

СО₂-ЛАЗЕР НА 10,6 мкм С ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ НА 9,6 мкм

В.Н.Балыкин, А.Л.Голлер, Ю.Р.Коломыйский,

В.С.Летохов, О.А.Туманов.

Впервые наблюдалась генерация на молекуле СО₂ в области 10,6 мкм при оптической накачке составной колебательной полосы 02°0 – 00°1 импульсным СО₂-лазером в диапазоне 9,6 мкм.

В настоящей работе сообщается о первом успешном экспериментальном осуществлении генерации на молекуле СО₂ в области 10,6 мкм при накачке импульсом излучения СО₂:N₂:He лазера на $\lambda = 9,6 \text{ мкм}$ с квантовым КПД 90%. Получено усиление и генерация в чистом СО₂ газе вплоть до атмосферного давления. Обнаружение генерации на молекуле СО₂ при оптической накачке представляет большой интерес для создания простых и эффективных отпаянных СО₂-лазеров с перестраиваемой частотой.

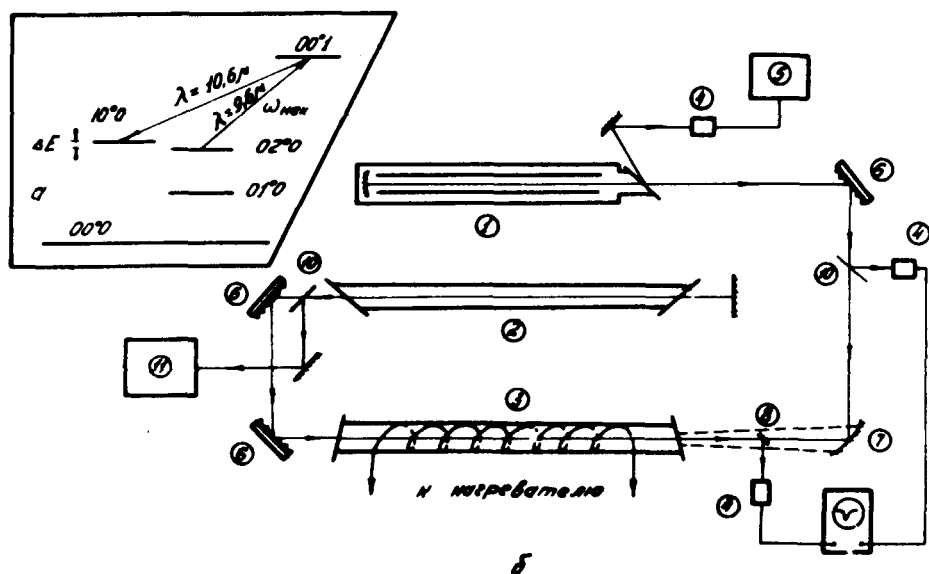


Рис. 1. а – Схема нижних энергетических уровней молекулы СО₂; б – блок-схема установки: 1 – импульсный СО₂-лазер, 2 – непрерывный СО₂-лазер, 3 – кювета, 4 – приемники излучения, 5 – нановольтметр Ф118, 6 – дифракционные решетки, 7 – фокусирующее зеркало, 8 – зеркало малой апертуры, 9 – осциллограф, 10 – пластины из NaCl. 11 – монохроматор ИКМ-1

Идея СО₂-лазера с оптической накачкой на 9,6 мкм основана на особенности структуры двух составных колебательных полос молекулы СО₂ (рис. 1), имеющих общий верхний уровень.

Из-за близкого совпадения колебательных уровней 10°0 и 02°0 (ферми-резонанс) и малого энергетического дефекта в процессе колеба-

