

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ СИЛУМИНА НАНОСЕКУНДНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Маркевич Мария Ивановна¹, Камалов Амангельди Базарбаевич²,
Асанов Дауранбек Жадигерович², Абдикаримова Азиза Кудияровна²

¹Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

²Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза, Узбекистан.

e-mail: dauranbek83@list.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7702260>

Аннотация. Методом сканирующей электронной микроскопии установлены особенности морфологии поверхности кратера поликристаллического силумина, полученного в дистиллированной воде при импульсной лазерной обработке в режиме сдвоенных импульсов (вложенная энергия варьировалась от 900 до 1800 Дж, время воздействия от 15 до 30 мин.). Установлено, что поверхность кратера меняется от характерных бороздок при вложенной энергии 900 Дж до редко расположенных глубоких микроотверстий диаметром от 0,1 до 1 мкм. Значительное увеличение кислорода в структуре кратера возможно связано с окислением поверхности кратера в водной среде при мощном лазерном воздействии.

Ключевые слова. морфология поверхности, элементный состав, поверхности кратеров, РЭМ, силумин, микроуглубление, лазерная абляция, наноструктурирование, лазерное воздействие

INVESTIGATION OF THE MORPHOLOGY OF THE SILUMIN SURFACE BY NANOSECOND LASER RADIATION

Abstract. By scanning electron microscopy, the features of the morphology of the crater surface of polycrystalline silumin obtained in distilled water during pulsed laser treatment in the mode of double pulses were established (the energy invested varied from 900 to 1800 J, the exposure time from 15 to 30 min.). It was found that the crater surface varies from characteristic grooves with an energy of 900 J to rarely located deep micro-holes with a diameter of 0.1 to 1 microns. A significant increase in oxygen in the crater structure may be due to the oxidation of the crater surface in an aqueous medium under powerful laser exposure.

Keywords: Surface morphology, elemental composition, crater surfaces, SEM, silumin, micro-deepening, laser ablation, nanostructuring, laser exposure

Введение

В настоящее время важным направлением в материаловедении является формирование на поверхности твердых тел микро- и наноструктур. Образование таких структур приводит к изменению тепловых, электрических, излучательных и других свойств поверхности материала [1-4]. Все это востребовано в селективном нанокатализе, микроэлектронике, записи информации. Для получения наноструктур может применяться лазерное воздействие, которое позволяет формировать периодические поверхностные структуры [1-5].

Данный метод заключается в обработке поверхности твердого тела сфокусированным лазерным пучком. Использование фемтосекундных импульсов лазерного излучения ограничивает рассеяние тепла и снижает повреждение в области за лазерным пятном, однако высокая стоимость фемтосекундных лазеров, сложность настройки их оптической системы с использованием диэлектрических зеркал с высоким коэффициентом отражения усиливает интерес к применению для наноструктурирования простых в эксплуатации

наносекундных лазеров.

Длительность наносекундного импульса больше времени электрон -фононной релаксации (до десятков пикосекунд), поэтому изменение морфологии поверхности и ее свойств начинается уже в процессе лазерного импульса. Достаточное количество работ посвящено наноструктурированию поверхности кремния для изготовления микросхем и солнечных батарей. Так для повышения КПД солнечной батареи используется модификация кремния лазерным воздействием. В настоящее время требуется дальнейшее накопление практического опыта по формированию микро и наноструктур в зависимости от условий процессов. Для модификации поверхности нами применялся метод лазерной абляции. Лазерный луч падает на поглощающую поверхность, которая быстро нагревается и испаряется с образованием плазменного факела.

В данной работе в качестве модифицированной поверхности используется силумин. Силумины характеризуются достаточной коррозионной стойкостью, хорошими литейными свойствами и применяются для изготовления сложных отливок, для улучшения свойств вводят легирующие добавки.

Изготовление образцов и методы исследования.

В качестве мишени использовали силумин, а в качестве среды в которой находилась мишень применяли дистиллированную воду. Жидкость принудительно не перемешивали. Для обработки материала использован лазер на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D) с длиной волны 1064 нм, генерирующий в двухимпульсном режиме (импульсы разделены временным интервалом 3мкс, длительность импульсов 10нс, частота следования импульсов 10Гц, энергия одиночного импульса ~ 0,05Дж). Образованная в результате испарения силумина под действием первого импульса абляционная плазма создает в приповерхностном слое область с повышенной температурой и пониженной плотностью частиц воздуха, что приводит к более полному использованию энергии второго импульса для лазерной абляции.

Образец обрабатывали лазерным излучением в интервале энергий 900 – 1800 Дж при временах экспозиции от 15 до 30 мин. Размеры образцов: толщина 20 мм, длина 30мм, ширина 20 мм) Исследования образцов проводились на растровом электронном микроскопе MIRA-3. Измерения проводились при различных значениях ускоряющего напряжения: от минимального порога чувствительности системы микроанализа (6,4 кВ) до максимального значения ускоряющего напряжения, равного 30кВ.

В настоящей работе проводилось микро и наноструктурирование поверхности силумина и исследовались морфология поверхности и элементный состав кратера, образованный после лазерного воздействия.

