

СЕКЦИЯ «ОПТИКА И АКУСТИКА КРИСТАЛЛОВ»

Председатели – Сердюков А.Н., Шепелевич В.В.

К.И. Аршинов¹, В.В. Невдах², Н.Н. Лаврентьева³, А.С. Дударёнок³

¹Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск,
Беларусь

³Институт оптики атмосферы им.В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

ВЛИЯНИЕ БУФЕРНЫХ ГАЗОВ НА ШИРИНУ ЛАЗЕРНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕХОДА $10^0 0-00^0 1$ МОЛЕКУЛЫ CO_2

Использование оптических методов диагностики атмосферы и нагретых газообразных продуктов сгорания топлив с целью определения концентрации молекул CO_2 и их температуры, расчет характеристик мощных технологических CO_2 -лазеров требует знания значений спектроскопических параметров для соответствующих линий молекулы CO_2 и их температурных зависимостей [1]. В работах [2–4] представлены полученные многочисленные экспериментальные и теоретические данные по столкновительному уширению спектральных линий различных молекул и, в то же время, отмечается, что ряд задач, связанных с определением спектроскопических параметров для линий различных переходов молекулы CO_2 , все ещё остаются нерешенными [4].

Для расчета столкновительных ширин линий поглощения молекулы CO_2 $\Delta\nu_L$ в газовой смеси $\text{CO}_2:\text{M}$ при давлении P_Σ и температуре T обычно используют формулу

$$\Delta\nu_L = \gamma_{\text{CO}_2-\text{CO}_2} (\xi_{\text{CO}_2} + b_M \xi_M) P_\Sigma \sqrt{300/T}, \quad (1)$$

где $\gamma_{\text{CO}_2-\text{CO}_2}$ – столкновительная ширина линии за счет столкновений молекул CO_2 между собой при давлении 1 Тор и температуре 300 К, или коэффициент столкновительного самоуширения для молекулы CO_2 ; $b_M = \gamma_{\text{CO}_2-\text{M}} / \gamma_{\text{CO}_2-\text{CO}_2}$ – относительный коэффициент ударного уширения линии поглощения молекул CO_2 компонентой газовой смеси M ; $\gamma_{\text{CO}_2-\text{M}}$ – ударная ширина линии поглощения молекулы CO_2 за счет столкновений молекул CO_2 с молекулами или атомами M ; ξ_{CO_2} , ξ_M – доли CO_2 и M в смеси. Хотя автор работы [5], предложивший формулу (1), проводил измерения ширины линии P_{20} перехода $10^0 0-00^0 1$ в

чистом CO_2 и в бинарных смесях $\text{CO}_2:\text{N}_2=1:1$ и $\text{CO}_2:\text{He}=1:1$ методом оптоакустической спектроскопии только при одной температуре $T = 298 \text{ K}$, принято считать, что полученные относительные коэффициенты ударного уширения $b_{\text{N}_2} = 0,73$ и $b_{\text{He}} = 0,64$ неизменны при любой температуре. Отсутствие температурных зависимостей у коэффициентов b_{N_2} и b_{He} противоречит существующим представлениям о механизмах ударного уширения спектральных линий (см., например, [2]).

Цель настоящей работы – определить относительные коэффициенты столкновительного уширения линий поглощения перехода 10^00-00^01 молекулы CO_2 буферными газами He, N_2 и N_2O в диапазоне температур 300–700 K.

Методика основана на измерениях с помощью стабилизированного по частоте перестраиваемого CO_2 -лазера коэффициентов поглощения (КП) на центральных частотах линий R -ветви перехода 10^00-00^01 в чистом CO_2 и в бинарных смесях $\text{CO}_2:\text{He}$, $\text{CO}_2:\text{N}_2$ и $\text{CO}_2:\text{N}_2\text{O}$ с соотношениями компонент $P_{\text{CO}_2} : P_M = 1 : Y$ при давлениях $P_C = P_\Sigma = 100 \text{ Тор}$, обеспечивающих лоренцевские контуры линий поглощения. Значения относительных коэффициентов столкновительного уширения линий буферными газами b_M определялись из выражения

$$\alpha_{\text{CO}_2} / \alpha_{\text{CO}_2-M} = 1 + Yb_M. \quad (2)$$

Выбор линий R -ветви обусловлен тем, что при рассматриваемых в работе давлениях и температурах можно пренебречь вкладами в КП на их центральных частотах линий поглощения других, вышележащих переходов молекулы CO_2 .

