

ИНВЕРСИЯ НАСЕЛЕННОСТЕЙ В АКТИВНОЙ СРЕДЕ ЭЛЕКТРОИОНИЗАЦИОННОГО CO_2 -ЛАЗЕРА ПРИ ДАВЛЕНИИ РАБОЧЕЙ СМЕСИ ДО 20 атм

Н. Г. Басов, В. А. Данилычев, О. М. Керимов
А. С. Подсосонный

В настоящей работе, посвященной исследованию временной зависимости инверсной населенности в активной среде электроионизационного лазера, экспериментально показано, что повышение давления рабочей смеси до 20 атм не приводит к каким-либо качественным изменениям процессов возбуждения и релаксации лазерных уровней. Скорости всех процессов возбуждения и релаксации увеличиваются с давлением без изменений соотношений между ними, известных для ТЕА-лазеров и лазеров низкого давления [1, 2].

Методика эксперимента заключалась в измерении величины и временной зависимости коэффициента усиления активной среды электроионизационного CO_2 -лазера [3, 4] на сжатом углекислом газе с помощью пробного ТЕА лазера ($\lambda = 10,59 \text{ мк}$). Приемником излучения служило фотосопrotivление $\text{Ge} : \text{Au}$, охлаждаемое жидким азотом. Разрешение регистрирующей аппаратуры составляло $\sim 2 \cdot 10^{-7} \text{ сек}$.

Измерения распределения усиления в поперечном сечении ($1,8 \times 2 \text{ см}^2$) активной среды показали, что усиление почти однородно по всему сечению. Коэффициент усиления уменьшается в направлении от анода к катоду на $\sim 25\%$, а в перпендикулярном направлении — от центра к краю активной области на $\sim 20\%$. На рис. 1 и 2 показаны зависимости среднего по сечению активной области коэффициента усиления от энергии накачки (W_H) и время существования инверсии ($\tau_{\Delta N}$) от давления рабочей смеси. Величины $\tau_{\Delta N}$ измерялись при небольших значениях энергии накачки, при которых нагрев рабочей смеси незначителен ($\Delta T < 30^\circ$).

Линейная зависимость коэффициента усиления от W_H/P показывает, что величина инверсии населенностей определяется как и в газоразрядных CO_2 -лазерах низкого давления [1] величиной энергии накачки. Экспериментальные значения инверсии населенностей с хорошей точностью описываются формулой (26) [3]. Для смеси: 1 часть CO_2 , 2 части — N_2 при $P = 1,2 \text{ атм}$ и энергии накачки $W_H = 0,17 \text{ дж/см}^3$ экспериментальное значение инверсии населенностей $\Delta N_{\text{эксп}} = 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

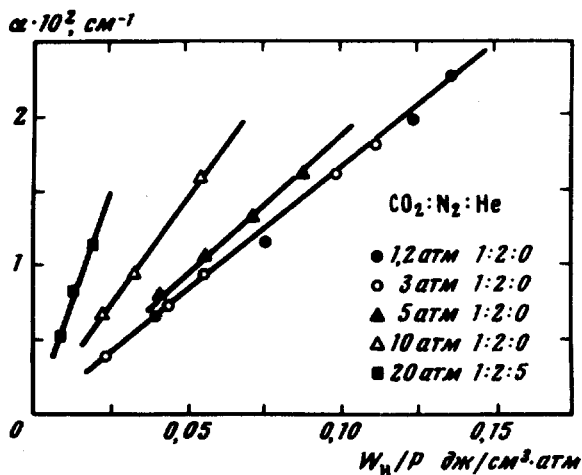


Рис. 1. Зависимость коэффициента усиления активной среды электроионизационного CO_2 -лазера от энергии накачки

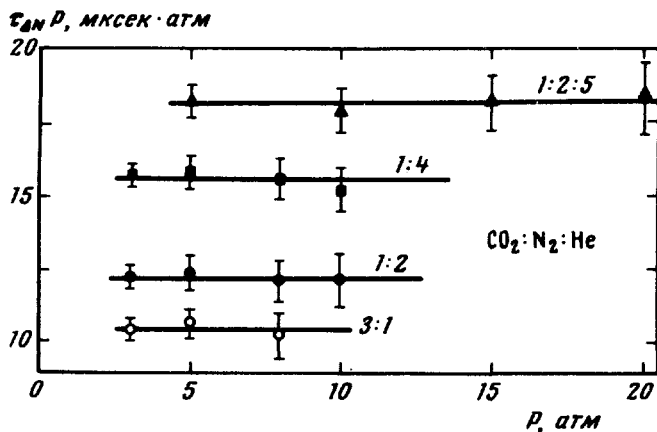


Рис. 2. Зависимость времени существования инверсии в активной среде электроионизационного CO_2 лазера от давления рабочей смеси ($\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$)

Вычисления по формуле (26) [3] дают для величины инверсии населенностей, определяемой заселенностью верхнего лазерного уровня близкое значение $\Delta N_{\text{теор}} = N_{00\circ 01} - N_{10\circ 00} \approx N_{00\circ 01} = 1,3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Таким образом, в активной среде электроионизационного CO_2 -лазера заселение электронным ударом нижнего лазерного уровня незначительно ($N_{10\circ 00} \ll N_{00\circ 01}$) и измеренное время существования инверсии определяется временем релаксации верхнего лазерного уровня. Время достижения максимальной инверсии в смесях $\text{CO}_2:\text{N}_2$, полученное в настоящих экспериментах, составляет $\tau_{\text{CO}_2-\text{N}_2} = 0,4 \pm 0,1 \text{ мксек} \cdot \text{атм}$ и

определяется скоростью передачи возбуждения от N_2 к CO_2 . Вычисленное из этих экспериментальных данных значение сечения передачи возбуждения от N_2 к CO_2 $\sigma_{N_2-CO_2} = (1,6 \pm 0,4) \times 10^{-18} \text{ см}^2$, что практически совпадает с сечением, полученным в других работах при низких давлениях [5, 6]. Результаты измерений позволяют сделать вывод о том, что повышение давления рабочей смеси до десятков атмосфер не приводит к качественным изменениям процессов возбуждения и релаксации лазерных уровней.

