

04; 09

© 1992

КАНАЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИМИ ПЛАЗМЕННЫМИ
ДИФРАКЦИОННЫМИ РЕШЕТКАМИ

В.И. Колпак о в, Л.В. Норинский

В настоящее время в различных приложениях является актуальной проблема транспортировки как непрерывного, так и импульсного СВЧ-излучения в плотных газах (в атмосфере). Ее решение диктуется, например, необходимостью увеличения возбуждаемого объема мощного СВЧ разряда в газовых лазерах, а также обеспечением возможности „подстройки“ объема СВЧ разряда с целью оптимизации удельного энерговклада в отношении КПД лазерной генерации [1]. В упомянутой работе в качестве решетки использовался пучок из нескольких газоразрядных трубок низкого давления (несколько Тор). При этом необходимо рассматривать задачу распространения электромагнитных волн (ЭМВ) в пространственной дифракционной решетке, состоящей из плазменных цилиндров с комплексной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$. При формируемом в [1] мощном СВЧ разряде и отличном от атмосферного давлении в трубках, априори, была не очевидна возможность прохождения ЭМВ в такую структуру, так как коэффициент пропускания излучения дифракционной решетки мог изменяться в широких пределах: от 0 до 1. Представляется целесообразным исследовать подобную решетку в случае транспортировки маломощного СВЧ-излучения, т. е. в строго линейном приближении.

В настоящей работе экспериментально исследуется возможность каналирования в атмосферном воздухе непрерывного СВЧ-излучения пучком протяженных плазменных образований (ППО), сформированным тремя равноотстоящими параллельными лазерными каналами оптического пробоя. В сечении такой пучок представляет равноостронный треугольник. Описание установки, методика и схема измерений, в основном, аналогичны работе [2]. Отличающаяся часть оптической схемы установки представлена на рис. 1.

Основное отличие заключалось в использовании составной фокусирующей системы с фокусным расстоянием $f = 4$ м. Излучение мощного лазера на неодимовом стекле (длина волны 1.06 мкм), падающее на фокусирующую систему ФС, формировало в воздухе одновременно три равноотстоящих ($d = 45$ мм) друг от друга параллельных плазменных канала, образующих пространственную дифракционную решетку.

Вдоль этой решетки осуществлялась транспортировка ЭМ излучения с длинами волн $\lambda = 10$ см и $\lambda = 7,5$ см. При этом регистрировалось увеличение амплитуды сигнала с детектора приемной ан-

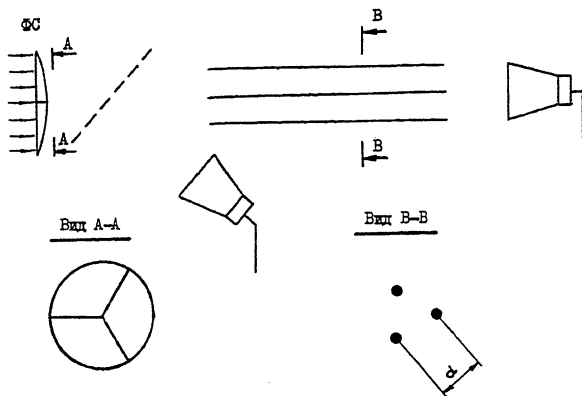


Рис. 1. Оптическая схема экспериментальной установки.

