

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗЛЕТА ПАРОВ МИШЕНИ НА ОБРАЗОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

В.В.ЕФРЕМОВ, Л.Я.МИНЬКО, Ю.А.ЧИВЕЛЬ, А.Н.ЧУМАКОВ

Институт молекулярной и атомной физики Национальной Академии наук
Беларуси, 220082 Минск, Беларусь
E-mail lrpd@imaph.bas-net.by

Резюме. Обнаружена и исследована размерная зависимость порогов приповерхностного лазерного плазмообразования, обусловленная боковым разлетом паров мишени из области воздействия.

1. ВВЕДЕНИЕ

Образование приповерхностной лазерной плазмы, существенно изменяющее характер взаимодействия лазерного излучения (ЛИ) с облучаемыми материалами, является предметом многочисленных исследований. Экспериментально выявлена степенная зависимость времени начального плазмообразования от плотности мощности ЛИ в импульсе, хорошо соблюдающаяся при лазерном воздействии на ряд поглощающих материалов в условиях квазиодномерного разлета образующейся плазмы (Козлова Н.Н., и др., 1975; Бессараб А.В. и др., 1978; Данилычев В.А. и др., 1980; Чивель Ю.А. и Чумаков А.Н., 1983). Предложены эмпирические и теоретические обобщения обнаруженных закономерностей, описывающие также зависимость времени образования плазмы от формы лазерных импульсов (Берченко Е.А. и др., 1981, 1984; Минько Л.Я. и др., 1984; Минько Л.Я. и Чумаков А.Н., 1991; Борец-Первак И.Ю., Воробьев В.С.: 1995), а также влияние условий лазерного воздействия на особенности образования приповерхностной лазерной плазмы (Даньшиков Е.В. и др., 1982, 1985). В то же время особенности приповерхностного плазмообразования в условиях перехода к трехмерному разлету плазмы вплоть до струйного ее истечения почти не исследованы.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния характера разлета паров мишени на пороги испарения и плазмообразования при импульсном лазерном воздействии ($\lambda = 1,06$ мкм) на плоские полированные мишени из алюминия и алюминиевых сплавов в воздухе нормальной плотности.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В экспериментах использовался моноимпульсный лазер на неодимовом стекле с энергией в импульсе до 50 Дж. Переход от квазиодномерного к трехмерному разлету паров мишени осуществлялся изменением пятна облучения в диапазоне 0,25÷4 мм и длительности лазерных импульсов от микросекундной ($\tau = 0,35$ мкс) до наносекундной ($\tau = 60$ нс). Благодаря изменению как диаметра пятен облучения, так и длительности лазерных импульсов обеспечивалась возможность разделения влияния на пороги плазмообразования характера разлета паров мишени с одной стороны, и собственно размеров пятна облучения - с другой. Распределение плотности мощности ЛИ на плоских мишенях в пятнах облучения 1÷4 мм было близко к прямоугольному с неравномерностью не хуже 20%, а в пятнах диаметром менее 0,5 мм - дифракционным.

Экспериментально изучены зависимости времени начала испарения и плазмообразования от размеров пятна облучения и плотности мощности ЛИ для лазерных импульсов двух типов с крутизной переднего фронта 350 и 80 нс (рис.1). Момент начала испарения и плазмообразования устанавливался по достижению некоторой пороговой яркости свечения паров и эрозивной плазмы (Минько Л.Я., Чивель Ю.А., Чумаков А.Н., 1985). В частности, за порог испарения принималось достижение в пятне облучения яркостной температуры 2700 К, соответствующей температуре кипения алюминия при нормальных условиях. Обнаружен существенный рост порогов испарения и плазмообразования при пятнах облучения менее 0,5 мм. Для всех исследованных пятен облучения при интенсивности до $1,5 \cdot 10^3$ МВт/см², наблюдалась однотипная степенная зависимость (Минько Л.Я. и др., 1984) времени начала испарения и образования плазмы от плотности мощности ЛИ, что свидетельствует об эрозивном характере начального плазмообразования. Пороговые для плазмообразования плотности мощности ЛИ составляют 25 и 50 МВт/см² при $\tau = 350$ и 80 нс соответственно ($d=4$ мм).

При переходе к пятнам диаметром 0,25 мм ($\tau = 350$ нс) пороги плазмообразования возрастает до 80 МВт/см², а пороги испарения повышаются при этом почти вдвое независимо от длительности лазерных импульсов. Сравнение пороговых плотностей энергии испарения и плазмообразования в пятнах облучения диаметром 1-4 мм для лазерных импульсов различной длительности приводит к приближенной зависимости $E \sim \tau^{0,7}$.

