

Фадаиян А.Р., Патапович М.П., Зажогин А.П.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И ХАРАКТЕРИСТИК ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ АЛЮМИНИЯ ПРИ ИЛНП СДВОЕННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ**

*Белорусский государственный университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

By the method of spark laser spectrometry, the characteristics of aluminum laser plasma have been studied under the effect of double laser pulses. The parameters have been determined and the methods have been developed to control and change the ionic composition of a plasma stream in the sample direction in the process of pulsed laser film deposition (PLFD).

Использование лазеров в спектральном анализе началось с создания первых образцов твердотельных лазеров [1]. Лазерная абляция твердых тел наносекундными импульсами умеренной интенсивности ( $10^8 \dots 10^{10}$  Вт.см<sup>-2</sup>) используется во многих практических приложениях (атомизация вещества в лазерном спектральном анализе, обработка поверхности, получение нанокластеров, напыление пленок и др.). Воздействие таких импульсов на поверхность тела обычно сопровождается образованием низкотемпературной плазмы, в которой может поглощаться значительная часть энергии излучения, что влияет как на эффективность и качество абляции, так и на характеристики лазерной приповерхностной плазмы [2, 3]. При использовании метода лазерной абляции сдвоенными лазерными импульсами возможно целенаправленно влиять на компонентный и зарядовый состав потока лазерной плазмы. Для более полного использования этих потенциальных возможностей большое значение имеет детальное понимание наиболее существенных физико-химических процессов, определяющих характеристики приповерхностной плазмы, и разработка на этой основе способов контроля и управления зарядовым составом продуктов лазерной абляции, и в частности, при импульсном лазерном напылении пленок (ИЛНП) [4].

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. Спектрометр включает в себя в качестве источника возбуждения плазмы двухимпульсный неодимовый лазер с регулируемой энергией и интервалом между импульсами (модель LS2131 DM). Лазер обладает широкими возможностями как для регулировки энергии импульсов (от 10 до 80 мДж), так и временного интервала между импульсами (от 0 до 100 мкс). Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц и максимальной энергией излучения каждого из сдвоенных импульсов

до 80 мДж на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов  $\approx 15$  нс. Временной сдвиг между двоекными импульсами может изменяться с шагом 1 мкс. Лазерное излучение фокусировалось на образец с помощью ахроматического конденсора с фокусным расстоянием 100 мм. Размер пятна фокусировки примерно 50 мкм. Свечение плазмы собиралось с помощью аналогичного конденсора на переднюю поверхность двух кварцевых волокон диаметром 200 мкм и направлялось на входную щель двух спектрометров типа SDH-1. Регистрация спектра проводилась с помощью ПЗС- линейки TCD 1304 AP (3648 пикселей). Запуск системы регистрации спектров осуществлялась синхронно с приходом второго импульса. Все эксперименты проводились в атмосфере воздуха при нормальном атмосферном давлении.

Основная цель работы состояла в установлении условий для оптимального влияния дополнительного лазерного импульса на целенаправленное формирование компонентного и зарядового состава приповерхностной лазерной плазмы.

Динамика изменения ионного состава приповерхностной плазмы исследована методом многоканальной атомно-эмиссионной спектроскопии при воздействии двоекных лазерных импульсов на алюминиевую фольгу толщиной 60 мкм от энергии их (20...60 мДж), изменения временного интервала между ними (0...40 мкс) и размера пятна облучения при нормальном атмосферном давлении воздуха. Зависимости энергии импульсов излучения (в мДж) от энергии накачки и задержки приведены в таблице. Коэффициент использования лазерного излучения равен 0,6.

Таблица – Зависимость энергии импульсов излучения (в мДж) от энергии накачки и задержки

Задержка, мкс	Энергия накачки, Дж							
	10	11	12	13	14	15	16	17
100	17	28,5	39,5	50	60,5	71,5	84	95,5
110	22	32,5	44,5	57,5	69	80,5	93	104
120	26,5	38	51	64	75	86	97,5	110
130	30	42	54,5	66,5	78,5	89	100	111
140	32	44	56,5	68	79,5	90	102	111

Для более детального изучения эффекта действия второго импульса на процессы в приповерхностной плазме изучена динамика свечения атомных и ионных линий алюминия при различных временных интервалах между лазерными импульсами. В качестве типичного примера на рис. 1а приведены зависимости интенсивности атомных и ионных линий Al от величины временного интервала между импульсами. Задержка первого импульса постоянна и равна 130 мкс и при энергии импульсов накачки 15 Дж энергии импульсов излучения равна 55 мДж. Размер пятна повреждения 180 мкм. Как видно из приведенных данных интенсивность линий двухзарядных ионов Al III достигает

максимумами при временных интервалах между двоянными импульсами порядка 10...15 мкс. в то время как для однозарядных – в интервале 5...10 мкс.

