

04; 09

© 1991

ЭФФЕКТ ДИНАМИЧЕСКОГО КАНАЛИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ПРОТЯЖЕННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ*

В.И. К о л п а к о в, Л.В. Н о р и н с к и й,

В.С. Р о г о в

В литературе неоднократно обращалось внимание на возможность использования плазменных областей, сформированных с помощью лазерного излучения, для управления направленностью радиоволн [1, 2], а также в качестве элементов антенн приемно-передающих устройств [3].

В работе исследуется возможность использования аксиально-симметричных протяженных плазменных образований (ППО) в качестве направляющих линий для распространения электромагнитных волн.

В проведенных экспериментах ППО формировалось в результате оптического пробоя в воздухе при фокусировке лазерного излучения, генерируемого лазером на неодимовом стекле (длина волны 1,06 мкм). При этом в экспериментах были использованы плазменные каналы двух типов. В первом случае фокусирование излучения осуществлялось сферической линзой с фокусным расстоянием 7 м, канал получался квазинепрерывным, состоящим из отдельных сливающихся очагов пробоя. Во втором случае фокусирование кони-

* Работа докладывалась на международном совещании „Интенсивное СВЧ излучение в плазме“. Суздадь, 18-23 сентября 1990 г.

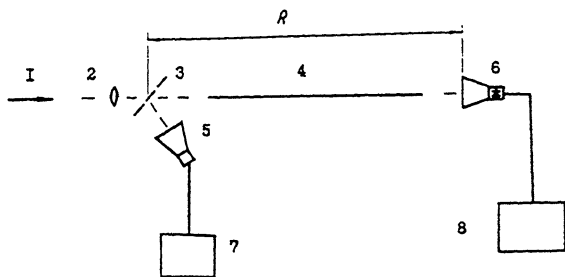


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

ческой линзой (аксиконом) обеспечивало регулярную структуру ППО [4, 5].

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В результате оптического пробоя воздуха лазерным излучением (1), направляемым фокусирующим элементом (2), в области между квазизеркалом (3) и приемной антенной (6) создавался плазменный канал (4). Квазизеркало (3), прозрачное для лазерного излучения, направляло радиоволну от передающей антенны (5) непосредственно вдоль канала (4). В качестве приемной и передающей антенн использовались антенны рупорного типа с шириной диаграммы направленности $\sim 30^\circ$. Приемная антенна (6) располагалась на оси распространения лазерного излучения на расстоянии R от квазизеркала (3), при этом $\frac{R}{\lambda} \gg 1$, где λ — длина радиоволны. В качестве источника непрерывного электромагнитного излучения использовался генератор СВЧ диапазона (7). Сигнал с детектора приемной антенны по согласованному кабелю поступал на вход осциллографа (8).

Методика эксперимента заключалась в следующем. В отсутствие плазменного канала элементы экспериментальной установки настраивались на оптимальный для приема уровень исходного сигнала U_0 с детектора приемной антенны. Начиная от момента пробоя регистрировалось изменение во времени амплитуды сигнала с детектора ΔU на экране осциллографа.

1. В случае канала, формируемого аксиконом, наблюдалось увеличение амплитуды сигнала с детектора приемной антенны при распространении излучения с длинами волн $\lambda = 10$, $\lambda = 7.5$ и $\lambda = 3$ см вдоль канала. Типичная осциллограмма сигнала с детектора при погонных энергозатратах на создание канала $\mathcal{E} = 1.8$ Дж/см представлена на рис. 2, а; длина волны излучения $\lambda = 7.5$ см. Из осциллограммы следует, что после пробоя в течение $T_a = 120$ мкс отмечается увеличение амплитуды сигнала на величину $\Delta U(t)$. Максимальное превышение амплитуды сигнала по отношению к исходному уровню U_0 составило величину $\frac{\Delta U_{max}}{U_0} = 0.4$. На рис. 3, а представлены графически зависимости

