

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ AlN В ЛАЗЕРНОМ ФАКЕЛЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА АЛЮМИНИЙ СЕРИЯМИ СДВОЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Зажогин А.П., Баззал Ходор, Воропай Е.С., Фадаиян А.Р.
Беларусь, Белорусский государственный университет, Минск
zajogin_an@mail.ru

SPECTRAL STUDIES OF THE AlN FORMATION PROCESSES IN THE LASER PLUME WHEN EXPOSED TO ALUMINIUM SERIES OF DOUBLE LASER PULSES

The formation processes of aluminum nitride when the aluminum alloy S16T was irradiated by double laser pulses in the air have been studied. The possibility to increase the portion of aluminum ions with different charges in the surface laser plasma in the ablation mode when the surface of aluminum alloys was subjected to defocused laser pulses, and also of AlN nanoclusters when a target was subjected to the effect of a series of double pulses has been demonstrated. The influence of laser parameters and of the processes proceeding at the surface and within the plasma on the formation of a particular ionic or molecular composition of the plasma when using double laser pulses has been estimated.

Вопросы кинетики плазмообразования и динамики формирования плазменных факелов продолжают играть центральную роль в изучении воздействия лазерного излучения на конденсированные среды, поскольку образование плазмы вблизи облучаемых поверхностей качественно меняет характер теплового и механического воздействия лазерного излучения на мишень. 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 [1], контроля концентрации возбужденных и заряженных частиц плазмы и управлением составом плазмы, направляемой на подложку. Разрабатываемый в данной работе подход основан на использовании высокоинтенсивных сдвоенных лазерных импульсов для распыления (абляции) исходной мишени непосредственно в воздухе. Возникающий в этом случае относительно небольшой (порядка несколько мм) плазменный факел характеризуется высокой температурой, давлением, большой степенью ионизации элементов, поэтому он вполне способен обеспечить интенсивный поток частиц желаемой (высокой) энергии на близко расположенную подложку при минимальном влиянии окружающей атмосферы.

Цель работы состояла в том, чтобы показать возможность и определить условия для получения методом абляции сериями сдвоенных лазерных импульсов алюминиевых мишеней в воздушной атмосфере нанокластеров соединений алюминия, типа AlO и AlN для использования в технологиях получения нанокристаллов и напыления тонких пленок.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. В качестве источника возбуждения плазмы в спектрометре используется двухимпульсный неодимовый лазер с регулируемой энергией и интервалом между импульсами (модель LS2131 DM). Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов ≈ 15 нс. Временной сдвиг между сдвоенными импульсами может изменяться от 0 до 100 мкс с шагом 1 мкс. Лазерное излучение фокусировалось на образец с помощью ахроматического конденсора с фокусным расстоянием 104 мм. Размер пятна фокусировки примерно 50 мкм. Все эксперименты проводились в атмосфере воздуха при нормальном атмосферном давлении.

Как известно, наиболее важную роль в образовании ионов и нанокластеров в составе лазерной плазмы играют процессы ионизации и рекомбинации ионов. Процессы ионизации определяются как плотностью потока лазерного излучения и потенциалом ионизации атомов, составляющих лазерную мишень, так и диаметром пятна фокусировки. В общем случае определение зарядового состава и спектрального распределения излучения представляет собой непростую задачу, поскольку лазерная плазма характеризуется, как правило, отсутствием локального термодинамического равновесия и произвольной оптической толщиной.

Динамика изменения атомного и ионного состава приповерхностной плазмы и образования AlN в лазерном плазменном факеле исследована при воздействии сдвоенных лазерных импульсов на пластинку алюминиевого сплава Д16Т толщиной 1 мм от энергии их (15-60 мДж), изменения временного интервала между ними (1-20 мкс), изменения плотности мощности путем расфокусировки

воздействующего излучения. Расфокусировка проводилась смещением образца на ± 4 мм от точного расстояния фокусировки с шагом через 1 мм.

При проведении экспериментальных исследований установлено, что наибольшая интенсивность полос наблюдается для интервала между импульсами 6-12 мкс. С использованием интервала 8 мкс нами проведено исследование процесса образования субоксидов AlO и нитрида алюминия AlN от энергии импульсов в зависимости от расфокусировки их. Данные проведенных исследований приведены на рисунке 1.

