

ПОЛУЧЕНИЕ СВЧ РАЗРЯДА БОЛЬШОГО ОБЪЕМА В ГАЗАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В. А. Ваулин, В. В. Романович, В. Н. Слинко, Л. В. Сулакшина,
С. С. Сулакшин

В работах [1-3] показано, что возбуждение газовых лазеров мощными СВЧ импульсами, генерируемыми релятивистскими СВЧ приборами, обеспечивает высокий (до 6 % [2]) КПД лазерной генерации, близкий к аналогичной величине при накачке пучками заряженных частиц [4]. Однако возбуждаемый в СВЧ разряде объем ограничен из-за скин-эффекта для поля электромагнитной волны. Величина скин-слоя при характерных для условий мощного СВЧ разряда значениях электронной концентрации $N_e = 10^{13} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$ [5] составляет δ 1—2 мм. Пробег же электронов при поперечной пучковой накачке может достигать десятков сантиметров. Следовательно, для обеспечения «конкурентоспособности» СВЧ накачки по

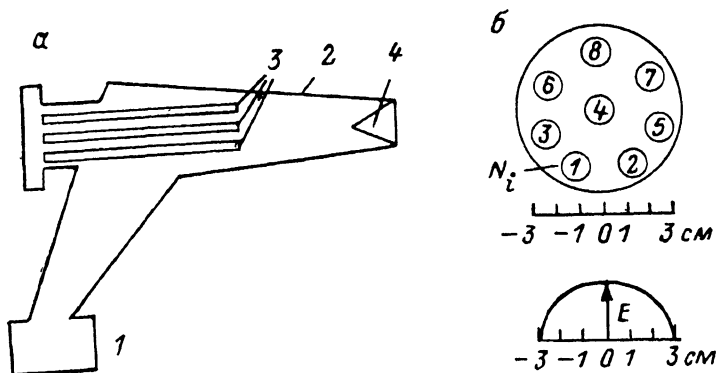


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (а) и распределение электрического поля ЭМВ в сечении волновода относительно расположения трубок (б).

1 — магнетронный генератор, 2 — волноводная секция, 3 — стеклянные трубки, 4 — поглотитель, N_i — номер трубки.

сравнению с электронным пучком необходимо найти путь увеличения объема СВЧ разряда. Кроме того, экспериментальное исследование коэффициента энерговода СВЧ импульса в плазму формируемого им СВЧ разряда показало несовпадение значений СВЧ мощностей, необходимых для полного энергопоглощения в плазме, приближающегося к 100 %, с одной стороны, и максимального лазерного КПД среды [6], с другой. Это также приводит к необходимости обеспечить возможность изменения объема СВЧ разряда с целью оптимизации удельного энерговклада (по КПД лазерной генерации) при неизменном интегральном энерговкладе. Предполагается для решения указанных проблем получать СВЧ разряд не в одной, а в наборе нескольких газоразрядных трубок. При этом объем возрастает в N раз, где N — число трубок. В этом случае возникает вопрос о распространении электромагнитной волны (ЭМВ) в пространственной дифракционной решетке из плазменных цилиндров с комплексной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$. При формируемых в мощном СВЧ разряде параметрах плазмы [5] и давлениях газа от единиц торр [1] до единиц атмосфер [2] плазма по отношению к ЭМВ может проявлять свойства как диэлектрика, так и металла [7]. В этом случае коэффициент прохождения ЭМВ в дифракционной решетке может меняться от 0 до 1 [8, 9], поэтому заранее не очевидна возможность проникновения ЭМВ в подобную структуру. Работы по изучению распространения ЭМВ в дифракционных решетках из плазменных цилиндров нам неизвестны.

В этой связи в настоящей работе экспериментально исследована возможность получения СВЧ разряда в системе газоразрядных трубок. Экспериментальная установка (рис. 1) включала импульсный магнетронный СВЧ генератор 1 с параметрами $\lambda = 10 \text{ см}$, $p = 150 \text{ кВт}$, $\tau_{0,5} = 2.5 \text{ мкс}$ и волноводную секцию 2, в которую помещалась исследуемая дифракционная решетка, составленная из 8 стеклянных газонаполненных трубок 3 длиной 25 см и внутренним диаметром 0.5 см. В качестве рабочего газа использовался неон. Давление газа в трубках варьировалось от единиц торр до нескольких атмосфер. Расстояние между осями трубок

$d=2$ см, таким образом, параметр $\kappa=d/\lambda$ составлял 0.2. На конце волноводной секции стояла согласованная нагрузка 4. В отсутствие плазмы КСВ структуры составлял 1.5. Плазма в трубках дифракционной решетки создавалась самим СВЧ импульсом, причем ЭМВ направляется под углом 45° к оси трубок. Величина вектора электрического поля ЭМВ относительно расположения трубок приведена на рис. 1 (тип колебаний ЭМВ H_{10}). В эксперименте регистрировалась интенсивность излучения из каждой газоразрядной трубки фотоэлектрическим и фотографическим методами.

