

## КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ $\text{CO}_2$ -ЛАЗЕР АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ С НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНЫМ РАЗРЯДОМ, КОНТРОЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

*Е. П. Велихов, Ю. К. Земцов, А. С. Ковалев,  
И. Г. Персианцев, В. Д. Письменный, А. Т. Рахимов*

В работе осуществлена квазистационарная генерация  $\text{CO}_2$ -лазера атмосферного давления с несамостоятельным разрядом, контролируемым электронным пучком с плотностью тока  $\sim 50 \text{ мка/см}^2$ . Приводятся расчетные и экспериментальные значения коэффициента усиления слабого сигнала. Зарегистрирован пиковый характер генерации.

В работе [1] впервые исследовалось стационарное горение несамостоятельных разрядов в молекулярных смесях при давлении газа порядка атмосферного. Было показано, что в устойчивом режиме горения разряда в газовых смесях  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{He}$  можно обеспечить мощность электрического энергозклада на уровне нескольких  $\text{квт/см}^3$ . При этом отношение средней напряженности электрического поля, проникающего в газоразрядную плазму, к давлению газа составляет величину  $E/P \gg 5 \text{ в/см} \cdot \text{тор}$ , что обеспечивает эффективное преобразование электрической энергии в энергию колебаний молекул  $\text{CO}_2$ . Поэтому в работе [1] было сделано предположение о возможности осуществления стационарной генерации на газовых смесях  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{He}$  атмосферного давления.

В [1] стационарный режим горения разряда осуществлялся благодаря быстрой прокачке газа, обеспечивающей теплоотвод из разрядной зоны. В работах [2, 3] было показано, что аналогичный квазистационарный

несамостоятельный разряд можно осуществить и без прокачки газа. При этом время устойчивого горения разряда обусловлено перегревом газа и составляет величину порядка сотен микросекунд.

В данной работе сообщается о получении квазистационарной генерации в газовой смеси  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{He}$  атмосферного давления, в которой с помощью слаботочного электронного пучка поддерживается квазистационарный самостоятельный разряд.

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1.

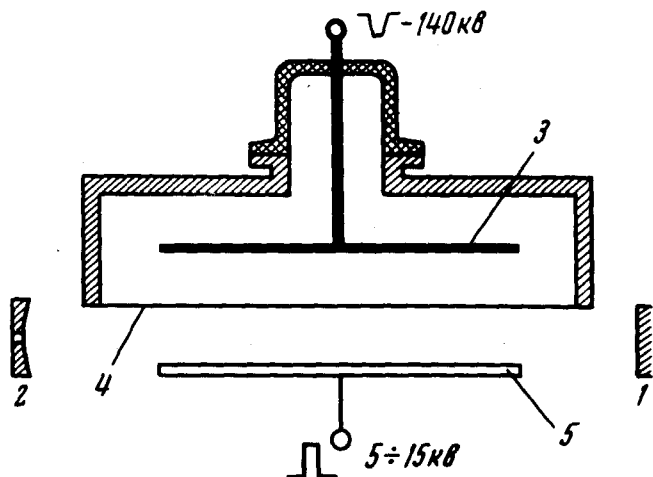


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — плоское зеркало, 2 — сферическое зеркало, 3 — катодный узел электронной пушки, 4 — окна из алюминиевой фольги для вывода пучка, 5 — анод разрядной камеры

Электронный пучок сечением  $1 \times 30 \text{ см}^2$  формируется двух-электродной пушкой, катодом которой служит накаливаемая вольфрамовая нить. На электроды пушки подается импульс напряжения длительностью 1 — 3 мсек и амплитудой 120 — 160 кВ. Электронный пучок выводится из вакуумного объема пушки в разрядную камеру через окно, закрытое алюминиевой фольгой толщиной 15 мкм. Расстояние между анодом и катодом в разрядной камере составляло 2 см. В момент достижения максимального значения тока электронного пучка анод разрядной камеры подключался к конденсатору  $C$  емкостью 37 мкф, заряженному до напряжения 5 — 15 кВ. Возбуждение генерации осуществлялось с помощью резонатора, состоящего из плоского (1) и сферического (2) зеркала с радиусом кривизны 5 м. В сферическом зеркале было сделано отверстие диаметром 2 мм для вывода излучения, регистрировавшегося Ge — Au приемником.

