

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

О. Г. Иванов, Р. И. Окунев, Л. Н. Пахомов,
В. Ю. Петрунькин, Л. Я. Полонский, Л. Н. Пят-
ницкий, Пробой воздуха при аксиконной фоку-
сировке лазерного излучения с переменной кри-
визной волнового фронта,
ЖТФ, 1987, том 57, выпуск 10, 2012–2014

<https://www.mathnet.ru/jtf944>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользова-
тельским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.84

17 апреля 2025 г., 17:29:28



ПРОБОЙ ВОЗДУХА ПРИ АКСИКОННОЙ ФОКУСИРОВКЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ КРИВИЗНОЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

*О. Г. Иванов, Р. И. Окунев, Л. Н. Пахомов, В. Ю. Петрунькин,
Л. Я. Полонский, Л. Н. Пятницкий*

Для практического применения лазерной искры помимо достаточно большой протяженности желательны также наличие сплошного канала. Фокусировка излучения сферической оптикой позволяет получить длинную лазерную искру [1], но канал разряда имеет дискретную («четочную») структуру. Использование бокового энергоподвода к области пробоя позволяет формировать протяженные лазерные искры со сплошным каналом [2]. Однако интенсивность излучения, сфокусированного аксиконом, существенно ниже, чем при применении сферической оптики, а погрешности в изготовлении аксикона могут приводить к провалам интенсивности вдоль каустики. Для снижения энергозатрат на образование лазерной искры и смягчения требований к качеству аксикона и лазерного пучка можно использовать пробой в режиме «бегущего фокуса» [3-6].

В [3] для этой цели предложено механически перемещать один из компонентов фокусирующей системы, в [4] — использовать электрооптическую линзу, в [5] — профилировать определенным образом поверхность сферической линзы, а в [6] — ввести в лазерный пучок-корректор пространственно-временного распределения интенсивности, состоящий из коноидного аксикона и дифференциальной световой задержки. В настоящей работе режим «бегущего фокуса» реализован за счет варьирования кривизны волнового фронта исходного лазерного излучения в течение длительности лазерного моноимпульса с помощью внутрирезонаторной плазменной линзы.

В качестве источника излучения использовался лазер, собранный на базе двух серпных приборов ГОС-1001. Он состоял из задающего генератора с неустойчивым резонатором

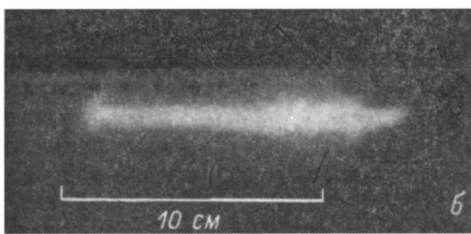
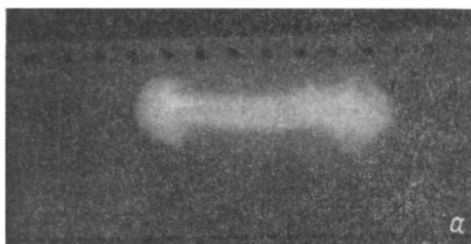


Рис. 1. Лазерная искра, полученная при фокусировке излучения аксиконом с преломляющим углом 15° без (а) и с плазменной линзой (б).

и каскада усиления [7]. Модуляция добротности осуществлялась металлизированной лавсановой пленкой (толщина подложки 20 мкм, слоя алюминия — 20 нм), которая просветлялась под действием электрического импульса или в результате воздействия лазерного излучения в процессе развития генерации. В последнем случае для инициирования генерации в центре пленки прожигалось пятно диаметром 4—5 мм с помощью вспомогательного лазера на АИГ с Nd.

Выходная энергия установки достигала 200 Дж. Длительность импульса задающего генератора при электрическом просветлении пленки составляла 30 нс, а после усиления 50 нс. При просветлении пленки под действием лазерного излучения длительность импульса увеличивалась до 60—100 нс. Пучок на выходе имел кольцевое сечение с внешним диаметром 4.5 и внутренним 2 см. При воздействии лазерного излучения на металлизированную пленку происходит испарение покрытия. Лазерное излучение, поглощаясь в плотных парах металла, вызывает их пробой. При разлете плазма начинает пропускать лазерное излучение, но при этом вносит фазовые искажения в волновой фронт из-за зависимости показателя преломления плазмы от концентрации электронов. Фактически плазменное облако действует как линза с переменной оптической силой, и область фокусировки смещается в зависимости от величины и знака кривизны формируемого волнового фронта.

