

07; 10; 11; 12

© 1993

## ИОННАЯ ЭМИССИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ДЕСЯТКИ МИКРОСЕКУНД

С.В. Авдеев, С.М. Булаев,  
А.Н. Галаев, А.Н. Облизин,  
С.М. Сильнов, Б.П. Яценко

До настоящего времени проведено значительное количество экспериментов по изучению как параметров лазерной плазмы, так и характеристик формируемых ионных пучков при взаимодействии излучения  $CO_2$  лазера с твердым телом [1-10]. При этом, как правило, длительность лазерного импульса не превышала нескольких микросекунд. В данной работе представлены результаты исследований ионного компонента лазерной плазмы, образованной под действием лазерного излучения длительностью десятки микросекунд.

В экспериментах использовался электроионизационный  $CO_2$  лазер ( $t_H = 20-45$  мкс,  $E_{лаз} < 40$  Дж) [11]. Лазерное излучение в камере взаимодействия фокусировалось на мишень ( $d_H > 0.5$  мм). При этом максимальная плотность потока  $\varphi_{max}$  составляла  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup> (в пичке). Ионная эмиссия изучалась с помощью время-пролетной методики. Рабочий вакуум в системе ( $p = 5 \cdot 10^{-6}$  Тор) обеспечивал бесстолкновительный пролет продуктов разлета лазерно-плазменного факела (ЛПФ) до электростатического анализатора ( $L = 300$  см). Ионный сигнал регистрировался вторично-электронным умножителем ВЭУ-2А, оцифровывался и обрабатывался на персональном компьютере.

При исследовании продуктов разлета ЛПФ зарегистрированы многозарядные ионы (МЗИ):  $Z_{max} = 8$  для алюминия,  $Z_{max} = 10$  для меди,  $Z_{max} = 11$  для тантала. По осциллограммам, полученным с выхода электростатического анализатора, установлено, что длительность ионного сигнала, которая зависит от времени ионной эмиссии, для ионов с  $Z = 1...2$  сопоставима с длительностью лазерного импульса. Для более высокозарядных ионов она примерно совпадает со значениями, полученными ранее для короткого импульса  $CO_2$  лазера ( $t_H = 1$  мкс). Сравнение параметров ионной эмиссии при  $t_H = 40$  и  $20$  мкс показывает, что максимальный заряд регистрируемых ионов в обоих случаях одинаков ( $Z_{max} = 4$  для углерода), количества высокозарядных ( $Z > 3$ ) ионов, эмиттируемых в апертуру анализирующей аппаратуры, примерно равны. При воздействии более длинного лазерного импульса максимумы энергетических распределений сдвигаются в низкоэнергетическую область, а количество низкозарядных частиц возрастает вдвое.

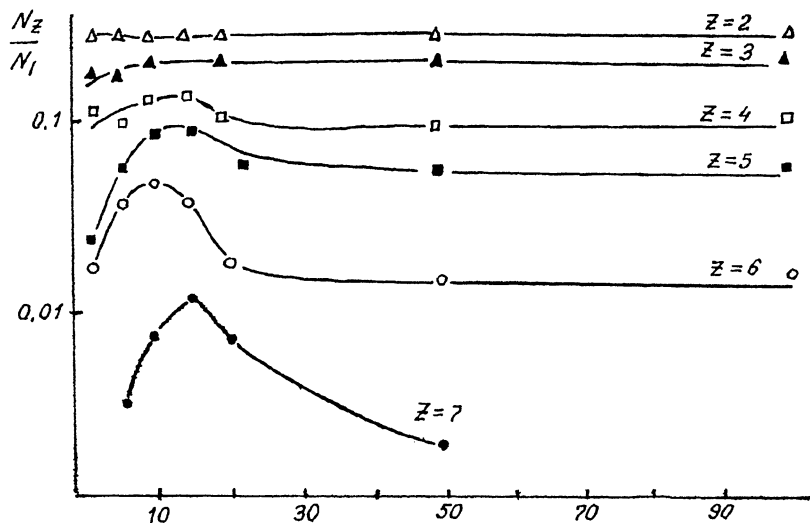


Рис. 1. Отношение количества ионов заряда  $Z$  к числу однозарядных ионов  $N_z/N_1$  в зависимости от толщины алюминиевой фольги.