При воздействии серии наносекундных импульсов основным механизмом удаления вещества является термомеханическая абляция, приводящая к удалению поверхностного слоя

Результаты и обсуждение.

На поверхности мишени образуется кратер в результате многократного импульсного лазерного воздействия. На рисунке 1 приведена морфология поверхности и элементный состав образца силумина до лазерного воздействия.

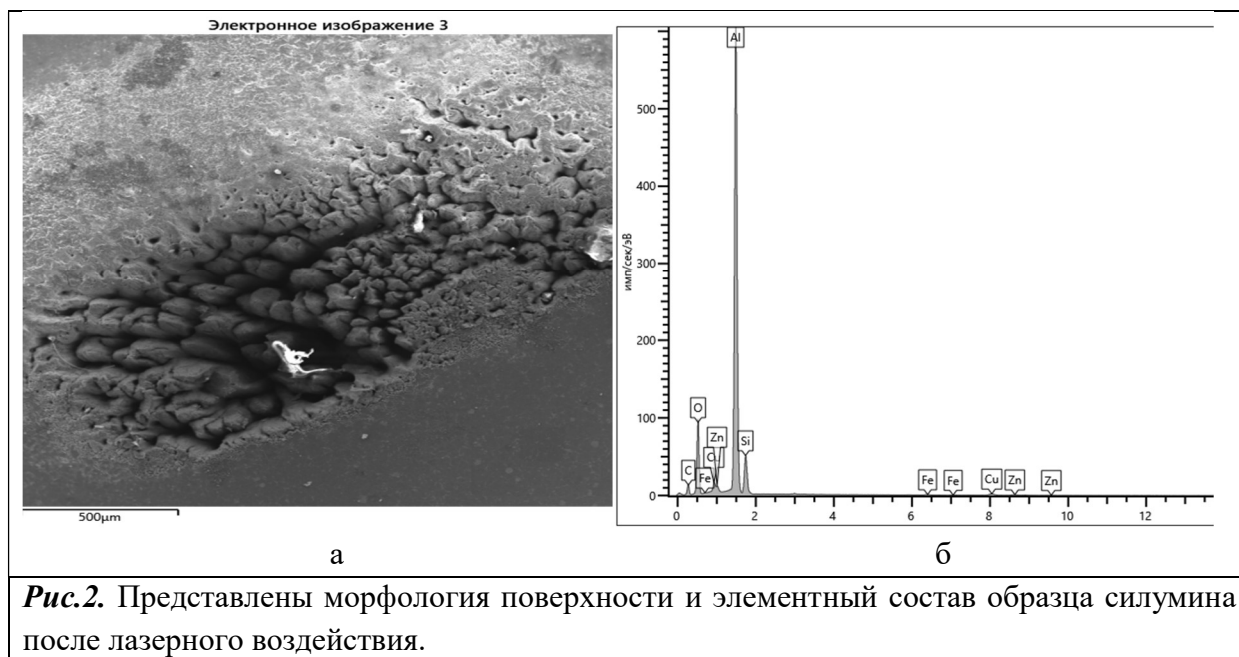
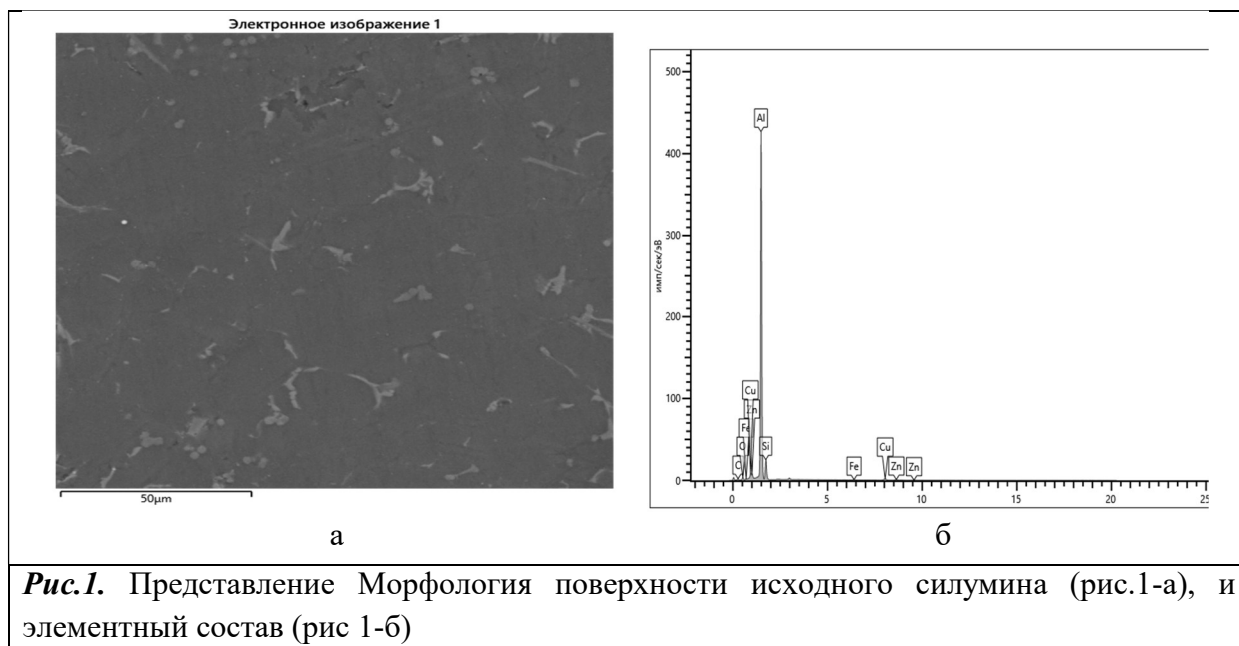