На рис. 1 приведены фотографии лазерного пробоя воздуха, полученного при фокусировке излучения аксиконом с преломляющим углом 15° . В первом случае модуляция добротности осуществлялась просветлением пленки под действием электрического импульса, а во

втором под действием излучения. Из фотографии видно, что использование излучения с переменной кривизной волнового фронта позволяет получить более равномерную по плотности искру и увеличить ее протяженность от 100 до 130 мм.

На рис. 2 представлены аналогичные фотографии, полученные с аксиконом с преломляющим углом 5° . В данном случае искра состояла из отдельных очагов пробоя. При этом также наблюдаются улучшение однородности и увеличение длины искры от 290 до 500 мм.

Преимущество кольцевого лазерного пучка в экспериментах с фокусировкой излучения с переменной кривизной волнового фронта состоит в том, что к увеличению длины лазерной искры приводят как положительная, так и отрицательная линзы перед аксиконом. Первая из них смещает область фокусировки к аксикону, а вторая — от него. Поэтому по удлинению лазерной искры можно оценить диапазон изменения оптической силы эквивалентной сферической линзы.

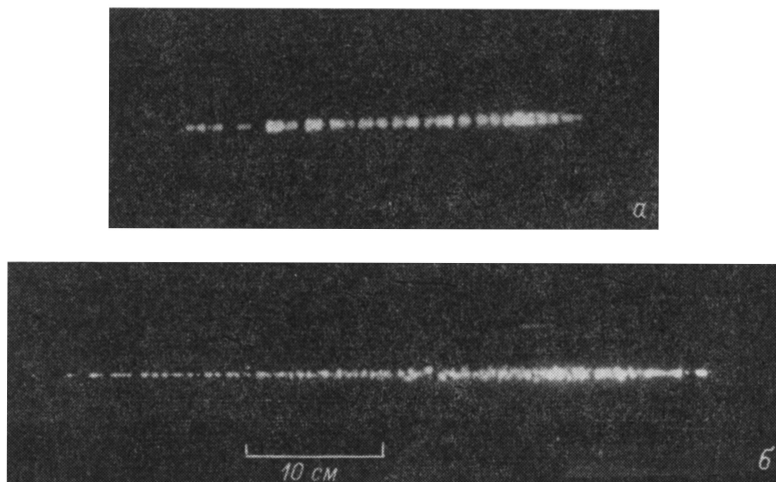


Рис. 2. Лазерная искра, полученная с аксиконом с преломляющим углом 5° без (а) и с плазменной линзой (б).

Для этой цели используем формулу длины искры при аксиконной фокусировке из [2] и получим для удлинения в направлении к аксикону Δl_1 и от него Δl_2

$$\Delta l_1 = \frac{\omega_1 [\alpha (n - 1) L + R]}{\alpha (n - 1) [2\alpha (n - 1) - \omega_1]}, \quad (1)$$

$$\Delta l_2 = \frac{-\omega_2 [\alpha (n - 1) L + 2]}{\alpha (n - 1) [2\alpha (n - 1) - \omega_2]}, \quad (2)$$

где α — преломляющий угол аксикона (рад); ω_1, ω_2 — углы распространения расходящейся и сходящейся сферических волн; R, r — внешний и внутренний радиусы кольцевого сечения пучка; n — коэффициент преломления материала, из которого изготовлен аксикон; L — расстояние от плазменной линзы до аксикона.

Из формул (1) и (2) можно определить ω_1 и ω_2 , соответствующие пределам интервала изменения угла раствора сферической волны, и оптическую силу плазменной линзы. Оказалось, что для $\alpha=5^\circ$ оптическая сила линзы изменяется от $-7 \cdot 10^{-3}$ до $2.5 \cdot 10^{-2}$ диоптрии, а для $\alpha=15^\circ$ от $-1.3 \cdot 10^{-2}$ до $7 \cdot 10^{-2}$ диоптрии. Эти результаты получены усреднением по десяти экспериментам каждый. Разброс значений составлял около 20 %.

