

Формирование характеристик ионной эмиссии лазерной плазмы в присутствии проводящей диафрагмы

Ю.А.Быковский, И.Ю.Конюхов, В.Д.Пекленков, Д.В.Пономаренко

Рассмотрено влияние электрической связи диафрагма–мишень на формирование характеристик ионного компонента лазерной плазмы. Показано, что в случае, когда мишень и диафрагма изолированы друг от друга и находятся под плавающим потенциалом, наблюдается формирование пика высокоэнергетических ионов и повышается интегральное число ионов и их зарядность по сравнению со случаем, когда мишень и диафрагма соединены и заземлены.

Ключевые слова: лазерная плазма, ионы.

Введение

Как известно, энергетический спектр ионов формируется в результате сложного сочетания физических процессов [1–4]. Лазерная плазма ускоряется под действием сил, обусловленных градиентом давления в плазменном сгустке. На фоне газодинамического разлета ионы испытывают дополнительное ускорение в самосогласованном электрическом поле, возникающем на периферии лазерной плазмы вследствие различия тепловых скоростей электронного и ионного компонентов.

В этом свете представляется крайне важным поиск методов, позволяющих влиять на напряженность электрического поля такого плазменного конденсатора, а значит, на характеристики ионной эмиссии лазерной плазмы. В настоящей работе исследуется влияние на лазерную плазму плоской проводящей диафрагмы, установленной на пути ее разлета, при различной электрической связи мишень – диафрагма.

1. Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Она включает в себя CO₂-лазер 1 с максимальной энергией 2 Дж и частотой следования импульсов 1 Гц, систему зеркал 2 для ввода и фокусировки излучения по нормали к поверхности мишени (для получения максимальной интенсивности лазерного излучения), вакуумную камеру 3, коллекторную систему регистрации 7, расположенную на расстоянии 175 см от мишени 4, электростатический масс-спектрометр 8, вторичный электронный умножитель 9, усилитель 10 и запоминающий осциллограф 11.

Между мишенью 4 из углерода и фокусирующей линзой 6 установлена диафрагма – плоская металлическая пластинка 5 с отверстием диаметром 2 мм. При этом мишень и диафрагма были изолированы от корпуса камеры (земли). Расстояние от мишени до электрода менялось от

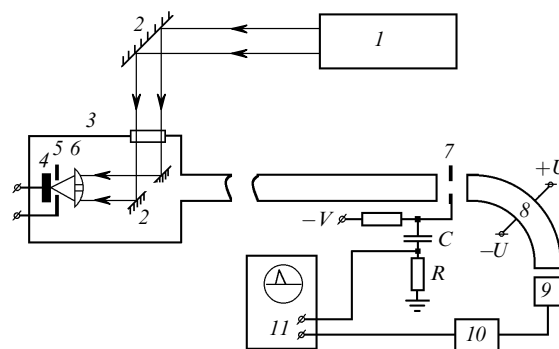


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 – CO₂-лазер; 2 – система зеркал; 3 – вакуумная камера; 4 – мишень; 5 – диафрагма; 6 – линза с отверстием; 7 – коллекторная система регистрации; 8 – электростатический масс-спектрометр; 9 – ВЭУ-2; 10 – быстрый усилитель; 11 – запоминающий осциллограф.

1 до 6 мм. Для вывода ионов из плазмообразующего узла в линзе и зеркале сделаны два отверстия диаметром 2.5 и 3.5 мм соответственно. С учетом того, что диаметр лазерного луча равен 25 мм, потери лазерного излучения из-за отверстий в оптике не превышали 5%.

Давление в системе составляло $\sim 10^{-5}$ мм рт. ст., интенсивность лазерного излучения, определенная в эксперименте по порогу образования искры в воздухе, была равна $\sim 10^9$ Вт/см².

2. Экспериментальные результаты

В процессе эксперимента были исследованы два типа связи мишень – электрод: 1) мишень и электрод изолированы друг от друга и находятся под плавающим потенциалом; 2) мишень и электрод соединены между собой и заземлены на корпус камеры. Предполагалось, что в первом случае можно усилить напряженность поля за счет уменьшения размеров электронного облака (сблизив обкладки плазменного конденсатора), а во втором – наоборот, уменьшить его напряженность вследствие стока части электронов на мишень (плазму) [5].

На рис.2 приведены характерные сигналы с коллектора при заземлении мишени и электрода (нижние кри-

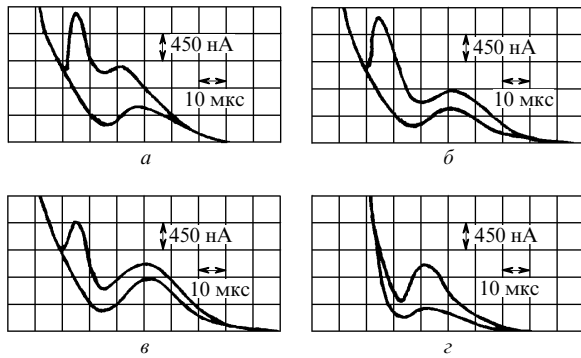


Рис.2. Осциллограммы ионного тока лазерной плазмы на коллектор при плавающем потенциале мишени и диафрагмы (верхние кривые) и соединении их между собой с заземлением на корпус вакуумной камеры (нижние кривые) при расстояниях между мишенью и диафрагмой $L = 1$ (а), 3 (б) и 6 мм (в) а также в отсутствие диафрагмы (г).

