

Влияние расфокусировки лазерного излучения на интенсивность спектральных линий эрозионной плазмы латуни

А. А. Лискович

*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь,
e-mail: L30041997@mail.ru*

Представлены результаты исследования зависимости интенсивности спектральных линий эрозионной плазмы, созданной на поверхности латуни парными наносекундными лазерными импульсами, от расположения мишени относительно фокуса оптической системы, фокусирующей лазерное излучение на ней (расфокусировки). Показано, что интенсивность спектральных линий сохраняет свое значение при величине расфокусировки лазерного излучения в пределах $\pm 0,5$ мм.

Ключевые слова: эрозионная плазма; интенсивность спектральной линии; парные лазерные импульсы; плазменный факел.

Influence of defocusing of laser radiation on the intensity of spectral lines of erosion plasma of brass

A. A. Liskovich

Grodno State University named after Yanka Kupala, Grodno, Belarus, e-mail: L30041997@mail.ru

The results of a study of the dependence of the intensity of spectral lines of erosion plasma created on the surface of brass by paired nanosecond laser pulses on the location of the target relative to the focus of the optical system focusing laser radiation on it (defocusing) are presented. It is shown that the intensity of the spectral lines retains its value when the laser radiation defocusing value is within ± 0.5 mm.

Keywords: erosive plasma; spectral line intensity; paired laser pulses; plasma torch.

Введение.

Лазерные технологии широко используются в ряде отраслей науки, техники и производства [1, 2]. Их использование базируется на знании физических процессов, происходящих при взаимодействии лазерного излучения с материалами. Воздействие сфокусированного лазерного излучения высокой плотности на вещество приводит к формированию на его поверхности эрозионного кратера. В окружающее пространство при этом выбрасывается плазменный пюм (факел). Изменяя режимы взаимодействия лазерного излучения с твердым телом можно производить прецизионную обработку деталей и изделий, наносить на них тонкопленочные покрытия, синтезировать наноматериалы, осуществлять химический и элементный анализ материалов и веществ (LIBS спектроскопия) [3–5].

При проведении LIBS анализа осуществляется сбор излучения эрозионной плазмы и расшифровка ее эмиссионного спектра. На основании этого устанавливается элементный химический состав материала мишени [1–3]. Развитие LIBS спектроскопии началось с формирования плазмы одиночными лазерными им-

пульсами. Однако плазма имела низкую стабильность и воспроизводимость. Это затрудняло проведение количественных исследований. Разрабатывались различные методы повышающие стабильность эрозионной плазмы. Существенно увеличить стабильность излучения эрозионной плазмы, а также интенсивность ее спектральных линий стало возможным при использовании двухимпульсного лазерного воздействия на мишень [6–9]. При этом происходил рост выноса материала мишени и рост интенсивности спектральных линий излучения эрозионной плазмы [10, 11]. Было показано, что рост эффективности взаимодействия второго лазерного импульса по сравнению с первым обусловлен высокой температурой кратера, сформированного первым лазерным импульсом, которая тем выше, чем меньше задержка второго импульса относительно первого [12, 13].

В практике LIBS спектроскопии важным является исключить влияние зависимости интенсивности спектральных линий от положения мишени относительно фокуса фокусирующей лазерное излучение оптической системы. Изменение положения мишени относительно фокуса фокусирующей лазерное излучение системы приводит к изменению площади пятна лазерного воздействия и плотности мощности падающего излучения. Эти изменения должны быть взаимно скомпенсированы. В противном случае количественный анализ будет неадекватен. Влияние положения мишени относительно фокуса фокусирующей лазерное излучение системы при моноимпульсном формировании плазмы исследовалось в работе [14].

Целью настоящей работы является определение требований к положению мишени, относительно фокуса фокусирующей лазерное излучение системы при двухимпульсном формировании лазерно-эмиссионной плазмы, для получения высокой стабильности интенсивности ее спектральных линий.

1. Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Ее элементы и блоки располагались на экспериментальном столе в двух уровнях. В ее основе лежал лазерно-эмиссионный спектрометр, разработанный в институте физики НАН Беларуси. Установка является результатом развитием техники спектроскопии лазерно-эмиссионной плазмы и создана на основе работ [8, 9, 13, 15]. Источником лазерного излучения являлся YAG:Nd³⁺ лазер, работающий на основной гармонике (длина волны 1,06 мкм) как в моноимпульсном режиме, так и в режиме сдвоенных импульсов. Второй импульс генерировался с временной задержкой относительно первого, она могла изменяться от 0 до 300 мкс. Длительность лазерных импульсов ~15 нс. Энергия генерации лазерных импульсов могла изменяться от 5 мДж до 32 мДж.

Излучение лазера (1) с помощью фокусирующей системы (2) направлялось на мишень (3), расположенную в ее фокусе или вблизи от него. Под воздействием лазерного излучения на облучаемом объекте формировалась эрозионная плазма (4), спектральный состав излучения которой регистрировался. Излучение плазмы, с помощью оптико-механического блока сбора излучения (5), направлялось в оптоволокно, с помощью которого вводилось в монохроматор-спектрограф MS 2004i (6). Регистрация спектра лазерно-эмиссионной плазмы на выходе монохроматора-спектрографа осуществлялось с помощью регистратора излучения UC-16H10420-

1106 на базе ПЗС-линеек. Спектры отображались в компьютерной программе Qsp Client. Управление установкой осуществлялось с помощью компьютера (7).

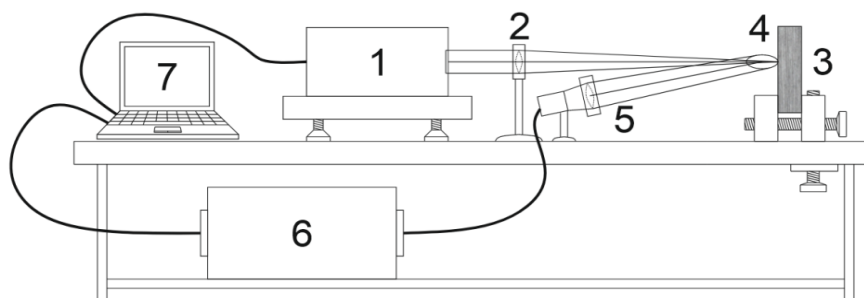


Рис. 1. – Схема экспериментальной установки

Объектом исследования являлась латунь. Поскольку медь и цинк являются доминирующими компонентами латунных сплавов, то для исследований были выбраны спектральные линии этих элементов: Cu I 324,754 нм, Cu I 327,396 нм, Zn I 330,259 нм и Zn I 334,502 нм. Мишень располагалась на столике и имела возможность перемещаться вдоль лазерного луча при вращении винта. В экспериментах ее положение изменялось с шагом 0,5 мм. Исследования проводилось при работе лазера в режиме парных импульсов. Плотность мощности лазерного излучения на поверхности мишени при ее расположении в фокусе фокусирующей лазерное излучение системы составляла 2×10^9 Вт/см².

Предметом исследования являлось определение влияние положения мишени относительно фокуса оптической системы фокусирующей лазерное излучение на интенсивность указанных выше спектральных линий. На рис. 2 приведены варианты фокусировки лазерного излучения на мишени.