Результаты эксперимента приведены на рис. 2. В диапазоне давлений до 2 атм, когда мощность СВЧ импульса еще была достаточной для развития самостоятельного разряда, последний возбуждался во всех трубках (рис. 2, а), что свидетельствует о возможности транспортировки ЭМВ в системе плазменных цилиндров при параметре $\kappa=0.2$. Прохождение ЭМВ в глубь дифракционной решетки сопровождалось поглощением СВЧ энергии, что отразилось в экспоненциальном спаде интенсивности свечения в трубках в направлении распространения ЭМВ

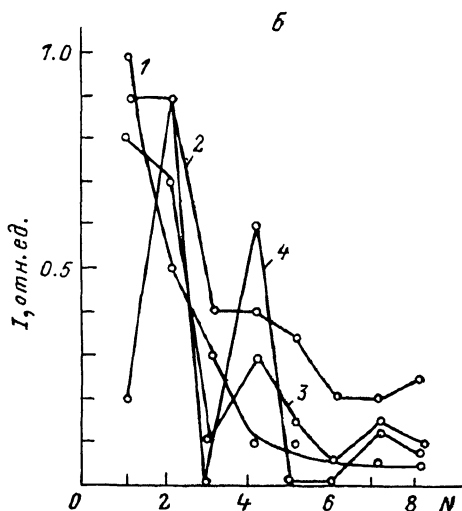
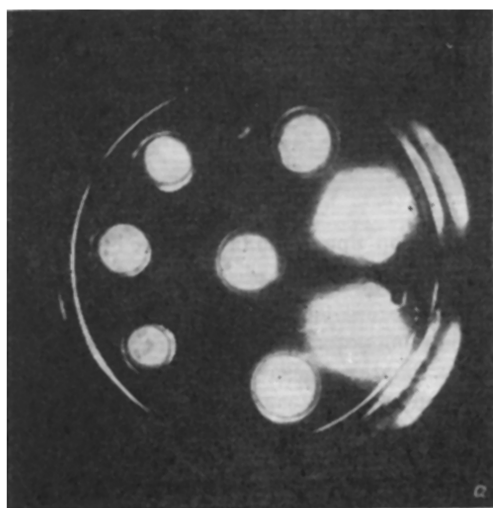


Рис. 2. Свечение разряда в плазменной дифракционной решетке, соответствующей рис. 1 при давлении неона $p=1$ атм (а), и распределение интенсивности свечения неона по трубкам (б).

б: 1 — $p=30$ Тор, 2 — 0.5 атм, 3 — 1 атм, 4 — 1.5 атм.

(рис. 2, б). С увеличением давления газа напряженность электрического поля ЭМВ для трубок, расположенных ближе к узкой стенке волновода, становилась сравнимой с напряженностью поля пробоя. В этих случаях наблюдался неоднородный характер свечения, определяемый распределением поля в сечении волновода (рис. 1, б). Наибольшие интенсивности свечения наблюдались в трубках, расположенных в максимуме поля ЭМВ (рис. 2, б, кривые 3, 4).

Рассмотренный случай, близкий к E -поляризации ЭМВ по отношению к элементам дифракционной решетки с точки зрения распространения ЭМВ, не является оптимальным. Более подходящей является H -поляризация. В этом случае даже для металлической дифракционной решетки коэффициент прохождения близок к единице [8]. Поэтому целью эксперимента являлось также исследование распространения ЭМВ через дифракционную решетку с малым $\sim 10^{-2}$ значением параметра κ в случае, когда вектор напряженности электрического поля перпендикулярен элементам решетки. Для этого, как и в [5], внутри прямоугольного 72×34 мм волновода вдоль его широкой стенки по центру располагалась газонаполненная кварцевая трубка внутренним диаметром 10 мм. Ось трубки перпендикулярна направлению распространения ЭМВ H_{10} -типа колебаний. На рис. 3, а приведен разряд в неоне ($p=1$ атм), инициируемый падающей на газонаполненную трубку ЭМВ. Четко виден скин-слой, составляющий величину ~ 1 мм. Плазменная дифракционная решетка создавалась посредством размещения во внутреннем объеме трубки вдоль ее оси керамических трубок внешним диаметром 2 мм и внутренним диаметром 0.5 мм. Газ заполнял пространство как внутри, так и между керамическими трубками, поэтому разряд горел как внутри, так и вне трубок. Как видно из рис. 3, б, разряд в этом случае носит квазиоднородный характер, причем скин-эффект не наблюдается. Причина исчезновения скин-слоя в плазме связана с электродина-

