

Igor Nesterov, Engineer-Researcher