

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЫОНИЗАЦИИ ПЛАЗМЕННЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ В CO<sub>2</sub> ЛАЗЕРАХ

П.А. Атанасов, П.П. Брѣнзалов, И.Н. Иотов, Е.К. Карлова,  
И.О. Ковалев, Г.П. Кузьмин, А.А. Нестеренко

*Проведены исследования зависимости электронной концентрации от вложенной в источник предыонизации энергии и от расстояния до скользящего разряда в различных газовых смесях. В качестве подложки скользящего разряда исследованы различные материалы. Показано, что при частоте повторения импульсов > 10 Гц перспективными являются бериллиевая керамика и ленточный сапфир.*

Применение в качестве электродов CO<sub>2</sub> лазера плазменных листов, образованных скользящим по поверхности диэлектрика разрядом /1/, позволило создать класс электроразрядных лазеров, приближающихся по своим параметрам к лазерам с предыонизацией пучком ускоренных электронов.

Для формирования однородного сильноточного объемного разряда в системе с плазменными электродами необходимо, чтобы плазменный лист был достаточно однороден и служил эффективным источником предыонизации.

Авторами проведены измерения зависимости электронной концентрации  $N_e$  от вложенной в скользящий разряд энергии и расстояния до скользящего разряда в различных газовых смесях. В качестве датчика использовался цилиндр Фарадея согласно методике, описанной и примененной для аналогичных целей в /2/.

Скользящий разряд формировался на поверхности стеклотекстолитовой пластины толщиной 1,5 мм. Площадь плазменного листа варьировалась от 23 до 65 см<sup>2</sup>. Расстояние между электродами скользящего разряда 5 см. Для питания скользящего разряда использовался двухступенчатый генератор Маркса с емкостью в ударе 5 нФ и зарядным напряжением 20 ÷ 40 кВ. Индуктивность контура питания составляла 150 нГн. Электронная концентрация определялась по формуле

$$N_e = J/eSv_d,$$

где  $J$  — ток в межэлектродном пространстве зонда;  $S = 2 \text{ см}^2$  — площадь коллектора;  $v_d$  — скорость дрейфа электронов, которая определялась согласно /3/ по экспериментальному значению отношения  $E/N = 3 \cdot 10^{-17} \text{ В/см}^2$  ( $E$  — напряженность поля,  $N$  — концентрация молекул).

На рис. 1 приведены зависимости  $N_e$  от расстояния до скользящего разряда в N<sub>2</sub>, Ne и газовых смесях CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : Ne. Видно, что зависимости имеют одинаковый характер, но концентрация фотоэлектронов в азоте на два порядка выше, чем в лазерных смесях, что объясняется слабым поглощением ультрафиолетового излучения. В гелии  $N_e$  заметно меньше, чем в азоте, что объясняется меньшей эффективностью скользящего разряда за счет снижения напряжения замыкания разряда /4/.

Для определения зависимости концентрации фотоэлектронов от энергозклада на единицу площади скользящего разряда варьировалось напряжение генератора Маркса при неизменном значении емкости в ступенях. Измерения проводились для различных площадей плазменного листа. В диапазоне энергозкладов 0,1 ÷ 0,7 Дж/см<sup>2</sup> получены зависимости, близкие к линейным.

Из зависимостей, приведенных на рис. 2 видно, что эффективность плазменного электрода возрастает с увеличением его площади при условии постоянства удельного энергозклада. Этот факт объясним тем, что происходит увеличение размеров плоского источника ультрафиолетового излучения при одновременном возрастании его эффективности за счет увеличения рабочего напряжения.

Для повышения ресурса работы CO<sub>2</sub> лазеров с плазменными электродами и их перевода в импульсно-периодический режим требуется специальный выбор материала подложки скользящего разряда. Для исследования различных материалов была создана установка, позволяющая получать скользящий разряд с частотой повторения до 20 Гц. Система электродов скользящего разряда обеспечивала возможность легкой за-

мены диэлектрической подложки и ее охлаждение проточной водой. Контур питания скользящего разряда образован конденсатором емкостью 2,5 нФ и коммутирующим разрядником. Зарядное напряжение составляло 50 кВ. Площадь поверхности, занятой скользящим разрядом, могла изменяться от 3 до 10 см<sup>2</sup> при длине разряда 1,5 см. Поверхностная однородность скользящего разряда контролировалась визуально.