вые) и в случае, когда они находятся под плавающим потенциалом (верхние кривые). Момент генерации лазерного импульса совпадает с началом горизонтальной масштабной сетки. Как видно из приведенных осциллограмм, в случае, когда мишень и диафрагма оторваны друг от друга, интегральное число ионов, эмиттируемых из плазменного сгустка, больше, чем когда они замкнуты и заземлены; наблюдается также формирование пика высокоэнергетических ионов, который растет с уменьшением расстояния между мишенью и диафрагмой (т. е. при увеличении напряженности электрического поля плазменного конденсатора). Этот пик виден отчетливо, несмотря на сильный начальный фотосигнал с коллектора.

Уменьшение интегрального числа ионов и их энергии в случае заземленной диафрагмы можно объяснить тем, что из-за перезарядки системы диафрагма – мишень происходит эффективное торможение разлетающегося плазменного сгустка и увеличивается вероятность рекомбинационных процессов. Для сравнения на рис.2,г приведена характерная осциллограмма сигнала с коллектора в отсутствие электрода при заземленной мишени (нижняя кривая) и мишени, находящейся под плавающим потенциалом (верхняя кривая), на которой высокоэнергетичный пик отсутствует.

Диафрагма влияет и на зарядовый состав ионов лазерной плазмы. На рис.3 приведены энергетические спектры ионов углерода для двух вышеуказанных вариантов подсоединения мишени и диафрагмы. В случае плавающего потенциала мишени и электрода наряду со сдвигом энергетического спектра ионов в сторону высших энергий наблюдается увеличение максимального заряда ионов Z по сравнению со случаем заземления мишени и диафрагмы. Как видно из рис.3,а, в случае плавающего потенциала присутствуют ионы с $Z = 4$, тогда как при заземлении (рис.3,б) их практически нет. Этот факт можно объяснить тем, что поскольку мы с помощью диафрагмы увеличиваем электрическое поле на периферии плазменного сгустка, скорость ионов также возрастает (рис.2,а–в), существенно влияя на эффективность рекомбинационных процессов в плазме [6, 7].

Заключение

Полученные результаты показывают принципиальную возможность оказывать влияние на формирование энергетического, зарядового и количественного спектра

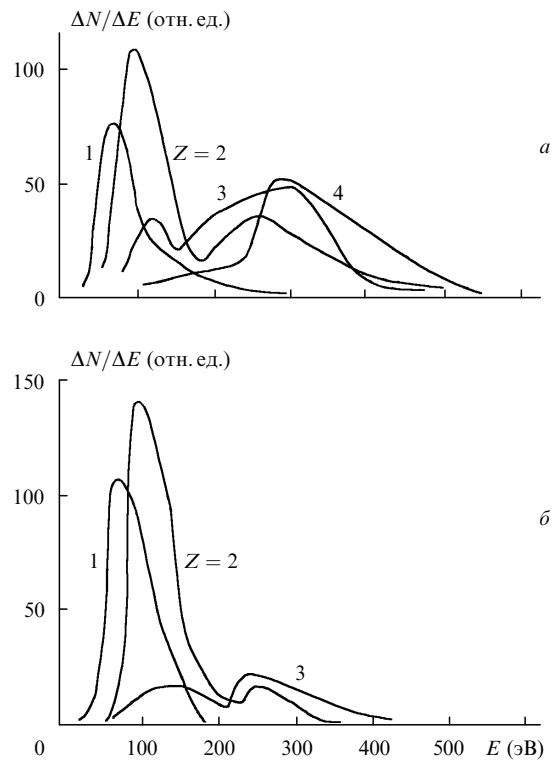


Рис.3. Энергетические спектры ионов углерода при разъемных (а) и заземленных (б) мишени и диафрагме для Z , указанных у кривых.

ионов на ранних стадиях разлета плазмы, что представляется крайне важным с точки зрения получения требуемых характеристик ионного компонента лазерной плазмы, например для создания высокоэффективных лазерных источников многозарядных ионов для ускорителей различных типов.

Данный метод применим также и в лазерной масс-спектрометрии, одной из задач которой является уменьшение числа многозарядных ионов, эмиттируемых из плазмы, достаточно простыми способами без уменьшения доли однозарядных ионов.

Работа выполнена в лаборатории МИФИ – ФИАН «Взаимодействие излучения с веществом» при поддержке УНЦ «Фундаментальная оптика и спектроскопия» в рамках ФЦП «Интеграция».

1. Быковский Ю.А., Васильев Н.М., Дегтяренко Н.Н., Елесин В.Ф., Лаптев И.Д., Неволин В.Н. *Письма в ЖЭТФ*, **15**, 308 (1972).
2. Быковский Ю.А., Дегтяренко Н.Н., Елесин В.Ф., Козырев Ю.П., Сильнов С.М. *ЖЭТФ*, **60**, 1306 (1971).
3. Goforth R.R., Hammerling P. *Appl.Phys.*, **47**, 3918 (1976).
4. Tonon G.F., Rabeau. *Plasma Phys.*, **15**, 871 (1973).
5. Быковский Ю.А., Козырев Ю.П., Конюхов И.Ю., Пекленков В.Д., Суворов К.Г., Шаренко О.В. *Препринт МИФИ № 089-88* (М., 1988, с. 8).
6. Плоткин М.Е., Рагозин Е.Н. *Квантовая электроника*, **8**, 1721 (1981).
7. Rumsby P.T., Paul J.W. *Plasma Physics*, **16**, 247 (1974).

Yu.A.Bykovskii, I.Yu.Konyukhov, V.D.Peklenkov, D.V.Ponomarenko.
Formation of the characteristics of ion emission from a laser-produced plasma in the presence of a conducting diaphragm.

The effect of electrical diaphragm-target coupling on the formation of ion component characteristics of a laser-produced plasma is considered. When the target and the diaphragm are insulated from each other and are under a floating potential, a high-energy ion peak is observed and the integral number of ions and their multiplicity increase compared to the case when the target and the diaphragm are connected and grounded.