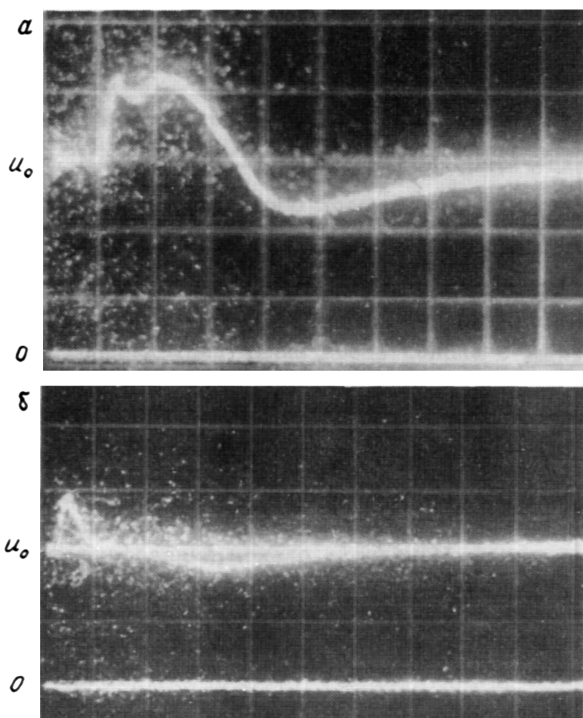


Рис. 2. Осциллограммы сигналов с детектора приемной антенны.

а - канал сформирован с помощью аксикона, погонные энергозатраты на создание канала $\mathcal{E} = 1.8$ Дж/см, длина волны излучения $\lambda = 7.5$ см; б - канал создан с помощью линзы, проведенная длина канала $L = 0.9$, длина волны излучения $\lambda = 10$ см. На осциллограммах а и б линия 0 - нулевой уровень сигнала, U_0 - уровень сигнала при отсутствии плазмы, развертка 50 мкс/кп.

максимального относительного превышения амплитуды сигнала от погонных энергозатрат на создание канала при распространении излучения с вышеуказанными длинами волн. Типичные длительности эффекта превышения амплитуды сигнала T_a над исходным уровнем при распространении вдоль канала излучения с теми же длинами волн приведены в таблице. Из рис. 3, а следует, что величина максимального относительного превышения амплитуды сигнала для всех длин волн существенно зависит от погонных энергозатрат, а длительность эффекта T_a , как следует из таблицы, резко уменьшается с уменьшением длины волн.

2. Для канала, создаваемого линзой, регистрировалось увеличение амплитуды сигнала с детектора приемной антенны при распространении вдоль канала излучения с длинами волн $\lambda = 10$,

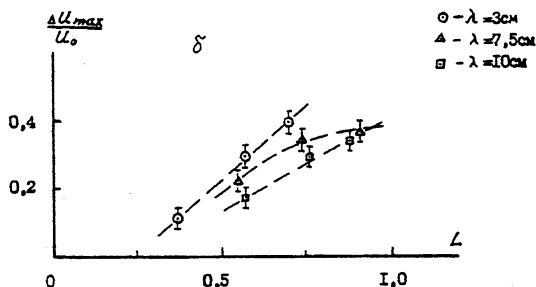
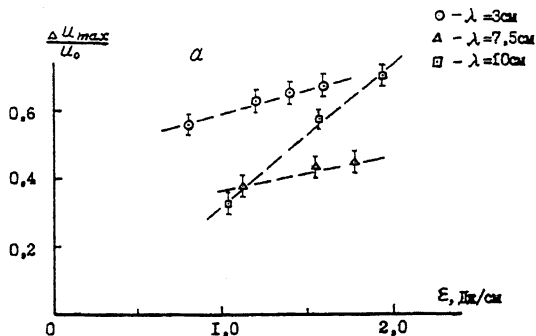


Рис. 3. а - зависимость максимального относительного превышения амплитуды сигнала $\frac{\Delta u_{max}}{u_0}$ от погонных энергозатрат на создание канала E при распространении излучения на 3-х длинах волн, канал сформирован с помощью аксикона; б - зависимость максимального относительного превышения амплитуды сигнала $\frac{\Delta u_{max}}{u_0}$ от приведенной длины канала L при распространении излучения на 3-х длинах волн, канал создан с помощью линзы.

Т а б л и ц а

λ , см	10	7.5	3
T_a , мкс	250	120	3
T_{II} , мкс	80	80	2

$\lambda = 7.5$ и $\lambda = 3$ см. Ввиду разрывности канала данного типа был введен параметр L , - так называемая „приведенная“ длина плазменного канала, который соответствовал суммарной длине отдельных очагов пробоя, отнесенных к расстоянию R . Осциллограмма сигнала с детектора приемной антенны для канала с $L =$

$= 0.9$ представлена на рис. 2, б, длина волны излучения $\lambda = 10$ см. Из осциллограммы следует, что после пробоя в течение времени $T_{\text{п}} = 70$ мкс наблюдается увеличение амплитуды сигнала на величину $\Delta u(t)$. Максимальное превышение амплитуды сигнала по отношению к исходному уровню u_0 составило величину

$\frac{\Delta u_{\text{max}}}{u_0} = 0.4$. На рис. 3, б, представлены графически зависимости максимального относительного превышения амплитуды сигнала

$\frac{\Delta u_{\text{max}}}{u_0}$ от приведенной длины канала при распространении излучения с вышеуказанными длинами волн.