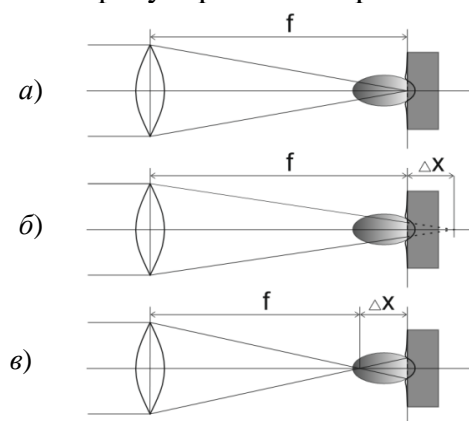


Рис. 2. Схемы фокусировки лазерного излучения

На рис. 2, а показана схема фокусировки лазерного излучения на переднюю поверхность мишени. Она чаще всего используется в практической спектроскопии. На рис. 2, б показана схема с использованием отрицательной фокусировки. В этом случае фокус фокусирующей лазерное излучение системы расположен внутри исследуемого объекта или за ним. На рис. 2, в показана схема с использованием положительной фокусировки. В этом случае фокус фокусирующей лазерное излучение системы расположен перед исследуемым объектом.

2. Результаты и их обсуждение.

Зависимости интенсивности спектральных линий Cu I 324,754 нм (кр. 1), Cu I 327,396 нм (кр. 2), Zn I 330,259 нм (кр. 3) и Zn I 334,502 нм (кр. 4) от ΔX для латуни представлены на рис. 3. Задержка второго импульса относительно первого

составляла 1 мкс. Из представленных зависимостей видно, что по мере удаления исследуемого образца от фокуса, уменьшается интенсивность спектральных линий. В диапазоне $\Delta X \sim \pm 0,5$ мм интенсивность спектральных линий практически не изменяется. При увеличении расстояния от фокуса до объекта до ± 3 мм интенсивности спектральных линий падают в несколько раз. При $\Delta X \sim 4$ мм интенсивность спектральных линий уменьшается на порядок. Снижение интенсивностей спектральных линий для отрицательных ΔX более плавное, чем для положительных.

После действия первого лазерного импульса в окрестностях мишени образуется облако наноструктурированного вещества (пыли). Ее концентрация растет с ростом величины задержки второго импульса относительно первого по мере рекомбинации эрозионной плазмы. При воздействии на мишень второго лазерного импульса при положительных ΔX происходит приповерхностный оптический пробой воздуха. При $\Delta X \sim 3 - 6$ мм наблюдается наличие двух разнесенных в пространстве плазменных образований. Первое – лазерная искра в пылевом облаке на оси лазерного луча, второе – эрозионный плазменный факел на поверхности мишени. Наличие двух плазменных образований является нежелательным при проведении количественных измерений. Для исключения искры в пылевом облаке необходимо использовать минимальную задержку второго импульса относительно первого.

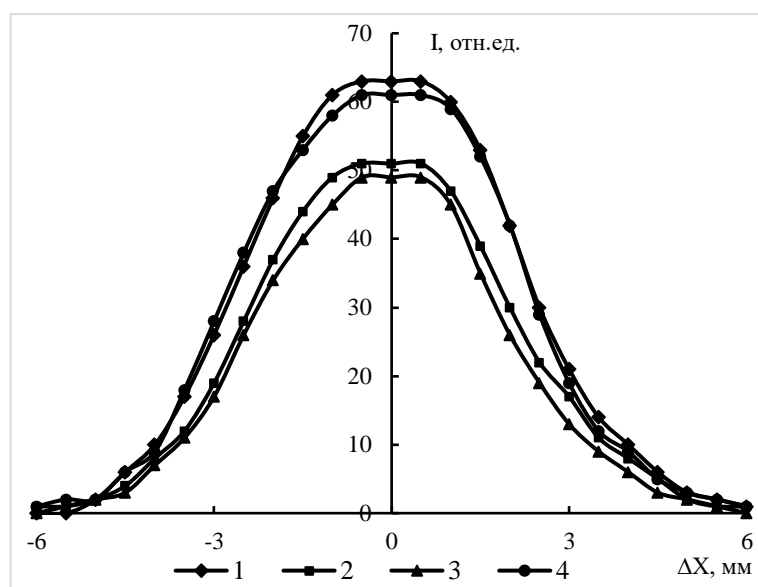


Рис. 3. – Зависимости интенсивности спектральных линий меди и цинка в излучении лазерно-эмиссионной плазмы на поверхности латунного сплава от ΔX

Заключение

Таким образом, экспериментально показано, существование зависимости интенсивности спектральных линий эрозионной плазмы, образованной на поверхности латунной мишени парными наносекундными лазерными импульсами, от ее расположения относительно фокуса оптической системы фокусирующей лазерное излучение.