Рис. 2. Морфология поверхности силумина (а), элементный состав (б) после лазерного воздействия (время воздействия 30 с, вложенная энергия 1800 Дж)

На рисунке 2 хорошо различима обработанная часть силумина лазерным воздействием. В зоне пятна структура поверхности существенно изменена относительно исходной, начинает формироваться мелкомасштабный субмикронный рельеф, который показывает неоднородное проплавление мишени, углубление долин и росту «гребней», что может быть связано с перераспределением материала расплава. Рельеф поверхности имеет характерные бороздки с округлыми краями, что связывается также не только с лазерным воздействием, но и с водной средой, которая является источником дополнительного сопротивления и обеспечивает значительную скорость остывания приповерхностной области при интенсивном процессе кипения на границе раздела «силумин-вода».

Заключение

Методом лазерной абляции структурирована поверхность силумина. Методом сканирующей электронной микроскопии установлены особенности морфологии поверхности кратера силумина, полученного в дистиллированной воде при импульсной лазерной обработке в режиме сдвоенных импульсов (вложенная энергия 1800 Дж, время воздействия 30 мин.). Соответствующая поверхность мишени из силумина, аблированная в воде, представляет изменение морфологии в зависимости от длительности воздействия и вложенной энергии.

Рельеф изменяется от характерных выраженных пропилов до редко расположенных глубоких микроотверстий диаметром от 0,1 до 1 мкм. На поверхности кратера наблюдаются наночастицы и более крупные частицы микронного размера. Поверхность мишени, аблированная в воде, представляет собой хаотично расположенные микроуглубления. Установлено также изменение состава образцов в процессе лазерной абляции, что связано с окислением поверхности кратера в водной среде при мощном лазерном воздействии.

Литература

1. Старинский С.В., Шухов Ю.Г., Булгаков А.В./ С.В. Старинский, Ю.Г. Шухов, А.В. Булгаков Пороги лазерного разрушения золота, серебра и их сплавов в воздухе и воде, Прикл. Серф. научн.-, 2017.- т. 2, с. 396.- с.1765-1774.
2. Ионин А.А., Кудряшов С.И., Самохин А.А./А.А. Ионин, С.И. Кудряшов, А.А. Самохин Абляция поверхности материалов под действием ультракоротких лазерных импульсов.- УФН, 2017.-вып. 187.- № 2, с.159-172.
3. Штройбель, Р., Барциковски, С., Гёкче, Б. / Р. Штройбель, С. Барциковски, Б. Гёкче. Непрерывный синтез многограммовых наночастиц с помощью сверхбыстрой лазерной абляции высокой мощности с высокой частотой повторения в жидкостях. . Письма.- 2016.-Т. 41.- №7.- с.1486-1489.
4. Риша Г.А., Коннел Т.Л., Йеттер Р.А., Сундарам Д.С., Ян В. / Г.А. Риша, Т.Л. Коннел, Р.А. Йеттер, Д.С. Сундарам, В. Ян Горение морозильных смесей наноалюминия и воды/ Г.А. Риша, Т.Л. Коннел, Р.А. Йеттер, Д.С. Сундарам, В. Ян //J. Движ. Власть.-2014.- В.30.-Н1.-С.133-142.
5. Маркевич М.И., Чапланов А.М. Структурные превращения в тонких металлических пленках при импульсном лазерном воздействии / М.И.Маркевич, А.М. Чапланов //Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-математических наук.- 2016.- №1.- 2016.- С.28-35.
6. Маркевич, М.И. В сернистых жидкостях под действием ударных волн / М.И. Маркевич, Ф.А. Пискунов // High Power Laser Science and Engineering.- 1995.- Чешский Р. Институт перспективных исследований НАТО.- Карловы Вары.- С.49.
7. М.В. Пузырев, А.М. Чапланов //Актуальные проблемы физики. твердое тело.- Минск.-2009.- С. 381-382.
8. Казилин Э.Э., Маркевич М.И., Конкин С.В., Чапланов А.М., Фолманис Г.Е., Иванов Л.И., Коваленко Л.В. Исследование коллоидных растворов селена, созданных с помощью лазерной техники /Е.Е. Казилин, М.И. Маркевич, С.В. Конкин, А.М. Чапланов, Г.Е. Фольманис, Л.И. Иванов, Л.В. Коваленко // Перспективные материалы, 2008.-№3, С60-63.