тельного обмена между уровнями $00^{\circ}0$, $01^{\circ}0$, $10^{\circ}0$ время установления равновесного соотношения населенностей этих уровней в чистом CO_2 порядка $\tau_{\text{рел}} = 10^{-9} \text{ сек} \cdot \text{атм}^{-1}$ [1, 2]. Таким образом, под действием импульсной резонансной оптической накачки в полосе $02^{\circ}0 - 00^{\circ}1$ с длительностью импульса $\tau_{\text{имп}} \gg \tau_{\text{рел}}$ в поглощающем CO_2 -газе будет происходить выравнивание населенностей уровней $02^{\circ}0$ и $00^{\circ}1$ в то время, как быстрые релаксационные процессы будут поддерживать равновесную заселенность уровней $02^{\circ}0$ и $10^{\circ}0$. Тогда при достаточной степени насыщения перехода $02^{\circ}0 - 00^{\circ}1$ на переходе $00^{\circ}1 - 10^{\circ}0$ возникает инверсия населенностей с максимальным коэффициентом усиления $\kappa_{\text{усил}} = \kappa_{\text{погл}} [\exp\{\Delta E/kT\} - 1]$, где $\kappa_{\text{погл}}$ — коэффициент поглощения слабого сигнала на переходе $10^{\circ}0 - 00^{\circ}1$; ΔE — разность энергий между уровнями $10^{\circ}0$ и $02^{\circ}0$. При повышении температуры поглощающего CO_2 -газа $\kappa_{\text{погл}}$ и $\kappa_{\text{усил}}$ растут. Однако, с ростом температуры населенности уровней $10^{\circ}0$ и $02^{\circ}0$ выравниваются ($\exp\{\Delta E/kT\} - 1 \rightarrow 0$), кроме того, становятся значительными падение мощности излучения накачки по длине кюветы с поглощающим CO_2 -газом и уменьшение времени колебательной релаксации уровня $00^{\circ}1$, которое при $T = 296^{\circ}\text{K}$ составляет $\sim 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ сек} \cdot \text{атм}^{-1}$ [3]. Эти процессы ограничивают рост коэффициента усиления с температурой.

Блок-схема экспериментальной установки по измерению коэффициента усиления, возникающего при импульсной накачке на переходе $10^{\circ}0 - 00^{\circ}1$ приведена на рис. 1. В кювету (3), температура которой могла изменяться в диапазоне $23 \div 240^{\circ}\text{C}$ и поддерживаться с точностью $\pm 1^{\circ}\text{C}$, напускался предварительно очищенный CO_2 -газ при различных давлениях $50 \div 760 \text{ тор}$. В эту же кювету направлялось излучение двух CO_2 -лазеров с селекцией колебательно-вращательных переходов. С одной стороны подавалось излучение накачки с энергией в импульсе 10 Дж и длительностью 3 мксек , длина волны излучения накачки $9,6 \text{ мкм}$ — P-ветвь перехода $00^{\circ}1 - 02^{\circ}0$. С другой стороны в ту же кювету направлялось излучение зондирующего непрерывного лазера на длине волны $10,6 \text{ мкм}$ — линия P(20) перехода $00^{\circ}1 - 10^{\circ}0$. Чтобы избежать влияния импульсного CO_2 -лазера на работу непрерывного зондирующего CO_2 -лазера, эти оба лазера были оптически развязаны с помощью дифракционных решеток (6) и системы диафрагм.

На экране двухлучевого осциллографа регистрировался импульс генерации CO_2 -лазера накачки, излучение которого насыщало переход $02^{\circ}0 - 10^{\circ}0$ молекулы CO_2 , и сигнал изменения поглощения на линии P(20) перехода ($10^{\circ}0 - 00^{\circ}1$).

На рис. 2 приведены зависимости коэффициентов усиления на линии P(20) перехода $10^{\circ}0 - 00^{\circ}1$ от плотности энергии накачки (дж/см^2) для различных значений давления и температуры. Величина усиления при комнатной температуре достигала $4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$. Максимальная величина $\kappa_{\text{усил}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ при давлении 100 тор и температуре 130°C , что соответствует усилению на проход 23% в кювете длиной 100 см .

Для наблюдения генерации были сделаны следующие изменения в экспериментальной установке. Зеркало (8) вместе с глухим зеркалом $R = 2 \text{ м}$ образовывало полуконфокальный резонатор. Часть излучения из этого резонатора выводилось за счет отражения от окна Брюстера

кюветы, попадаю на дифракционную решетку, проходило через систему дисперсионных фильтров, отрезающих излучение 9,6 мкм. Таким образом, удавалось практически полностью устранить излучение импульсного лазера накачки. Сигнал генерации наблюдался одновременно с импульсом накачки. Осциллограмма импульса накачки на длине волны 10,6 мкм и импульса генерации на длине волны 10,6 мкм приведена на рис. 3. Генерация осуществлялась в широком диапазоне давлений и температур CO_2 молекулярного газа (80 : 600 тор, 40 : 240°C). Измерена величина $E_{\text{порог}}$ для плотности энергии накачки.