Экспериментальная установка для измерения КП в газах была организована по двухлучевой компенсационной схеме на линиях генерации стабилизированного по частоте CO_2 -лазера, перестраиваемого по линиям основных лазерных переходов $00^01- [10^00, 02^00]_{\text{л.п.}}$. Долговременная нестабильность частоты генерации лазера не превышала величины $\pm 0,5 \text{ МГц}$ относительно центральной частоты линии генерации, резонансной центральной частоте линии поглощения, позволяя, при реализуемых экспериментально ширинах линий поглощения, с высокой точностью считать, что измерения КП проводились на центральных частотах линий поглощения. Погрешность определения давления газа составляла $\Delta p = \pm 0,5 \text{ Тор}$. Температура газа в измерительной кювете поддерживалась с точностью $\Delta T = \pm 0,4^\circ$ (диапазон $293 \text{ K} \leq T \leq 420 \text{ K}$) и $\Delta T = \pm 0,9^\circ$ (диапазон $470 \text{ K} \leq T \leq 700 \text{ K}$).

Характер температурных изменений коэффициентов b_{N_2} и b_{He} для линии поглощения $10R22$ иллюстрирует рисунок 1. Видно, что до

температуры ~ 550 К коэффициент b_{N_2} практически не меняется, что согласуется с результатами работы [6], а дальше наблюдается его явное увеличение. Для коэффициента b_{He} небольшая зависимость наблюдается и в интервале температур 300–550 К. Таким образом, измерения одно-значно показывают, что коэффициенты b_{N_2} и b_{He} являются функциями температуры, причем различными. Это означает, что широко используемая формула (1) при температурах $T > 550$ К оказывается некорректной. Для мощных технологических электроразрядных CO_2 -лазеров, работающих в режиме быстрой прокачки, оптимальными оказываются активные среды, в которых содержание молекул CO_2 намного меньше, чем молекул N_2 и атомов He . Состав таких смесей $CO_2:N_2:He \approx 1:(5 \div 22):(5 \div 22)$. При получении максимальной мощности температура активной среды в таких лазерах достигает величин $T = 600-700$ К. Простые оценки показывают, что величины столкновительных ширин линий усиления таких CO_2 -лазеров, полученные по формуле (1) и с использованием результатов настоящей работы, могут различаться больше чем на 100 %.

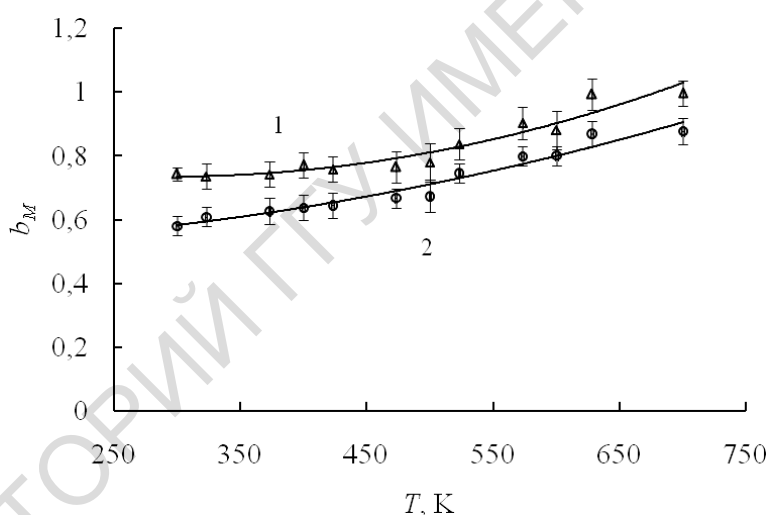


Рисунок 1 – Зависимости относительных коэффициентов столкновительного уширения линии поглощения $10R22$ молекулы CO_2 молекулами N_2 (1) и атомами He (2) от температуры

На рисунке 2 представлены температурные коэффициенты b_{N_2O} для линий $R10$, $R22$ и $R32$ в диапазоне температур 300–700 К. Видно, что температурные зависимости относительных коэффициентов столкновительного уширения данных линий буферным газом N_2O $b_{N_2O}(J, T)$ с точностью до погрешности измерения можно считать одинаковыми и практически линейными. Можно предположить, что в исследованном диапазоне изменения вращательного квантового числа аналогичные

