

*Письма в ЖЭТФ, том 19, вып. 4, стр. 212 – 215*      20 февраля 1974 г.

## **ИМПУЛЬСНЫЙ СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕР С ЭНЕРГИЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ 150 джоулей**

*B.Ю.Баранов, B.М.Борисов, B.Г.Низьев  
B.М.Петряков*

В работе описывается конструкция и параметры импульсного CO<sub>2</sub>-лазера с энергией 150 дж с длительностью импульса  $\sim 100$  нсек. Рассмотрены вопросы устойчивости однородной фазы разряда. Измерены времена развития неустойчивости и формирования дуги в молекулярных газах.

Имеется ряд работ, в которых сообщается о создании электроразрядных лазеров с высокими удельными параметрами излучения [1 – 3]. Данная работа посвящена особенностям излучения в лазере с большой выходной энергией, а также вопросам устойчивости разряда.

На рис. 1 приведена электрическая схема и конструктивные особенности созданного нами импульсного CO<sub>2</sub>-лазера с поперечным электрическим возбуждением. Лазер состоял из 12 секций. Длина активной области 5 м, площадь поперечного сечения  $4 \times 7 \text{ см}^2$ . Параметры схемы отдельной секции  $C_1 = 0,25 \text{ мкф}$ ,  $C_2 = 0,1 \text{ мкф}$ ,  $L \sim 10 \text{ мкин}$ ,  $R = 47 \text{ ом}$ . Коммутация схем осуществлялась одним разрядником, работающим при давлении  $\sim 2 \text{ атм}$ . Энергия излучения измерялась двумя типами калиброванных калориметров.

Длина резонатора составляла 10 м. При использовании в качестве выходного зеркала плоскопараллельной пластины из NaCl ( $\delta = 10 \text{ мм}$ ) энергия выходного излучения увеличивалась примерно в 1,5 раза по сравнению с германиевым зеркалом. Максимальная энергия 150 дж получена на смеси CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = 2:2:3 при давлении 300 мм рт. ст. Предельная величина напряжения на емкости равнялась 30 кв. Наибольшая удельная энергия получена на полуконфокальном резонаторе и составила 18 дж/л, при этом коэффициент полезного действия  $\sim 17\%$ .

На рис. 2, а представлена форма импульса излучения, измеренная фотосопротивлением – германий, легированный цинком, и приемником излучения типа "photon drag", изготовленном на кристалле германия, легированного золотом. Длительность импульса составила на полувысоте  $\sim 100$  нсек (пиковая мощность  $> 10^9$  вт). При постановке вместо выходного зеркала пластиинки из NaCl под углом Брюстера, наблюдался импульс излучения подобной формы с энергией до 30 дж, что связано, как мы полагаем, с возникновением генерации на диффузном рассеянии [4].

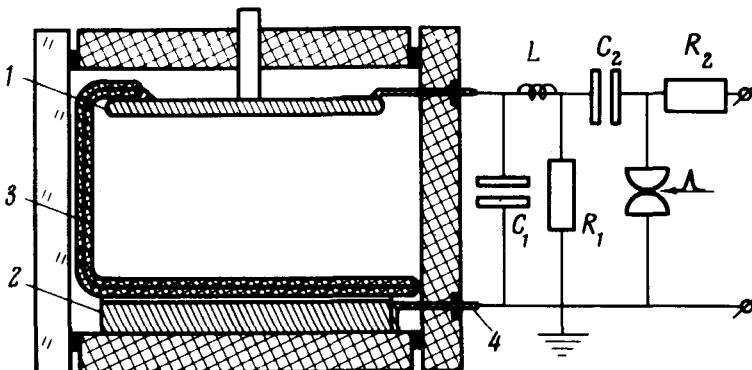


Рис. 1. Электрическая схема и конструктивные элементы лазерной камеры: 1 – анод, 2 – катод-гребенка, 3 – вспомогательный электрод, 4 – малоиндуктивный ввод

На отдельном блоке исследовался импульсный разряд в газах, компонентах лазерной смеси и самой смеси при давлениях 0,4 – 1 атм. При выбранных параметрах схемы пробой основного промежутка наступил при значительной концентрации электронов на катоде. Необходимая плотность электронов и толщина слоя их локализации, обеспечивающие однородный пробой промежутка при многоэлектронном инициировании могут быть оценены из представлений о начальных лавинах и необходимости их перекрытия до достижения критической концентрации перехода лавины в стримерах [5].

Характерные осциллограммы тока и напряжения для однородного разряда представлены на рис. 2, б. При увеличении зарядного напряжения емкости  $C_1$  наблюдается образование дуги с временной задержкой после однородного пробоя рис. 2, а. За время образования дуги  $\tau_n$  после однородного пробоя мы приняли время от максимума первого пика до начала колебательного процесса.

Время передачи энергии из колебательных степеней свободы молекул азота в поступательные через тушащие соударения на несколько порядков больше наблюдаемых в наших экспериментах времен развития неустойчивости ( $10^{-6}$  –  $10^{-7}$  сек). Это исключает возможность теплового механизма контракции в азоте.