мическими свойствами распространения ЭМВ в пространственной дифракционной решетке (усредненное значение $\kappa=2 \cdot 10^{-2}$) в отличие от однородной плазмы.

Таким образом, следует вывод, что значительное увеличение объема самостоятельного СВЧ разряда может быть достигнуто при использовании набора трубок в виде простран-

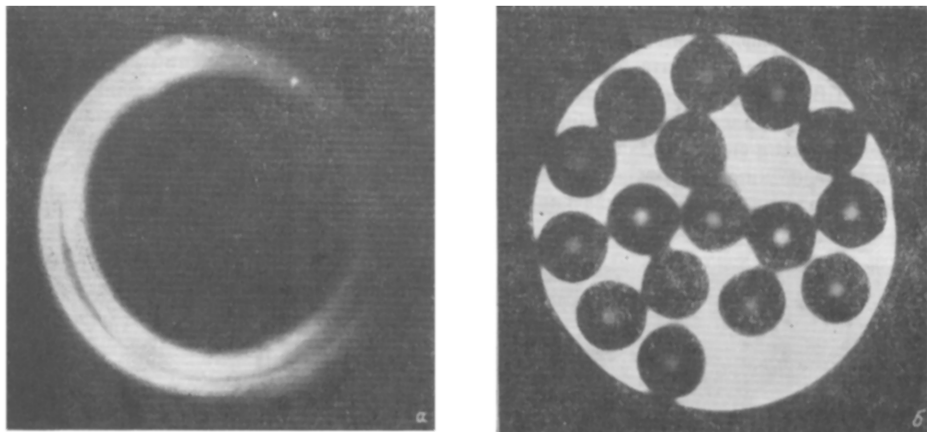


Рис. 3. Свечение разряда в неоне $p=1$ Тор при H -поляризации ЭМВ.
 а — в отсутствие дифракционной решетки, б — дифракционная решетка $\kappa=0.02$.

ственной дифрешетки. Перспективными для этой цели являются решетки с малым параметром $d/\lambda \ll 1$ при H -поляризации падающей СВЧ волны. В этом случае можно увеличить объем СВЧ разряда и по отношению к объему скин-слоя в однородной плазме, следовательно, данное ограничение также «снимается». Так, для случая, показанного на рис. 3, увеличение объема составляет ~ 2 .

Список литературы

- [1] Ваулин В. А., Слинко В. Н., Сулакшин С. С. // Квантовая электрон. 1988. Т. 15. № 1. С. 61—62.
- [2] Слинко В. Н., Сулакшин А. С., Сулакшин С. С. // Квантовая электрон. 1988. Т. 15. № 2. С. 292—294.
- [3] Диденко А. Н., Прохоров А. М., Слинко В. Н. и др. // ДАН СССР. 1988. Т. 300. № 6. С. 1363—1367.
- [4] Баранов С. В., Быстрицкий В. М., Диденко А. Н. и др. // Квантовая электрон. 1982. Т. 9. № 1. С. 110—115.
- [5] Диденко А. Н., Петров В. М., Слинко В. Н. и др. Деп. в ВИНТИ. 1986. № 4205-В26. 15 с.
- [6] Ваулин В. А., Слинко В. Н., Сулакшин С. С. // Тез. докл. VII Всесоюз. симпозиума по сильноточной электронике. Томск, 1988. Ч. 1. С. 290—292.
- [7] Райзер Ю. П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 308 с.
- [8] Шестопалов В. П., Литвиненко Л. Н., Масалов С. А., Сологуб В. Г. Дифракция волн на решетках. Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1987. 131 с.
- [9] Галишиников Т. Н., Ильинский А. С. Численные методы в задачах дифракции. М.: Изд-во Московского университета, 1986. 115 с.

Научно-исследовательский институт
 ядерной физики
 при Томском политехническом институте
 им. С. М. Кирова

Поступило в Редакцию
 28 декабря 1988 г.
 В окончательной редакции
 5 апреля 1989 г.