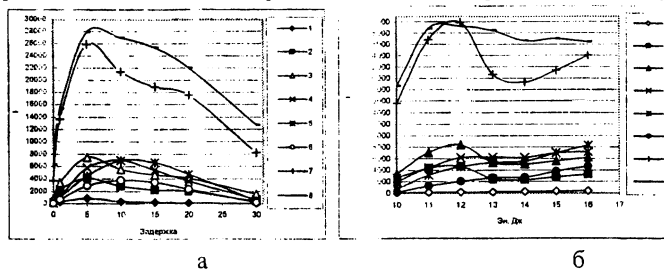


Рисунок 1 – Зависимости интенсивности линий алюминия Al II (281.5), 2. Al I (308.2), 3. Al I (309.3), 4. Al II (358.6), 5. Al III (360.1), 6. Al III (361.2), 7. Al I (394.3), 8. Al I (396.1) [5]: а - от временного интервала между импульсами; б – от энергии накачки

Зависимости интенсивности тех же линий от энергии накачки при постоянном временном интервале между импульсами равном 10 мкс приведены на рис.1 б. Интенсивности линий двухзарядных ионов Al III монотонно увеличиваются с ростом энергии лазерного излучения, и при энергии накачки 14 Дж они становятся более интенсивными, чем линии однозарядных ионов.

Для изучения влияния размера пятна облучения на процессы плазмообразования и состав плазмы исследованы зависимости интенсивности тех же линий от параметра расфокусировки (см. рис.2). Расфокусировка проводилась смещением образца на  $\pm 8$  мм от точного расстояния фокусировки с шагом через 1 мм. Из приведенных на рис. 2 данных обращает на себя внимание то, что интенсивность линий двухзарядных ионов максимальна при точной фокусировке, в то время как интенсивности линий однозарядных ионов и атомов максимальны при расфокусировке на  $\pm 1$  мм.

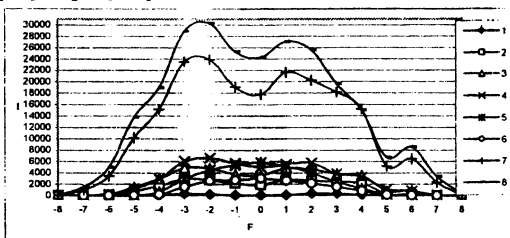


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности линий Al от параметра расфокусировки

Наблюдаемое увеличение эмиссии двукратно ионизованных атомов Al III при точной фокусировке может быть связано с возрастанием эффективности взаимодействия второго лазерного импульса с поверхностью мишени,

приводящее к увеличению количества локально испаренного вещества и улучшению условий его возбуждения в присутствии нанокластеров и плазмы от первого импульса.

Таким образом, выполненные спектроскопические исследования приповерхностной лазерной плазмы, образуемой вблизи поверхности алюминиевой мишени, при воздействии на нее двух последовательных импульсов показали возможность контроля и управления степенью ионизации плазмы. Определены временные интервалы между импульсами (5-15 мкс), параметры расфокусировки, обеспечивающие возможность получения максимальной интенсивности линий одно- или двухкратно ионизированных атомов алюминия.

Работа выполнена при частичной поддержке БРФФИ (грант Ф07-206).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сухов, Л.Т. Лазерный спектральный анализ / Л.Т. Сухов. – Новосибирск, 1990.
2. Анисимов, С.И. Избранные задачи теории лазерной абляции / С.И. Анисимов, Б.С. Лукьянчук // УФН. – 2002. – Т. 172, № 3. – С.301–333.
3. Воробьев, В.С. Плазма, возникающая при взаимодействии лазерного излучения с твердыми мишенями / В.С. Воробьев // УФН. – 1993. – Т. 163, № 12. – С. 51–83.
4. В.Е. Кошманов, А.Л. Смирнов, В.Ю. Фоминский // Сборник научных трудов «Научная сессия МИФИ-2003». – Т. 4. – С. 178–179.
5. Зайдель, А.Н. Таблицы спектральных линий / А.Н. Зайдель. – М.: 1962.

УДК 621.7

Федорцев В.А., Бабук В.В., Беденко И.Н.

## **АНАЛИЗ И ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Работоспособность деталей машин с покрытиями в большой степени зависит от совершенства применяемых методов очистки и подготовки поверхности под нанесение защитных покрытий, включая придание ей соответствующего микрорельефа и определенных физико-механических свойств (характеристик), что в итоге обеспечивает необходимое качество покрытий.

Интенсификация процессов подготовки поверхности является значительным резервом повышения производительности труда и снижения себестоимости изготовления деталей, так как в ряде случаев такая подготовка составляет до