В работах [5, 6] рассматривается возможный механизм контракции в молекулярном газе. При возникновении положительной флуктуации электронной концентрации  $n_e$ , заселенность колебательных уровней в месте флуктуации увеличивается, растет электронная температура, что приводит к дальнейшему росту  $n_e$ . Развивается неустойчивость. Инкремент развития имеет вид [5]  $\gamma = 1/r_H = \text{const} \cdot n_e$ , где  $\text{const} \approx 10^{-8} \text{ см}^3/\text{сек}$ .

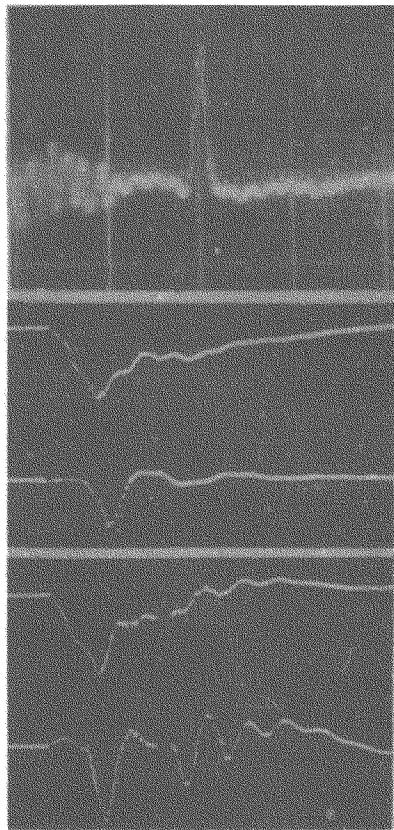


Рис. 2. Характерные осциллограммы: *a* – импульса излучения, *b* – напряжения и тока однородного разряда, *c* – напряжения и тока разряда с последующим образованием дуги

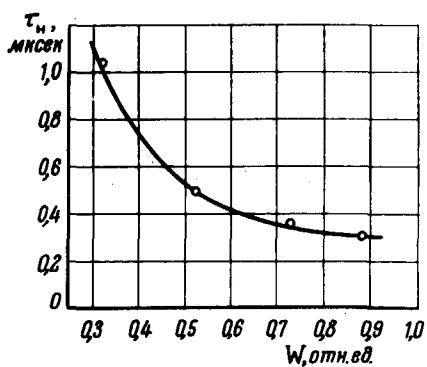


Рис. 3. Зависимость инкремента разви-  
тия неустойчивости от  $W$  в азоте

Поскольку время вклада энергии меньше времени рекомбинации, плотность электронов  $n_e = W/I^*$ , где  $I^*$  – цена ионизации,  $W = \int_0^\infty j E dt$  – плотность вложений энергии;  $\lambda = 10^{-2} - 10^{-3}$  [8] – доля энергии, идущая на ионизацию. На рис. 3 представлен график зависимости  $y$  от  $W = \int_0^\infty j E dt$ .  $t_0$  – время основного энерговклада. В углекислом газе при тех же  $W$  времена формирования дуги примерно в 1,5 раза больше. Качественные отличия осцилограмм для гелия возможно связаны с другим механизмом контракции разряда, так, например, многоступенчатая ионизация [6] или тепловая неустойчивость. При этом напряженность поля и, соответственно, полная энергия,ложенная в разряд, соответствующая переходу из однородной фазы в дуговую для гелия гораздо ниже, чем для азота и углекислого газа. Вероятно роль атомов инертного газа ограничивается расселением нижнего лазерного уровня, в связи с чем оказалось целесообразно использовать лазерную смесь с относительно низким парциальным давлением гелия ( $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 2:2:3$ ).

Авторы выражают благодарность А.А.Веденову и А.П.Напартовичу за интерес к работе и постоянные обсуждения.

Поступила в редакцию  
15 января 1974 г.

## Литература

- [1] R.Dumanchin, I.C.Farcy, International Quantum Electroniks Conference, Kyoto, 1970.
- [2] P.A.Belanger, R.Tremblay et al. Canadian J. of Physics, 50, 2753, 1972
- [3] H.J.Seguin, J.Tulip. Applied Phys. Lett., 21, 9, 414, 1972.
- [4] Р.В.Амбарцумян, Н.Г.Басов, П.Г.Крюков, В.С.Летохов. Письма в ЖЭТФ, 3, 261, 1966.
- [5] В.Ю.Баранов, В.М.Борисов и др. Получение распределенного электрического разряда и некоторые особенности лазерного излучения. Препринт ИАЗ 2248, 1972.
- [6] С.В.Пашкин. ТВТ, 10, 3, 1972.
- [7] К.Н.Ульянов, П.П.Менахин. ЖТФ, 41, 12, 2545, 1971.
- [8] A.G.Engelhardt et al. Phys. Rev., 135A, 1566, 1964.