Эксперименты проводились при различных значениях интенсивности электронного пучка, величины приложенного к разрядному промежутку электрического поля и состава газовой смеси  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{He}$ , что позволило исследовать коэффициент усиления и длительность генерации в довольно широкой области значений электрической мощности, вкладываемой в разряд.

Характерные осциллограммы импульса тока в разрядной камере и импульса когерентного излучения приведены на рис. 2. На рис. 3 пунктирной кривой изображены экспериментальные значения коэффициента усиления, полученные с помощью задающего генератора, излучение которого усиливалось при однократном прохождении через возбуждаемую среду.

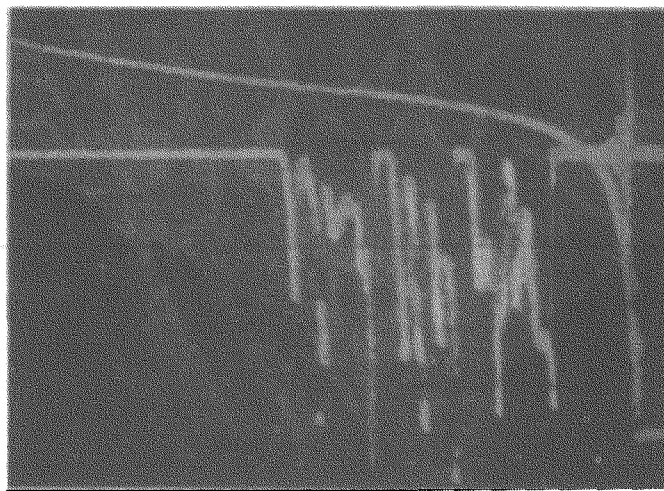


Рис. 2. Осциллограмма тока в разрядной камере (верхний луч) и импульса генерации (нижний луч). Состав смеси  $N_2 : CO_2 : He = 8 : 1 : 1$

Полученные экспериментальные результаты показали, во-первых, что электронные пучки с малыми плотностями токов ( $\sim 50 \text{ мкА/см}^2$ ) обеспечивают такую проводимость плазмы, при которой мощность электрического энергозклада в несамостоятельном разряде составляет величину порядка  $1 \text{ кВт/см}^3$ , что оказывается достаточным для создания оптически активной среды при атмосферном давлении. Заметим, что получаемый при этом коэффициент энергетического усиления, т. е. отношение мощности удельного электрического энергозклада к удельной мощности электронного пучка, составляет величину  $\sim 10^3$ , что, по крайней мере, на порядок превышает значение, достигнутое к настоящему времени с использованием электронных пучков большей мощности.

Кроме того, проведенные эксперименты показали, что длительность устойчивого однородного протекания разряда при значениях отношения  $E/P \sim 5 \text{ в/см} \cdot \text{тор}$ , обычно несколько больше длительности генерации, которая, в первую очередь, определяется мощностью электрической накачки. Так, при изменении удельной мощности электрической накачки от 1 до  $4 \text{ кВт/см}^3$  длительность генерации меняется в пределах сотни микросекунд.

При постоянном же значении мощности электрического энергозклада длительность генерации довольно слабо зависит от состава газовой смеси, хотя и имеет тенденцию к увеличению при уменьшении доли  $CO_2$ .

Однако, следует отметить, что в зависимости от состава газовой смеси одна и та же мощность электрического энергозклада при фиксиро-

ванном значении  $E/P$  обеспечивается различными токами электронной пушки. Это обстоятельство, отмеченное в работе [1], связано с различными механизмами рекомбинации заряженных частиц.

