

материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, г. Минск, 27-28 мая 2008 г. / редкол.: А.Ф.Ильющенко [и др.]. – Минск: ГНУ «ИПМ», 2008. с. 131-132.

5. Петюшик, Е.Е. Расчетно-экспериментальная методика оценки соотношения давление прессования – плотность при уплотнении многокомпонентной шихты на основе порошка кварца / Е.Е. Петюшик, А.А. Дробыш // Вестник ПГУ. Сер. В. – Прикладные науки. – 2007. – № 2. – С. 38-47.

УДК 533.9; 621.793.6

Фадаиян А.Р., Воропай Е.С., Зажогин А.П.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СДВОЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ ПАДЕНИЯ НА МНОГОЭЛЕМЕНТНУЮ МИШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЫ В ПРОЦЕССАХ ИЛПН

*Белорусский государственный университет,
г. Минск Республика Беларусь*

A special attachment and methods have been developed to analyze the composition and characteristics of laser plasma on ablation of multicomponent targets by double laser pulses at different incidence angles in the process of the pulsed laser film deposition (PLFD).

Лазерная абляция твердых тел наносекундными импульсами умеренной интенсивности используется во многих научных и практических приложениях. Импульсное лазерное напыление широко используется для формирования тонкопленочных структур и покрытий из самых различных материалов. Физические процессы, связанные с образованием приповерхностной лазерной плазмы, разлетом ее и осаждением на подложке настолько многофакторны, что не удается получить достаточно простых закономерностей, описывающих эти процессы. Так в частности методу импульсного лазерного напыления присущи некоторые недостатки, одним из которых является образование микрокапель (0,1...1 мкм) при абляции мишеней [1]. Анализ и целенаправленное изменение компонентного, зарядового и энергетического распределения состава лазерного факела возможно на основе дополнительного воздействия на первичную плазму дополнительного лазерного воздействия. При использовании схем и методов двухимпульсного лазерного воздействия при различных углах падения на мишень и плазму возможно одновременное проведение высокочувствительного спектрального анализа [2], контроля концентрации возбужденных и заряженных частиц плазмы и управлением составом плазмы, направляемой на подложку.

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 двоек импульсов до 80 мДж на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов ≈ 15 нс. Временной сдвиг между двоек 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 и угла падения лазерного излучения на поверхность мишени и целенаправленного формирования компонентного и зарядового состава, термодинамических характеристик приповерхностной лазерной плазмы.

Динамика изменения атомного и ионного состава, концентрации электронов и температуры приповерхностной плазмы исследована методом многоканальной атомно-эмиссионной спектроскопии при воздействии двоек лазерных импульсов на пластинку алюминиевого сплава Д16Т толщиной 1 мм от энергии (20...60 мДж), изменения временного интервала между ними (1...20 мкс) и угла падения лазерного излучения (от 90 до 300) при нормальном атмосферном давлении воздуха. Основными компонентами сплава Д16Т являются: Al – 91-95%, Cu – 3,8-4,9%, Mg – 1,2-1,8% [3]. Зависимости энергии импульсов излучения (в мДж) от энергии накачки и задержки приведены в таблице. Коэффициент использования лазерного излучения равен 0,6.

Для более детального изучения эффекта действия второго импульса на процессы в приповерхностной плазме изучена динамика свечения атомных и ионных линий алюминия при различных углах падения лазерного излучения на мишень. В качестве типичного примера на рис.1 приведены зависимости изменения интенсивности атомных и ионных линий Al от величины угла падения лазерного излучения на мишень, при задержках импульсов 130 и 140 мкс и энергии импульсов ≈ 45 -50 мДж. Как видно из приведенных данных интенсивность линий имеет определенную периодичность.

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
150	34	45,5	59	71	81,5	92	102	110
160	34,5	46,5	57,5	68	78	88,5	99	109
170	33	45,5	57	67,5	77,5	87,5	92	106

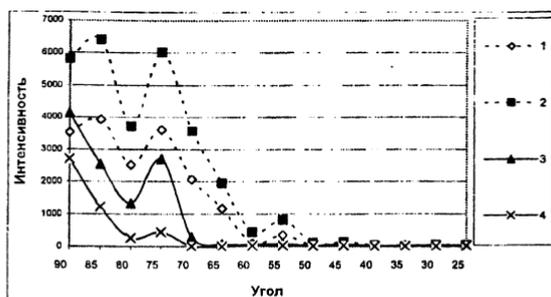


Рисунок 1 – Зависимости интенсивностей атомных и ионных линий Al от угла падения: 1 – Al I (308.199 нм), 2 – Al I (309.245 нм), 3 – Al II (358.627 нм), 4 – Al III (360.145 нм) [4].