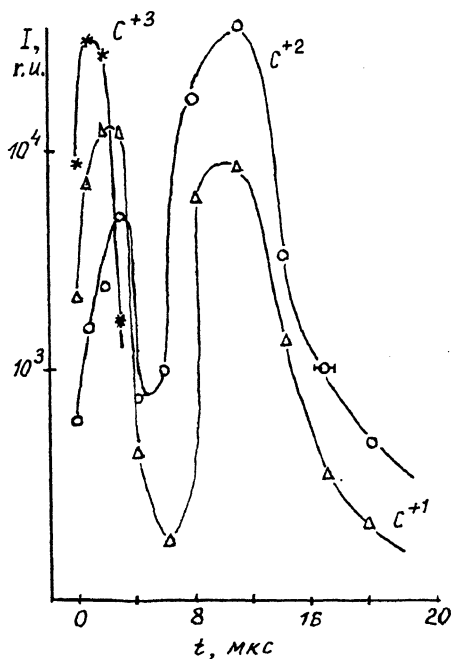


Рис. 2. Зависимость интенсивности спектральных линий ионов углерода ( $\lambda = 5891 \text{ \AA} - C^{+1}$ ,  $\lambda = 5695 \text{ \AA} - C^{+2}$ ,  $\lambda = 5812 \text{ \AA} - C^{+3}$ ) от времени ( $t = 0$  соответствует началу лазерного импульса).

Проведены эксперименты по взаимодействию лазерного излучения с фольками, когда за счет изменения толщины мишени можно было варьировать долю лазерного импульса, участвующую в формировании ионного пучка. На рис. 1 изображена зависимость отношения количества ионов заряда  $Z$  к числу однозарядных ионов  $N_z/N_1$  как функция толщины фольги. Наличие максимума отношения  $N_z/N_1$  указывает на то, что в процессе образования МЗИ эффективно используется лишь часть лазерного импульса.

С помощью оптического спектроанализатора  $WP-4$  выполнены спектроскопические исследования ЛПФ в видимом диапазоне. Спектроанализатор работал в стробоскопическом режиме ( $t_{стр} = 0.15 \dots 1.0$  мкс), меняя задержку между запуском лазера и считывающим импульсом видикона, изучалось временное поведение интенсивностей спектральных линий ( $\lambda = 5891 \text{ \AA} - C^{+1}$ ,  $\lambda = 5695 \text{ \AA} - C^{+2}$ ,  $\lambda = 5812 \text{ \AA} - C^{+3}$ ). Результаты экспериментов приведены на рис. 2. Для иона  $C^{+3}$  линия наблюдается лишь в течение нескольких микросекунд после начала лазерного импульса, а для ионов  $C^{+1}$  и  $C^{+2}$  длительность свечения составляет десятки микросекунд.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что при взаимодействии лазерного излучения длительностью десятки микросекунд с веществом происходит образование МЗИ, причем за это ответственен начальный участок лазерного импульса (несколько микросекунд). Остальная часть связана с образованием низкозарядных ионов  $Z = 1 \dots 2$ .

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] B r o m a g e G.E. et al. // J. Phys. O.: Appl. Phys. 1976. V. 9. P. 33.
- [2] Б а с о в Н.Г. и др. // Письма в ЖТФ, 1975. Т. 1. В. 24. С. 1105.
- [3] M a r t i n e a u J. et al. // Opt. Com. 1974. V. 12. P. 376.
- [4] E h l e r A.W. // J. Appl. Phys. 1975. V. 46. P. 2464.
- [5] T o n o n G., P a b e a u M. // Plasma Physics. 1973. V. 15. P. 871.
- [6] D e n u s S. et al. // J. Tehnical Physics. 1977. V. 18. P. 151.
- [7] Б а р х у д а р о в Э.М. и др. // Физика плазмы. Т. 10. В. 4. С. 757.
- [8] O g a x u b a r a M. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1986. V. 25. N 5. P. 722.
- [9] L a s h a m b r e J.L., N e u f e i l d C.R. // Phys. Fluids. 1981. V. 24. N 12. P. 2336.

- [10] Гапонов С.В., Стриковский М.Д. // ЖТФ. 1982. Т. 52. В. 9. С. 1838.
- [11] Баранов Г.А. и др. // Тез. докл. на III Всесоюз. конф. "Оптика лазеров". Ленинград, 4-8 января 1982 г.

Поступило в Редакцию  
13 апреля 1993 г.