температурные зависимости будут и для остальных линий, и они могут быть аппроксимированы следующей зависимостью от температуры

$$b_{N_2O}(J, T) = b_{N_2O}(J, T = 300K) + 7,25 * 10^{-4}(T - 300). \quad (3)$$

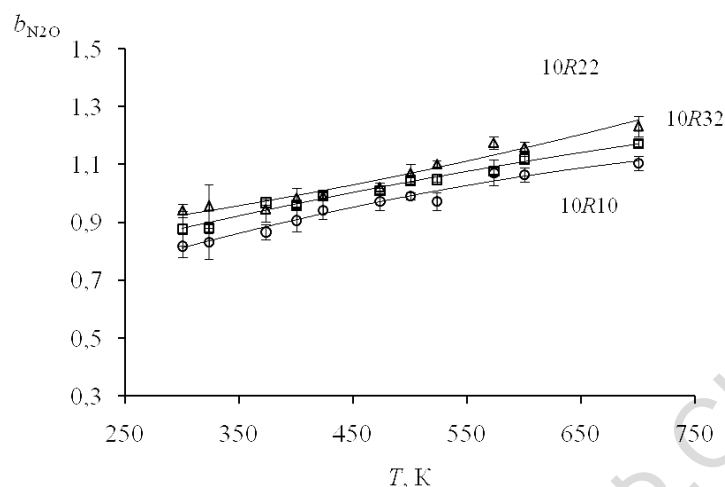


Рисунок 2 – Температурные зависимости относительных коэффициентов столкновительного уширения линий поглощения 10R10 (○), 10R22(Δ) и 10R32(□) молекулы CO₂ молекулами N₂O

Определенные с помощью выражения (2) по измеренным КП при температуре $T = (300 \pm 0,3)$ К и давлении 100 Тор значения b_{N_2O} для линий с $J = 8, 10, 16, 22, 26-38$ представлены на рисунке 3. Из этого рисунка видно, что в исследованном диапазоне изменения вращательного квантового числа $J = 8 - 38$ величина коэффициента b_{N_2O} меняется слабо.

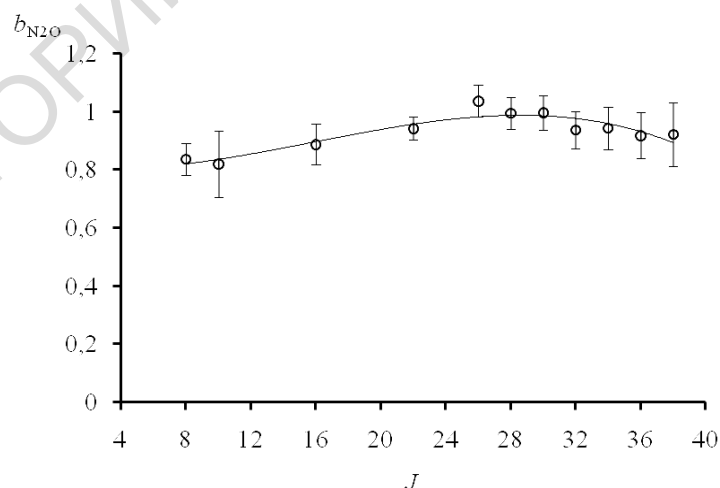


Рисунок 3 – Зависимость относительного коэффициента столкновительного уширения b_{N_2O} от вращательного квантового числа J для линий R-ветви перехода $10^0-00^0_1$ молекулы CO₂ при температуре $T = (300 \pm 0,3)$ К

Также были проведены расчеты уширения линий CO_2 давлением N_2O с использованием полуэмпирической методики, включающей различные поправки, связанные с отклонением от приближения Андерсона-Тсао-Карнатта (АТС), и описанной в работе [7]. На рисунке 4 представлены рассчитанные ширины линий $\gamma_{\text{CO}_2-\text{N}_2\text{O}}$ в диапазоне изменения вращательного квантового числа J от 0 до 80 при среднем квадратичном отклонении $0,0045 \text{ см}^{-1}/\text{атм}$. Видно хорошее согласие рассчитанных и измеренных данных.