Общий характер полученных экспериментальных результатов и, в первую очередь, уменьшение длительности генерации при увеличении мощности электрического энергоклада, очевидно, связан с разогревом газа в процессе квазистационарного импульса, длительность которого существенно превышает времена всех элементарных процессов в исследуемой газоразрядной плазме. Вместе с тем, простые оценки зависимости длительности генерации от различных плазменных параметров весьма затруднительны ввиду сильной температурной зависимости релаксационных времен лазерных уровней молекул  $\text{CO}_2$  [4]. Поэтому для получения теоретических характеристик оптических свойств исследуемых квазистационарных импульсов мы провели численные расчеты временного хода коэффициента усиления в смесях  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{He}$  атмосферного давления с учетом возрастания температуры газа в процессе импульса.

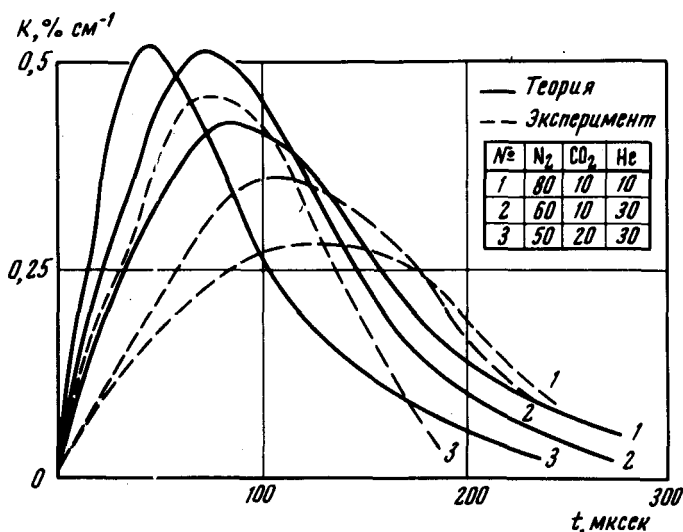


Рис. 3. Коэффициент усиления при мощности накачки  $1 \text{ квт/см}^3$ . В таблице указан процентный состав смесей

При этом, расчет проводился по обычным уравнениям энергобаланса между различными колебательными модами и температурой газа [5] в предположении первоначального преобразования электрической энергии только в энергию колебаний молекул  $\text{N}_2$ .

Некоторые результаты расчетов, соответствующие различным составам газовой смеси и мощности электрической накачки  $- 1 \text{ квт/см}^3$  изображены сплошной кривой на рис. 3, из которого видно, что расчетные значения коэффициента усиления весьма близки к значениям, полученным экспериментально.

Необходимо отметить, что, как видно из рис. 2, излучение носит пиковый характер, сходный с характером излучения твердотельных лазе-

ров. Это может быть связано с тем, что по соотношению характерных параметров релаксации населенностей лазерных уровней, электромагнитного поля и поляризации лазер на  $\text{CO}_2$  при атмосферном давлении близок к твердотельному лазеру.

В заключение авторы выражают благодарность А.М.Прохорову за обсуждение полученных результатов, а также В.М.Полушкину, А.А.Блябину и Б.Н.Машковцеву за помощь в подготовке и проведении экспериментов.

Институт ядерной физики  
Московского  
государственного университета  
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию  
6 февраля 1974 г.

#### Литература

- [ 1 ] Е.П.Велихов, С.А.Голубев, Ю.К.Земцов, А.Ф.Паль, И.Г.Персианцев, В.Д.Письменный, А.Т.Рахимов. ЖЭТФ, **65**, 543, 1973.
  - [ 2 ] Е.А.Muratov, V.D.Pismenny, A.T.Rakhimov, A.A.Semenov, E.P.Velikhov. XI Intern. Conf. on Phenom in Ioniz. Gases, Praha (1973), rep. №1. 2. 1. 4.
  - [ 3 ] В.М.Андрияхин, Е.П.Велихов, А.С.Ковалев, В.Д.Письменный, А.Т.Рахимов, В.Е.Хвостюнов. Письма в ЖЭТФ, **18**, 15, 1973.
  - [ 4 ] R.L.Taylor, S.Bitterman. Rev. Mod. Phys., **41**, 26, 1969.
  - [ 5 ] Б.Ф.Гордиец, А.И.Осипов, Е.В.Ступоченко, Л.А.Шелепин. УФН, **108**, 655, 1972.
-