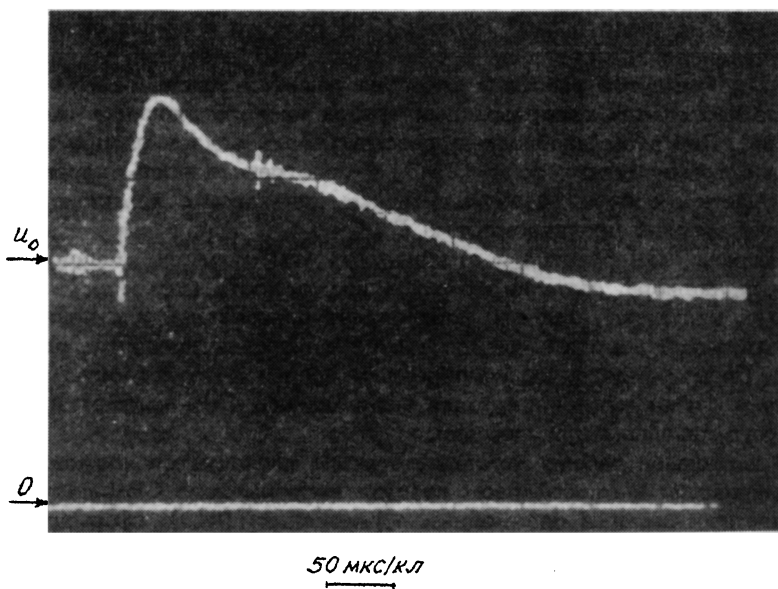


Рис. 2. Осциллограмма сигнала с детектора приемной антенны. Канал сформирован с помощью составной линзы, приведенная длина канала $\tilde{L} = 0.57$, длина волны излучения $\lambda = 7.5$ см. На осциллограмме линия 0 - нулевой уровень сигнала, u_0 - уровень сигнала при отсутствии плазмы, развертка 50 мкс/кв.

тенны по сравнению с исходным уровнем u_0 на обеих длинах волн излучения. Ввиду разрывности каналов ППО, аналогично работе [2], вводится параметр \tilde{L} - так называемая „приведенная“ длина ППО, усредненная по каждому из трех каналов ППО. Так же как и в работе [1], был введен параметр заполнения $\alpha = \frac{d}{\lambda}$.

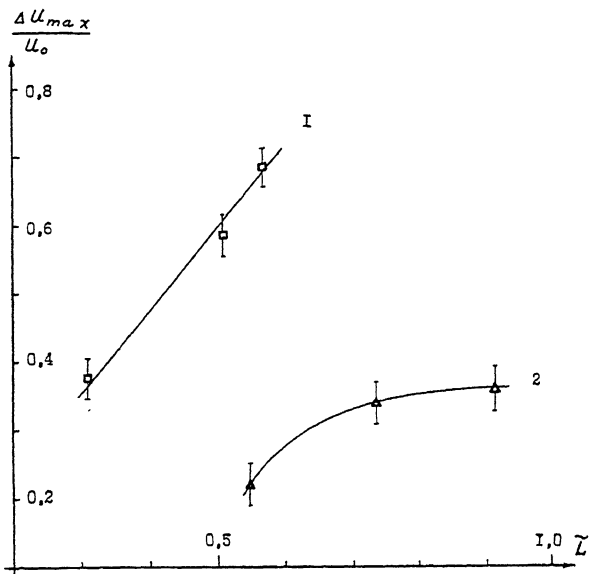


Рис. 3. Зависимость максимального относительного превышения амплитуды сигнала $\frac{\Delta U_{max}}{U_0}$ от приведенной длины канала \tilde{L} при распространении излучения с $\lambda = 7.5$ см: 1 – канал сформирован с помощью составной линзы, 2 – канал сформирован с помощью одинарной линзы [2].

На рис. 2 представлена осциллограмма сигнала с детектора приемной антенны для дифракционной решетки с $\tilde{L} = 0.57$, длина волны излучения $\lambda = 7.5$ см, $\alpha = 0.6$. Как следует из осциллограммы, после пробоя в течение времени $T = 110$ мкс наблюдается увеличение амплитуды сигнала на величину $\Delta U(t)$. Максимальное превышение амплитуды сигнала по отношению к исходному уровню U_0 составило величину $\frac{\Delta U_{max}}{U_0} = 0.68$. При транспортировке вдоль плазменной дифракционной решетки излучения с $\lambda = 10$ см также регистрировалась аналогичная осциллограмма, но эффект усиления амплитуды сигнала при этом примерно в два раза меньше относительно сигнала для излучения с $\lambda = 7.5$ см. На рис. 3 представлена графически зависимость максимального относительного превышения сигнала $\frac{\Delta U_{max}}{U_0}$ от приведенной длины ППО \tilde{L} (прямая 1) при транспортировке ЭМ излучения с $\lambda = 7.5$ см. На этом же рисунке приведена для сравнения зависимость $\frac{\Delta U_{max}}{U_0}$ от \tilde{L} для случая транспортировки ЭМ излучения с $\lambda = 7.5$ см вдоль одиночного плазменного канала из работы [2] (кривая 2).