Типичные длительности эффекта превышения амплитуды сигнала $T_{\text{п}}$ над исходным уровнем при распространении излучения вдоль канала с теми же длинами волн приведены в таблице. Из рис. 3, б и таблицы следует, что в случае разрывного канала для всех длин волн излучения величина

$\frac{\Delta u_{\text{max}}}{u_0}$ возрастает пропорционально увеличению параметра L , а длительность эффекта $T_{\text{п}}$ резко уменьшается с уменьшением длины волны в диапазоне $\lambda_{\text{п}} = 7.5-3$ см.

3. При формировании канала аксиконом, наряду с увеличением регистрировалось также и уменьшение амплитуды сигнала с детектора приемной антенны относительно исходного уровня u_0 при распространении вдоль канала излучения с длиной волны $\lambda = 7.5$ (см. рис. 2, а) и $\lambda = 3$ см. Из рис. 2, а следует, что амплитуда сигнала уменьшается ниже исходного уровня после исчезновения эффекта увеличения амплитуды сигнала. Эффект уменьшения амплитуды сигнала регистрировался при погонных энергозатратах на создание канала $\mathcal{E} \geq 1$ Дж/см, длительность эффекта уменьшения амплитуды сигнала составила $T_{\text{у}} = 400$ мкс при $\mathcal{E} = 2$ Дж/см, длина волны излучения $\lambda = 7.5$ и $\lambda = 3$ см. Этот эффект, по-видимому, связан с поглощением излучения в плазме канала.

4. Для канала, создаваемого линзой, тоже регистрировалось увеличение и последующее уменьшение амплитуды сигнала с детектора приемной антенны относительно исходного уровня сигнала при распространении вдоль канала излучения с длинами волн $\lambda = 10$ (см. рис. 2, б), $\lambda = 7.5$ и $\lambda = 3$ см. Эффект уменьшения амплитуды сигнала регистрировался при погонных энергозатратах на создание канала $\mathcal{E} \geq 1$ Дж/см, длительность эффекта составляла $T_{\text{у}} = 250$ мкс для трех указанных длин волн.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

- обнаружен эффект каналирования СВЧ излучения вдоль протяженного плазменного образования с размытой границей, выражающийся в увеличении амплитуды сигнала с детектора приемной антенны при формировании ППО. Указанное явление обусловлено, по-видимому, распространением вдоль ППО поверхностной волны Е-типа;

- эффект существует как в сплошном, так и в разрывном каналах, причем в последнем случае время его существования меньше, что коррелирует с характерными временами жизни этих каналов;

- в случае сплошного канала для исследуемого диапазона длин волн наблюдается монотонное возрастание величины эффекта с увеличением энергозатрат на создание канала;

- показана существенная зависимость длительности эффекта от длины волны излучения для каналов обоих типов, такая зависимость обусловлена, по-видимому, поглощением поверхностных волн в ППО;

- для разрывного канала существует непосредственная связь между увеличением сплошности канала и ростом величины эффекта;

- для каналов обоих типов зафиксировано ослабление сигнала с приемной антенны ниже исходного уровня, которое обусловлено, по-видимому, резонансным затуханием поверхностной волны в плазме канала.

Авторы выражают признательность В.Т. Юрову за существенную помощь при выполнении эксперимента, а также В.Е. Купьбеде за полезные обсуждения

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А с к а р ь я н Г.А., Р а б и н о в и ч М.М. // ЖЭТФ. 1965. Т. 48. № 1. С. 290-295.
- [2] А с к а р ь я н Г.А., Р а е в с к и й И.М. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. В. 18. С. 1131-1137.
- [3] D w y e r T., G r e i g J., P e r i n J. // IEEE. 1984. V. AP-32. N 2. P. 141-146.
- [4] К л е п а н д о И.Л., М к р т ч а н А.А., Р о г о в В.С., С п и р и н А.А., Ю р о в В.Т. Докл. на Ш Всес. сов. по физике и газодинамике ударных волн. Владивосток, 1989. (в печати).
- [5] М а р и н М.Ю., П о п о н с к и й Л.Я., П я т н и ц к и й Л.Н. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В.3. С. 146-151.

Поступило в Редакцию
10 февраля 1991 г.