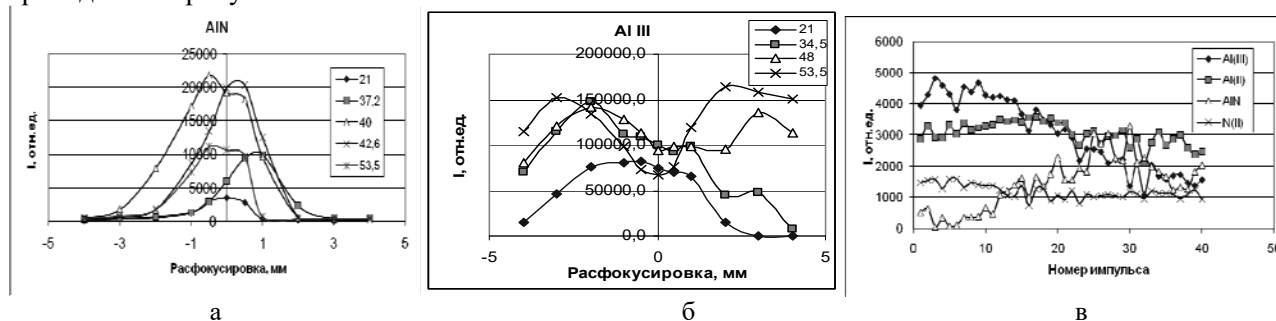


Рисунок 1. а - Зависимость интенсивности полосы AlN (507,8 нм); б - зависимость интенсивность линии Al III (452,92 нм) в спектрах от расфокусировки и энергии импульсов (энергия в квадратных скобках, мДж); в – зависимость интенсивности полосы AlN, ионов Al II (466,3 нм), Al III и N II (399,5 нм) от количества импульсов (энергия импульсов 40 мДж).

Как видно из полученных данных процесс образования AlN с увеличением энергии примерно до 40 мДж увеличивается, а затем скорость образования существенно падает. Зависимость от расфокусировки (плотности мощности) также неоднозначна.

При сопоставлении графиков на рисунков 1в обращает внимание хорошая корреляция между возрастанием интенсивности полосы нитрида алюминия AlN и существенным уменьшением интенсивности ионных линий Al III (452,92 нм) и NII (399,5 нм). Интенсивность линии Al II (466,3 нм) практически остается постоянной. На основании отмеченной корреляции можно сделать вывод о том, что ионы Al III значительно активнее участвуют в реакциях образования AlN и AlO, чем состояние Al II.

Очевидно, что чем жестче фокусировка и больше энергия импульсов излучения, тем в более ранние моменты времени плотность лазерного излучения на мишени достигнет пороговой и образовавшийся факел будет эффективно поглощать энергию. С увеличением расфокусировки плотность энергии уменьшается, время воздействия излучения увеличивается, и объем выброшенного материала также будет возрастать. Однако с расфокусировкой уменьшается плотность энергии в точке воздействия лазерных импульсов, что в свою очередь влияет на количественный и качественный состав плазмы.

Полученный результат может быть объяснён тем, что наибольшее влияние в данном случае оказывает плотность энергии в месте приложения излучения к поверхности, а также форма кратера. Следует отметить, что с расфокусировкой интенсивности ионных линий алюминия уменьшаются значительно медленнее, чем интенсивности полос нитрида алюминия, что говорит о большей зависимости образования молекулярных соединений в плазме от плотности мощности и геометрии кратера. Наличие зависимости образования AlN от количества импульсов указывает на то, что причину наблюдаемых явлений необходимо искать в особенностях плазмообразования внутри образующегося достаточно глубокого канала.

Результаты могут быть использованы как для интерпретации течения реакций образования молекулярных соединений в плазме под влиянием двоясных лазерных импульсов, так и для непосредственного контроля количества требуемых соединений в лазерном факеле, направляемом на подложку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сухов Л.Т. Лазерный спектральный анализ. Новосибирск. 1990