

ДИАГНОСТИКА ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ПО ШТАРКОВСКОМУ УШИРЕНИЮ ЛИНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ

В.С.БУРАКОВ, П.А.НАУМЕНКОВ, Н.В.ТАРАСЕНКО

*Институт молекулярной и атомной физики АН Б, 220072,
пр. Ф.Скорины, 70, Минск, Беларусь*

Abstract. Spectroscopic studies of plasma produced by laser evaporation of aluminum foil have been performed. The electron density and its temporal evolution have been determined from the Stark broadening and shift of emission line shapes.

Лазерно-плазменная обработка материалов с субмикронным разрешением представляется перспективным направлением в развитии новейших технологий, для оптимизации которой важное значение имеют исследования процессов, сопровождающих лазерное воздействие на образец и разработка методов их диагностики. Микроплазменные структуры создаются обычно при локальном воздействии импульсов лазеров с малой расходимостью пучка на поверхность протяженной мишени.

В настоящей работе проведены исследования лазерной плазмы, получаемой при воздействии лазерного излучения на торец трех плотно сжатых пластин, средней из которых является алюминиевая фольга. При достаточно большом диаметре пятна фокусировки лазерного излучения атомы материала фольги окружены плазменной оболочкой из другого вещества и тем самым создается более однородный слой плазмы алюминия. В этом случае у спектральных линий атомов фольги самообращение должно быть существенно слабее, или отсутствовать вообще. Это

обстоятельство позволяет использовать такую плазму для проведения спектроскопических исследований.

Плазма создавалась под воздействием импульсов излучения алюмоиттриевого лазера длительностью 10 нс и энергией в импульсе 100 мДж. Диаметр пятна фокусировки излучения на мишени составлял 0.8 мм. Толщина алюминиевой фольги 35 мкм. Две наружные массивные пластины для крепления фольги изготовлены из латуни.

Исследования проводились с помощью метода разрешенной во времени эмиссионной спектроскопии. Регистрировалось излучение линий атомов материала мишени (алюминия и меди). Из анализа контуров линий в предположении доминирующего вклада штарковского уширения определялась концентрация электронов в плазме и ее временной ход.

На рис.1 приведено изменение контура линии Al13961,5 А при увеличении времени задержки после начала воздействия лазерного импульса. Видно, что ширина контура быстро уменьшается со временем (примерно в 4 раза в интервале от 0.5 до 1 мкс), достигая инструментального предела (0.5 А) при $\tau > 2.5$ мкс. Максимальное спектральное разрешение спектральной аппаратуры определялось путем регистрации линий излучения разряда с полым катодом и He-Ne- лазера. Следует отметить, что наряду с уширением наблюдается сдвиг максимума контура линии излучения.

Измеренные значения $\Delta\lambda$ использовались для определения плотности электронов в предположении определяющего вклада в уширение линий квадратичного эффекта Штарка (в основном за счет ударного воздействия электронов). Это подтверждается также

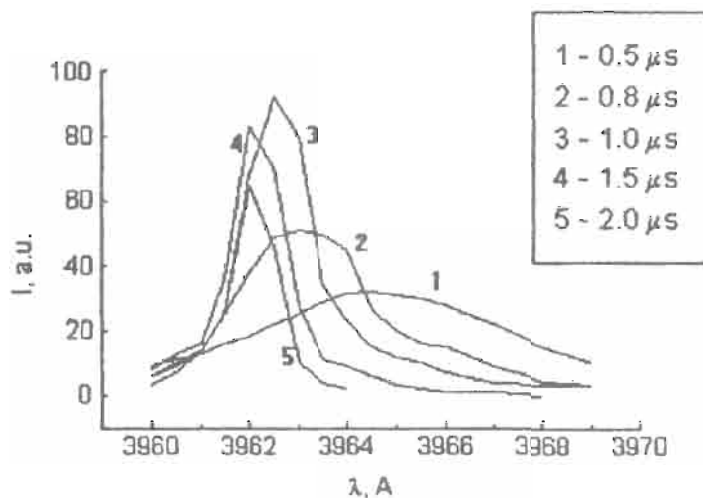


Рис.1. Контур линии AlI 3961.5 Å в лазерной плазме при различных задержках относительно плазмообразующего лазерного импульса.

наличием в соответствии с теорией сдвига контуров в длинноволновую область спектра на ранних стадиях распада плазмы. В условиях нашего эксперимента влияние других типов взаимодействий на уширение спектральных линий значительно меньше и может быть отнесено к величине ошибки измерения ширины линии.

В таком случае регистрируемая полная ширина линии на полувысоте (с учетом аппаратного уширения) и сдвиг центра контура линии излучения могли быть оценены соответственно из выражений:

$$\Delta\lambda(\text{Å}) = 2[1 + 1.75 \cdot 10^{-4} n_e^{1/4} \alpha (1 - 0.068 n_e^{1/6} T^{-1/2})] \cdot 10^{-16} w n_e, \quad (1)$$

$$\delta\lambda(\text{Å}) = [d/w + 2 \cdot 10^{-4} n_e^{1/4} \alpha (1 - 0.068 n_e^{1/6} T^{-1/2})] \cdot 10^{-16} w n_e, \quad (2)$$

где w - ударная электронная полуширина, d - ударный электронный

сдвиг и α - параметр ионного уширения, слабо зависящие от электронной температуры, и для линии Al13961,5А соответственно равные $1.54 \cdot 10^{-2}$, $0,187 \cdot 10^{-1}$ и 0.036 при $T_e = 1\text{эВ}$ (Грим, 1978).

Температура электронов оценивалась из относительной интенсивности линий меди CuI 5105,5 и CuI 5153,2А и принималась равной 1эВ при $t=1\text{мкс}$. Временная эволюция плотности электронов, определенная на основании (1) и (2) на расстоянии $0,5\text{мм}$ от поверхности мишени, приведена на рис.2.

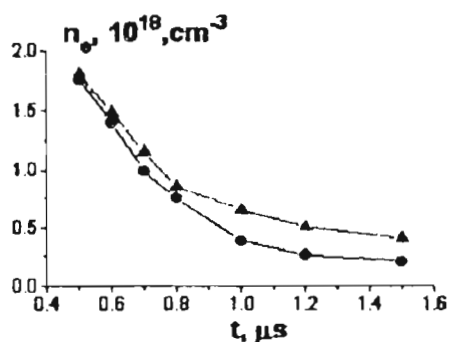


Рис.2 Временная зависимость концентрации электронов в лазерной плазме, определенная по штарковской ширине (\bullet) и сдвигу (∇) линии Al13961,5 А

Как видно из рис.2, имеет место удовлетворительное совпадение результатов определения n_e на основании измерений штарковской ширины и по сдвигу линий излучения в начальной стадии распада факела. При $t > 0.8\text{мкс}$ по ширине линии получены более низкие значения плотности электронов.

В докладе также приводится сравнение параметров алюминиевой микроплазмы, расширяющейся в атмосферный воздух и окружающую лазерно-абляционную плазму меди.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Грим Г.: 1978, "Уширение спектральных линий в плазме" М.