Из сравнения осциллограмм каналирования одиночным каналом [2] и решеткой (при параметре $\tilde{L} \approx 0.5$) видны следующие особенности: временной диапазон транспортировки ЭМ излучения у решетки сравним с диапазоном одиночного канала, но амплитуда сигнала при этом в два с лишним раза больше, чем у одиночного канала: так же (при параметре $L \approx 0.5$) у решетки наблюдается резкий спад амплитуды сигнала до уровня $U(t)$, меньше исходного уровня U_0 , у одиночного канала наблюдается более плавный спад амплитуды сигнала до исходного уровня U_0 . С дальнейшим увеличением параметра \tilde{L} наблюдается значительное сокращение временного диапазона транспортировки излучения у одиночного канала более чем в два раза, в то время как у решетки диапазон остается почти неизменным. Анализ этих отличий говорит в пользу существования наряду с поверхностным каналированием другого способа транспортировки ЭМ излучения, по-видимому, объемного волноводного.

В пользу этого предположения указывает сравнение экспериментальных зависимостей рис. 3. Видно, что в случае решетки транспортировка ЭМ излучения резко улучшается уже при $\tilde{L} \approx 0.3$, в то время как у одиночного канала этот эффект начинает проявляться лишь при $\tilde{L} \approx 0.5$. Из этого следует, что помимо более высокой эффективности каналирования решеткой по отношению к одиночному каналу, требуется гораздо меньшая величина параметра \tilde{L} , т. е. значительно меньший энергозатрат. Также отметим, что для одиночного канала наблюдается достаточно сильное насыщение $\frac{\Delta U_{max}}{U_0}$ при больших \tilde{L} , объяснимое большим поглощением излучения при этом режиме. В случае решетки наблюдается линейный рост относительного превышения амплитуды сигнала в достаточно широком и минимальном по энергозатратам диапазоне параметра \tilde{L} , что говорит в пользу существования гибридного способа каналирования — волноводного и поверхностного.

Дополнительным подтверждением этому является также резкая зависимость эффективности каналирования решетки с фиксированным параметром α от длины волны излучения. При уменьшении длины волны всего на 25% с 10 см до 7.5 см амплитуды сигнала возрастает в два с лишним раза, что связано с удовлетворением условию критической длины волны для характерного размера данной волноводной системы $\lambda < \lambda_{кр} \approx 2d$ ($d = 4.5$ см).

Основные выводы работы заключаются в следующем.

1. Обнаружено эффективное каналирование высокочастотного непрерывного ЭМ излучения динамическими плазменными дифракционными решетками;
2. Показана возможность реализации в пространственных дифракционных решетках альтернативного способа транспортировки ЭМ излучения — объемного волноводного — при условии удовлетворения критической длине волны волновода, определяемой его характерным размером.

В заключение авторы считают необходимым поблагодарить В.Т. Юрова за существенную помощь в эксперименте.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ваулин В.А., Романович В.В., Слякко В.Н., Сулакшина Л.В., Сулакшин С.С. // ЖТФ. 1990 Т. 60. В. 2. С. 202-204.
- [2] Колпаков В.И., Норинский Л.В., Рогов В.С. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 10. С. 67-72.

Московский радиотехнический
институт

Поступило в Редакцию
7 апреля 1992 г.