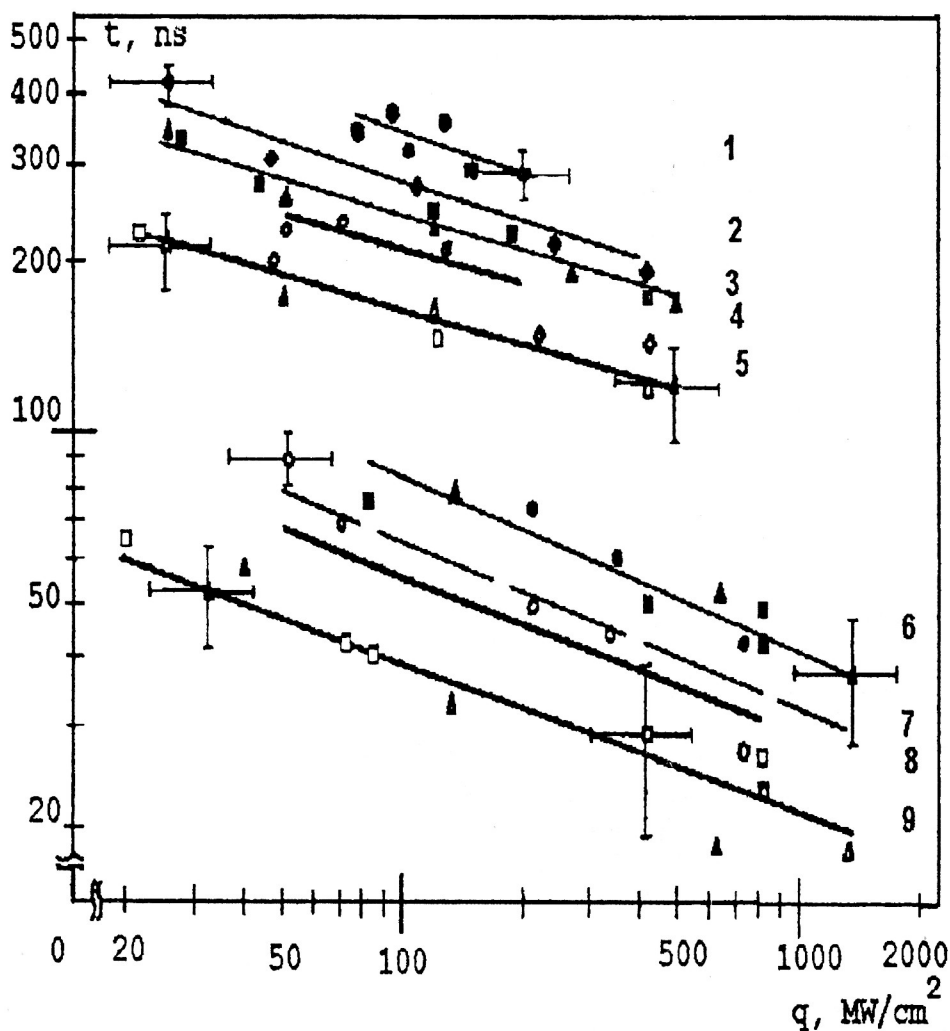


Рис. 1. Начало испарения - 4,5,8,9 (светлые символы \square , Δ , \diamond , \circ); начало плазмообразования - 1-3,6,7 (темные символы \square , Δ , \diamond , \circ); диаметр пятна облучения - 4 (\square), 1 (Δ), 0,5 (\diamond) и 0,25 мм (\circ); длительность фронта лазерного импульса 350 (1-5) и 80 нс (6-9).

Обнаруженная размерная зависимость порогов плазмообразования наблюдается лишь в условиях существенно неоднородного разлета, реализующего при воздействии лазерных импульсов с $\tau = 350$ нс, тогда как

размерная зависимость порога испарения наблюдается и в условиях квазиодномерного разлета ($\tau = 80$ нс). Таким образом, экспериментально обнаружена размерная зависимость порогов плазмообразования, обусловленная боковым разлетом паров мишени из области воздействия. Наблюдаемая зависимость порогов плазмообразования осложнена возрастанием порогов испарения в малых пятнах облучения ($d < 0,5$ мм), что указывает на локальный характер начального испарения.

ЛИТЕРАТУРА

- Берченко Е.А., Кошкин А.В., Соболев А.П., Федюшин Б.Т.: 1981, *Квантовая электроника*, 8, №7, 1582.
- Берченко Е.А., Кошкин А.В., Соболев А.П., Федюшин Б.Т.: 1984, *Квантовая электроника*, 11, №4, 842.
- Бессараб А.В., Романов В.М., Самылин В.А., Фунтиков А.И.: 1978, *ЖТФ*, 48, № 8, 1751.
- Борец-Первак И.Ю., Воробьев В.С.: 1995, *Квантовая электроника*, 22, 763.
- Данилычев В.А., Зворыкин В.Д., Холин И.В., Чугунов А.Ю.: 1980, *Квантовая электроника*, 7, №12, 2599.
- Даньшиков Е.В., Дымшаков В.А., Лебедев Ф.В., Рязанов А.В.: 1982, *Квантовая электроника*, 9, №8, 1703.
- Даньшиков Е.В., Дымшаков В.А., Лебедев Ф.В., Рязанов А.В.: 1985, *Квантовая электроника*, 12, №9, 1863.
- Козлова Н.Н., Петрухин А.И., Суляев В.А.: 1975, *Квантовая электроника*, 2, №7, 1390.
- Минько Л.Я., Чумаков А.Н., Чивель Ю.А.: 1984, *Квантовая электроника*, 11, №11, 2241.
- Минько Л.Я., Чивель Ю.А., Чумаков А.Н.: 1985, *Ж. прикл. спектроскопии*, 42, 55.
- Min'ko L.Ya., Chumakov A.N.: 1991, *Proceedings of the SPIE. Optical Radiation Interaction with Matter*, 1440, 166.
- Чивель Ю.А., Чумаков А.Н.: 1983, *Ж. прикл. спектроскопии*, 39, 159.