Установлены допустимые интервалы отклонения положения мишени относительно фокуса оптической системы, фокусирующей лазерное излучение, при которых интенсивности спектральных линий остаются неизменными и их значения могут использоваться при проведении количественного лазерно-эмиссионного анализа. Показано, что расположение исследуемого объекта относительно фокуса оптической системы фокусирующей лазерное излучение не должно отклоняться больше чем на $\pm 0,5$ мм.

Библиографические ссылки

1. Singh J., Thakur S. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. Amsterdam: Elsevier, 2007. 454 p.
2. Кремерс Д. Радиемски Л. Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия. М.: Техносфера, 2009. 370 с.
3. Попов А. М. Использование лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии для анализа конструкционных материалов и объектов окружающей среды / А. М. Попов, Т. А. Лабутин, Н. Б. Зоров // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2009. Т. 50, № 6. С. 453–467.
4. Chemical Composition of Ceramic Tile Glazes / S. S. Anufrik [et al.] // Journal of Applied Spectroscopy. 2016. Vol. 83, No 5. P. 764–770.
5. Модификация химического состава и повышение износостойкости полуфриттовой глазури напольной керамической плитки путем добавления плавленного корунда / С. С. Ануфрик [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. 2017. № 2. С. 83–94.
6. Першин С. М. Нелинейный рост эффективности взаимодействия второго импульса с мишенью при возбуждении плазмы цугом импульсов Nd:YAG-лазера / С. М. Першин // Квантовая электроника. 2009. Т. 39, № 1. С. 63–67.
7. Зажогин А. П., Фадаиян А. Р. Динамика процессов абляции и развития приповерхностной лазерной плазмы сплавов алюминия сдвоенными лазерными импульсами. // Вестник БГУ. Серия 1. Физика. Математика. Информатика. 2008. № 3. С. 15–18.
8. Зноско К. Ф. Усиление интенсивности спектральных линий лазерно-эмиссионной плазмы при ее формировании сдвоенными лазерными импульсами // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэм.. Фізіка. Інфар., выліч. тэхн. і кірав. 2020. Т. 10, № 2. С. 103–115.
9. Зноско К. Ф. Рост эффективности взаимодействия сдвоенных импульсов YAG:Nd³⁺-лазера с Al мишенью при уменьшении межимпульсного интервала // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэм.. Фізіка. Інфар., выліч. тэхн. і кірав. 2020. Т. 10, № 3. С. 100–113.
10. Ануфрик С. С. Спектральный анализ элементного состава древесноволокнистой плиты / С. С. Ануфрик, К. Ф. Зноско, Н. Н. Курьян // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэм.. Фізіка. Інфар., выліч. тэхн. і кірав. 2015. № 3 (199). С. 83–92.
11. Воробай Е. С. Ермалицкая К. Ф. Динамика процессов в приповерхностной плазме при лазерной абляции латунных сплавов ЛС одиночными и сдвоенными лазерными импульсами // Вестник БГУ. Серия 1. Физика. Математика. Информатика. 2008. № 3. С. 3–6.
12. Зноско К. Ф. Лецик С. Д. Оптимизация двухимпульсного режима лазерной абляции цветных металлов // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. 2021. Т. 11, № 1. С. 45–58.
13. Зноско К. Ф. Влияние температуры мишени на интенсивность спектральных линий лазерно-эмиссионной плазмы // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэм.. Фізіка. Інфар., выліч. тэхн. і кірав. 2021. Т. 11, № 1. С. 94–106.
14. Влияние плотности мощности лазерного излучения на интенсивность спектральных линий основных компонентов лазерной плазмы / С. С. Ануфрик [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. 2018. Т. 85, № 2. С. 285–292.