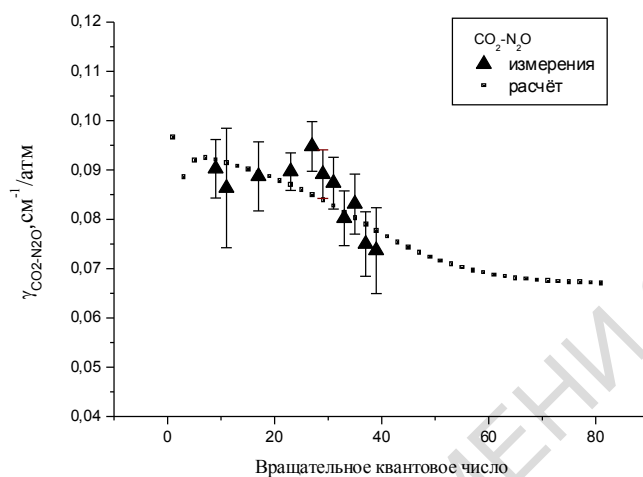


Рисунок 4 – Вычисленные и измеренные коэффициенты уширения линий CO_2 давлением N_2O

Таким образом, для линий поглощения R -ветви перехода 10^0-00^0 молекулы CO_2 определены относительные коэффициенты ударного уширения b_{He} , b_{N_2} и $b_{\text{N}_2\text{O}}$ буферными газами N_2 , He и N_2O и их температурные зависимости. Установлено, что коэффициенты b_{He} , b_{N_2} и $b_{\text{N}_2\text{O}}$ являются функциями температуры газа.

Литература

1. Диагностика неравновесных состояний в молекулярных лазерах / О.В. Ачасов, Н.Н. Кудрявцев, С.С. Новиков, Р.И. Солоухин, Н.А. Фомин. – Минск: Наука и техника, 1985. – 208 с.
2. Стариков, В.И. Столкновительное уширение спектральных линий поглощения молекул атмосферных газов / В.И. Стариков, Н.Н. Лаврентьева; под общей редакцией К.М. Фирсова. – Томск: Издательство Института оптики атмосферы СО РАН, 2006. – 308 с.
3. L.S. Rothman, D. Jacquemart, A. Barbe, et al // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. – 2005. – Vol. 96. – P. 139–204.

4. Аршинов, К.И. Квантовая электроника / К.И. Аршинов, М.К. Аршинов, В.В. Невдах. – Москва: Мир, 2010. – Т. 40. – С. 629–633.

5. Abrams, R.L. / R.L. Abrams // Appl. Phys. Lett. – 1974. – Vol. 25. – P. 609–611.

6. Robinson, A.M. / A.M. Robinson, J.S. Weiss // Can. J. Phys. – 1982. – Vol.60. – P. 1656–1660.

7. A. Bykov, N. Lavrentieva, L. Sinitsa, N. Lavrentieva, L. Sinitsa // Mol. Phys. – 2004. – Vol. 102. – P. 1653–1658.

Р.М. Бурбело, Н.В. Исаев, А.Г. Кузьмич, В.В. Курылюк

**Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
Киев, Украина**

ФОТОАКУСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕОДНОРОДНЫХ СУБМИКРОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР: ИМПУЛЬСНЫЙ РЕЖИМ ОБЛУЧЕНИЯ

Введение

Основой современной микро-, нано- и оптоэлектроники являются материалы у которых в соответствии с технологическими условиями изменены свойства поверхностного слоя. К таким структурам в первую очередь относятся полупроводниковые материалы с модифицированным приповерхностным слоем. Актуальными являются задачи развития методов неразрушающего контроля таких структур. Перспективными с этой точки являются методы, в основе которых лежит фотоакустическое (ФА) преобразование – формирование в образце полей упругих напряжений (деформаций) при его облучении нестационарным (модулированным) электромагнитным излучением. В классической ФА в качестве возбуждающего, используется периодически модулированное излучение с частотой модуляции $\omega = 2\pi/T$, T – период модуляции. Исследование приповерхностных слоев субмикронной толщины с помощью такого подхода связано с техническими трудностями [1]. Перспективным, с этой точки зрения, является использование в качестве возбуждающего импульсного излучения с наносекундной длительностью импульса. При этом размер области локализации тепловой энергии сравним с толщиной модифицированного слоя.