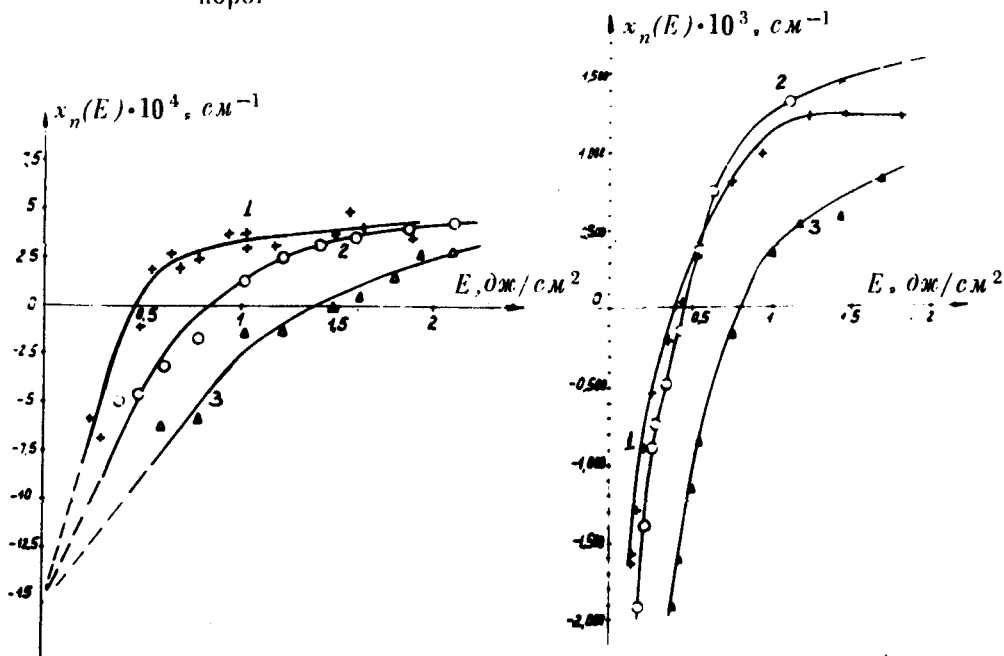
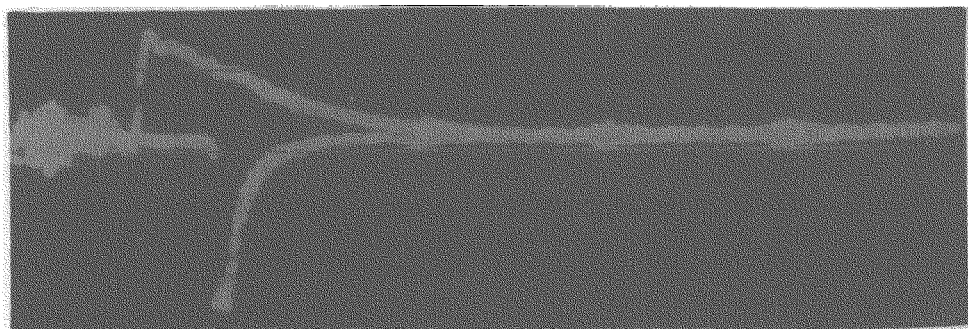


Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления от плотности энергии накачки:
 а - $t = 23^\circ\text{C}$, 1 - $P_1 = 330 \text{ тор}$, 2 - $P_2 = 500 \text{ тор}$, 3 - $P_3 = 1 \text{ атм}$. б - $P = 330 \text{ тор}$,
 1 - $t_1 = 320^\circ\text{C}$, 2 - $t_2 = 343^\circ\text{C}$, 3 - $t_3 = 400^\circ\text{C}$



2,5 мксек

Рис. 3. Осциллограмма импульса накачки и импульса генерации

Осуществленный CO_2 -лазер с оптической накачкой может быть применен для создания отпаянного CO_2 -лазера на смеси изотопных моле-

кул $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$, $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$, $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ и др., что позволит получить перекрытие линий и плавную перестройку частоты при атмосферном давлении [4].

В заключение авторы выражают благодарность М.А.Москалевой и Е.Б.Перминову за предоставление системы термостабилизации кюветы.

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 марта 1974 г.

Литература

- [1] R.L.Abrams, P.K.Cheo. Appl. Phys. Lett., **14**, 47, 1969.
 - [2] C.K.Rhodes, M.I.Kelley, A.Javan. J. Chem. Phys., **48**, 5730, 1968.
 - [3] R.L.Abrams, R.K.Cheo. Appl. Phys. Lett., **15**, 177, 1969.
 - [4] А.В.Проворов, В.И.Чеботаев. ДАН СССР, **208**, 2, 1973.
-