Расхождение в оптической силе плазменной линзы при различных аксиконах может быть связано с недостаточной интенсивностью лазерного излучения в концах фокального отрезка при фокусировке 5° аксиконом. Следовательно, результат, полученный с 15° аксиконом, является более точным.

Таким образом, пробой в режиме «бегущего фокуса» может иметь осуществление сравнительно простым образом с помощью создания внутри резонатора плазменной линзы, оптическая сила которой меняется при релаксации плазмы.

Литература

- [1] Парфенов В. А., Пахомов Л. Н., Петрунькин В. Ю., Подлевский В. А. Письма в ЖТФ, 1976, т. 2, № 16, с. 731—734.
 [2] Волкова Н. А., Коробкин В. В., Малышева Е. О. и др. Препринт ИВТАН № 126. М., 1983.
 [3] Weyl G. M. J. Phys. D. Appl. Phys., 1979, v. 12, p. 33—49.
 [4] Гусак Н. А., Камач Ю. Э., Мащенко А. Г. Тез. докл. IV Всес. конф. «Оптика лазеров». Л., 1984, с. 258—259.
 [5] Mavaddat R. Optics Commun., 1978, v. 25, p. 215—220.
 [6] Коробкин В. В., Полонский Л. Я., Пятницкий Л. Н. А. с. 1082292 (СССР). Устройство для получения лазерной искры. — Оpubл. в Б. И., 1984, № 39, с. 198.
 [7] Парфенов В. А., Пахомов Л. Н., Петрунькин В. Ю., Подлевский В. А. Приборы и техника эксперимента, 1977, № 5, с. 174—175.

Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина

Поступило в Редакцию
25 сентября 1986 г.

УДК 537.52

Журнал технической физики, т. 57, в. 10, 1987

ФОРМИРОВАНИЕ СЛОЙНОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЗРЫВОМ АЛЮМИНИЕВЫХ ФОЛЬГ СУБМИКРОННЫХ ТОЛЩИН

П. Н. Роговцев, В. Ф. Соболев

Ранее было показано, что с помощью слоистого импульсного разряда (СИР) можно получать однородные по яркости свечения широкие плазменные поверхности площадью $\sim 10^3$ см² с яркостной температурой в ультрафиолетовой области спектра до 35 000 К [1—3]. Иницирование СИР в основном осуществлялось электрическим взрывом алюминиевых фольг толщиной более 6 мкм. При формировании разряда взрывом таких фольг плазма оказывается

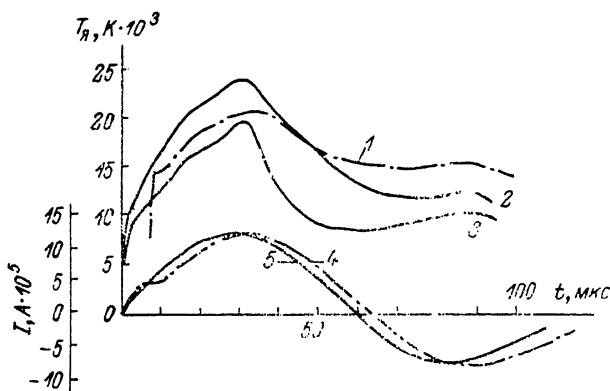


Рис. 1. Характеристики СИР: $T_{я}$ (1—3) и I (4, 5).
 d , мкм: 1, 4 — 7; 2, 5 — 0.5; 3, 5 — 0.06.

окруженной плотным слоем паров алюминия, создающих сильную экранировку излучения в видимой и коротковолновой областях спектра [4]. К тому же образующиеся при взрыве таких фольг мелкодисперсные конденсированные продукты загрязняют внутренние элементы конструкции разрядной камеры. Устранение этих недостатков СИР представляется возможным путем существенного (на порядок и более) уменьшения толщины фольги. В связи с этим в настоящей работе исследованы характеристики формирования и излучательные свойства СИР, инициируемого взрывом субмикронных алюминиевых фольг, нанесенных на лавсановую основу.

Формирование СИР осуществлялось в контуре конденсаторной батареи емкостью 1100 мкФ с начальным напряжением 25 кВ в воздухе при давлении 1 атм между двумя трубчатыми электродами с внутренним диаметром 16 см. При этом обратный токовод коаксиально