Как указывалось выше, в качестве одного из компонентов в состав сплава входит Mg, который имеет довольно низкую энергию ионизации и по этому часто используется при определении средней концентрации электронов в плазме [5]. Зависимости интенсивностей ионной линии магния Mg II (λ 279,583 нм) от энергии накачки и при различных задержках второго импульса приведены на рис. 2. Задержка первого импульса постоянна и равна 130 мкс.

Средние концентрации электронов в плазменном облаке определялись по относительным интенсивностям атомной Mg I 285,2 нм и ионной линии Mg II 279,55 нм [4, 5]. Зависимость изменения средней концентрации электронов от энергии накачки и при различных временных интервалах между сдвоенными импульсами приведена на рис. 3.

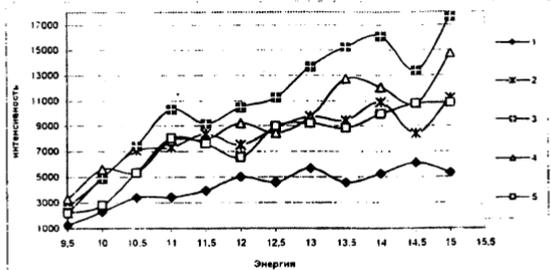


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности ионной линии Mg II (λ 279.583 нм), от энергии накачки при разных задержках второго импульса: 1 – 131; 2 – 135; 3 – 140; 4 – 145; 5 – 150.

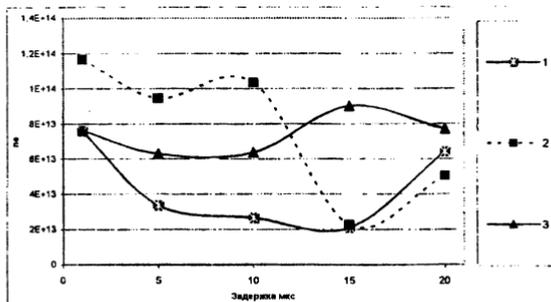


Рисунок 3 – Зависимости средних концентраций электронов в плазме от энергии накачки $E_{нак}$: 1 – 9,5 Дж, 2 – 12 Дж, 3 – 15 Дж при угле падения 30° .

На рис.4 приведены зависимости изменения температуры плазмы от угла падения лазерного излучения на поверхность мишени. Температура определялась методом Орнштейна с помощью линий меди (T_1 по отношению интенсивностей линий Cu I (510.5)/Cu I (515.3), T_2 по – Cu I (510.5)/Cu I (521.8 нм)) [4, 5].

Как видно из приведенных данных температура плазмы при уменьшении угла падения двоекных лазерных импульсов с различным временным интервалом между ними более менее монотонно увеличивается, с определенной периодичностью, примерно на 1000°C .

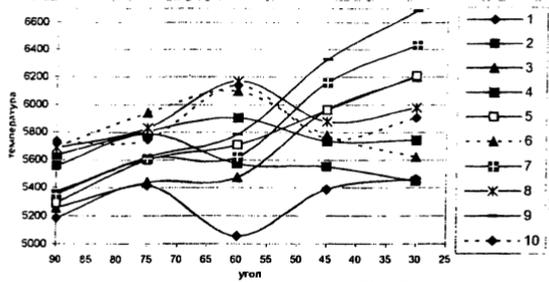


Рисунок 4. Зависимости температуры T1 и T2 от угла падения ($E_{\text{нак}}=15$ Дж) при разных задержках импульса для T1: 1 – 1, 3 – 5, 5 – 10, 7 – 15, 9 – 20 мкс; T2 : 2 – 1, 4 – 5, 6 – 10, 8 – 15, 10 – 20 мкс.

Таким образом, выполненные спектроскопические исследования характеристик приповерхностной лазерной плазмы, образуемой вблизи поверхности многокомпонентной мишени, при воздействии на нее двух последовательных импульсов под разными углами падения на поверхность показали возможность контроля и управления характеристиками плазмы. Определены временные интервалы между импульсами (5...15 мкс), углы падения лазерного излучения на поверхность мишени, обеспечивающие возможность получения необходимых концентраций одно- или двухкратно ионизированных атомов алюминия, магния и т.д.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев, В.С. Плазма, возникающая при взаимодействии лазерного излучения с твердыми мишенями / В.С. Воробьев // УФН. – 1993. – Т.163, №12. – С.51-83.
2. Сухов, Л.Т. Лазерный спектральный анализ / Л.Т. Сухов. – Новосибирск. 1990.
3. Материалы в приборостроении и автоматике. Под ред. Ю.М. Пятина. – М., 1969.
4. Зайдель, А.Н. Таблицы спектральных линий / А.Н. Зайдель. – М., 1962.
5. Зажогин А.П. Атомный спектральный анализ / А.П. Зажогин. – Минск. 2005.