Концентрация фотоэлектронов определялась непосредственно по току несамостоятельного объемного разряда между плазмой скользящего разряда и металлическим электродом аналогично тому, как это было сделано в /5/. Измерения проводились в атмосфере азота при давлении 1 атм. Расстояние между скользящим разрядом и металлическим электродом составляло 2 см при  $E/N = 2 \cdot 10^{-17}$  В/см<sup>2</sup>.

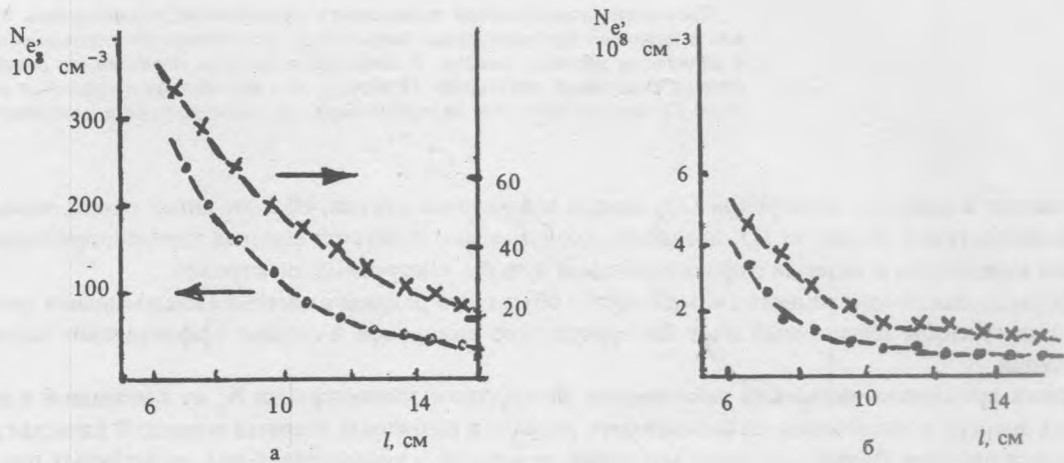


Рис. 1. Зависимость концентрации фотоэлектронов от расстояния до скользящего разряда: а) — x —  $N_2$ , — — — He; б) — x —  $CO_2:N_2:He = 1:1:16$ ; — — —  $CO_2:N_2:He = 1:2:3$ .