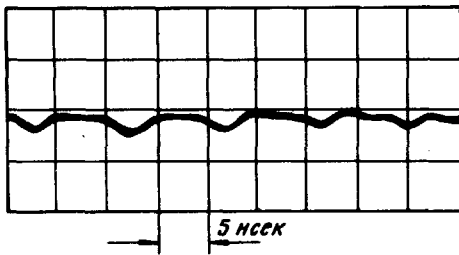


Рис. 3. Оциллограмма пиков излучения электроионизационного CO_2 -лазера

Из рис. 1 видно, что при увеличении давления рабочей смеси до 3 атм коэффициент усиления остается постоянным при фиксированном значении W_H/P , при дальнейшем увеличении давления — возрастает. Для $P \lesssim 3 \text{ атм}$ увеличение инверсии населенностей компенсируется возрастанием прямо пропорционально давлению ширины линии колебательно-вращательного перехода. При давлениях больших 3 атм становится существенным вклад в коэффициент усиления колебательно-вращательной линии крыльев соседних линий и коэффициент усиления для тех же значений W_H/P возрастает. Расчет зависимости коэффициента усиления от частоты, выполненный в работе [7] хорошо согласуется с результатами измерений, выполненных в настоящей работе. По данным рис. 1 можно вычислить ширину линий колебательно-вращательных переходов в предположении лорентцевской формы линии, для линии $P(20) \Delta\nu_L = 0,21 \pm 0,04 \text{ см}^{-1}/\text{атм}$ (смесь: 1 часть CO_2 , 2 части N_2). Таким образом, при давлениях больших 10 атм, вследствие перекрытия большого числа колебательно-вращательных линий контур усиления становится сплошным, и ширина его возрастает до 100 см^{-1} ($\lambda = 10,6 \text{ мк Р-ветвь}$). При давлении в 20 атм, по-видимому, возможно получение мощных импульсов излучения длительностью $\sim 10^{-11} \text{ сек}$ с высоким КПД ($\sim 10\%$), близким по своему значению к КПД в режиме длинных импульсов, и длительностью $\sim 10^{-12} \text{ сек}$ при уменьшении КПД на порядок. Уменьшение КПД при длительности импульсов короче 10^{-11} сек связано с недостаточной скоростью вращательной релаксации [8]. Возможность получения с высокой эффективностью коротких импульсов излучения электроионизационного CO_2 -лазера подтверждается экспериментальными и теоретическими исследованиями, проведенными в [9]. В работе [9] были получены импульсы длительностью 10^{-9} сек с энергии в импульсе, составляющей 70% от энергии, запасенной на верхнем лазерном уровне. На настоящей установке были проведены эксперименты по получению коротких импульсов в схеме аналогичной [10]. При всех исследуемых давлениях и составах смеси $CO_2 : N_2$: Не была обнаружена самосинхрони-

зация мод. На рис. 3 приведена фотография пиков излучения электро-ионизационного CO_2 -лазера при давлении смеси: 1 часть CO_2 , 2 части N_2 , 54 части He, $P = 10$ атм. Ширина пиков (~ 3 нсек) определяется разрешением регистрирующей аппаратуры и приемника ($\text{Ge}:\text{Sb}:\text{Zn}$, $T = 77^\circ\text{K}$). Авторы благодарят Н.А.Пенина и В.А.Курбатова за предоставление приемника с разрешением $3 \cdot 10^{-9}$ сек.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 декабря 1972 г.

Литература

- [1] Н.Н.Соболев, В.В.Соколов. УФН, **91**, 425, 1967.
- [2] A.M. Robinson. Can J. Phys., **48**, 1966, 1970; D.C. Johnson. IEEE J.Q.E, QE-7, 185, 1971; A.K. Laflamme. Rev. Sci. Instr., **41**, 1978, 1970.
- [3] Н.Г.Басов, Э.М.Беленов, В.А.Данилычев, О.М.Керимов, И.Б.Ковш, А.С.Подсосонный, А.Ф.Сучков. Препринт ФИАН СССР №56, 1972.
- [4] Н.Г.Басов, Э.М.Беленов, В.А.Данилычев, О.М.Керимов, И.Б.Ковш, А.С.Подсосонный, А.Ф.Сучков. ЖЭТФ, **64**, 121, 1973.
- [5] A.A.Offenberger, D.J.Rose. J. Appl. Phys., **41**, 3908, 1970.
- [6] R.L.Taylor, M. Camoc, R.M. Feinberg. Proc. Int. Symp. Combustion Pittsburg 1 th, 49, 1966.
- [7] Н.Г.Басов, Э.М.Беленов, В.А.Данилычев, О.М.Керимов, А.С.Подсосонный, А.Ф.Сучков. Препринт ФИАН СССР №58, 1972.
- [8.] Я.Б.Зельдович, Ю.И.Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М., Физматгиз, 1966.
- [9] K.Boyer. Los Alamos Scientific Laboratory Presentation at Japan-U.S.Seminar on Laser Interaction with Matter in Kyoto, Japan September 24 thru September 29, 1972.
- [10] A.F.Gibson, M.F.Kimitt, C.A.Posito. Appl. Phys. Lett., **15**, 546, 1971.