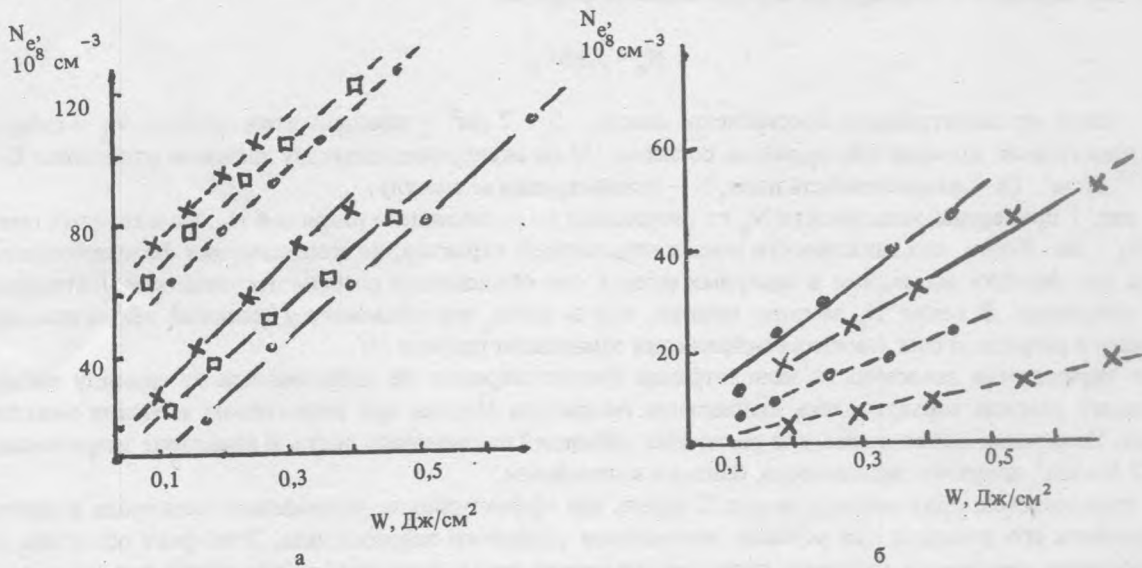


Рис. 2. Зависимость концентрации фотоэлектронов от энерговклада на единицу площади скользящего разряда ( $l$  — расстояние до скользящего разряда): а)  $N_2$ ,  $l = 156$  мм,  $S = 23,5$  см<sup>2</sup> (· · · ·), 33,5 см<sup>2</sup> (— □ —), 40 см<sup>2</sup> (— x —); He,  $l = 66$  мм,  $S = 33,5$  см<sup>2</sup> (— · · · —), 40 см<sup>2</sup> (— □ —), 62,5 см<sup>2</sup> (— x —); б)  $CO_2:N_2:He = 1:1:16$ ,  $l = 115$  мм,  $S = 33,5$  см<sup>2</sup> (· · · ·), 40 см<sup>2</sup> (— x —);  $CO_2:N_2:He = 1:2:3$ ,  $l = 155$  мм,  $S = 35$  см<sup>2</sup> (— · · · —), 22 см<sup>2</sup> (— x —).

Материал подложки	Толщина, мм	$N_e S/w, Дж^{-1} \cdot см^{-1}$		$\tau = 10^{-6} с$		Характеристика разряда ( $f = 17 Гц$ )
		однократный режим	$f = 2 Гц$	однократный режим	$f = 2 Гц$	
Стеклотекстолит	1,5	$11,2 \cdot 10^{11}$	$10,2 \cdot 10^{11}$	15	3,5	Неоднородный
Стекло	1	$6,8 \cdot 10^{11}$	$4,0 \cdot 10^{11}$	12,5	4,5	Неоднородный
Ситалл	1	$6,5 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$	15	4,0	Неоднородный
ВеО	3	$5,5 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$	12	5	Однородный
Сапфир	1,5	$5,8 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$	14	3	Однородный

В табл. 1 приведены значения начальной концентрации фотоэлектронов, приведенные к удельной энергии, вложенной в разряд, для исследованных материалов подложки в случае однократного режима работы и периодического режима с частотой 2 Гц. Все исследованные материалы, кроме стеклотекстолита, дают близкие значения  $N_e S/w$  (где  $w$  — энергия, вложенная в разряд), падающие при переходе в импульсно-периодический режим приблизительно в 2 раза. Длительность тока несамостоятельного разряда по основанию  $\tau$  также падает при переходе в частотный режим.

При протекании газа через разрядный промежуток длительность объемного тока возвращается к значению, соответствующему однократному режиму; концентрация электронов при этом остается пониженной. Это позволяет сделать вывод, что при переходе в импульсно-периодический режим несколько уменьшается излучательная способность плазменного электрода.

Проведено исследование распределения каналов скользящего разряда по поверхности плазменного электрода. При работе в однократном режиме скользящий разряд на всех исследованных подложках состоял из множества равноотстоящих друг от друга на  $1 \div 2$  мм каналов. На стеклотекстолите при частоте следования импульсов 2 Гц разряд стягивался в полосу шириной 8 мм, при дальнейшем увеличении частоты — в один канал. Разряд на стекле и ситалле сохранял однородность заполнения до  $5 \div 10$  Гц, при больших частотах стягивался в 1 — 3 канала. Однородность разряда на частоте 20 Гц сохранялась только на бериллиевой керамике и ленточном сапфире. Ресурсные испытания показали, что бериллиевая керамика толщиной 3 мм и сапфир толщиной 1,5 мм выдерживают до пробоя  $5 \cdot 10^6$  импульсов при работе с частотой 17 Гц и плотностью энергии  $1 Дж/см^2$ , что почти на порядок больше оптимальной для работы плазменного электрода в  $CO_2$  лазере [6]. Однородность разряда сохраняется до пробоя подложки.

Таким образом, большой ресурс работы и однородность скользящего разряда при эффективной ионизации газовой смеси позволяют считать бериллиевую керамику и ленточный сапфир перспективными для использования их в качестве подложек плазменных электродов  $CO_2$  лазеров и импульсно-периодическом режиме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев С. И. и др. Квантовая электроника, 3, № 8, 1721 (1976).
2. Липатов Н. И. и др. Препринт ФИАН № 45, М., 1979.
3. Карлов Н. В. и др. Препринт ФИАН № 91, М., 1976.
4. Атанасов П. А. и др. Письма в ЖТФ, 11, вып. 13, 786 (1985).
5. Бычков Ю. И. и др. ЖТФ, 53, вып. 8, 1489 (1983).
6. Атанасов П. А. и др. Письма в ЖТФ, 9, № 15, 928 (1983).

Поступила в редакцию 18 марта 1987 г.