

## ВРЕМЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ИНВЕРСИИ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ МОЛЕКУЛЫ СО.

С. В. Маркова, Г. Г. Петраш, Л. А. Селезнёва

Генерация на колебательно-вращательных переходах основного состояния молекулы СО обнаружена в 1964 г.<sup>1</sup>. В последнее время интерес к этой генерации сильно возрос в связи с тем, что на ней при охлаждении рабочего газа удалось получить значительную мощность в непрерывном режиме и высокий КПД<sup>2,3</sup>, приближающиеся к мощности и КПД лазера на СО<sub>2</sub>. В режиме модулированной добротности при непрерывной накачке получены импульсы генерации пиковой мощностью до 11 квт<sup>4</sup>. Однако механизм генерации до сих пор остаётся неясным.

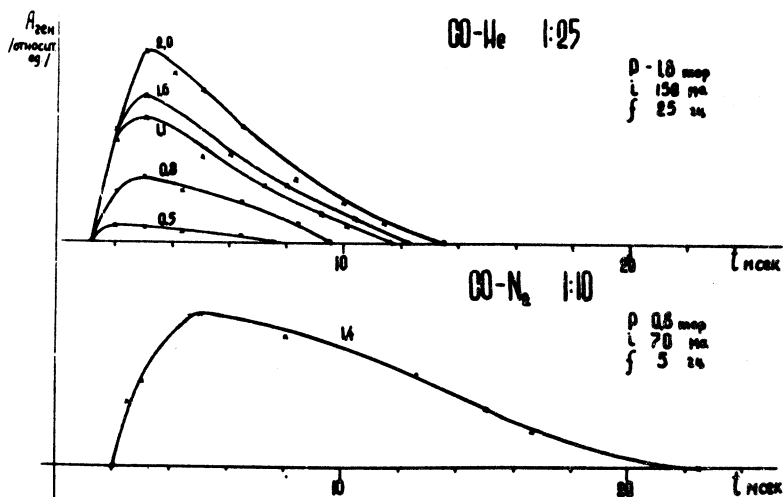
В настоящей работе проведено исследование генерации на указанных переходах в режиме модулированной добротности при импульсном возбуждении разряда, что позволило изучить изменение инверсии во времени. Применялась та же установка, которую мы использовали для исследования генерации на СО<sub>2</sub><sup>5</sup>. Разрядная трубка внутренним диаметром 38 мм на длине около 1600 мм охлаждалась потоком холодного азота. В рабочих условиях существовал значительный перепад температуры вдоль трубки. Максимальное охлаждение (до - 180°С) достигалось в середине трубки, где подводился холодный азот, температура концов трубки была на 30-40° выше. Резонатор был образован двумя внутренними позолоченными зеркалами. Одно, радиусом кривизны 3 м, имело отверстие диаметром 6 мм для вывода радиации; другое, плоское, было уста-

новлено на оси быстроходного мотора. На трубку от специального модулятора подавались прямоугольные импульсы переменной длительности напряжением до 26 кв. Запуск модулятора синхронизовался с вращением мотора. В цепи запуска имелся делитель частоты, позволявший изменять частоту следования импульсов тока последовательными скачками вдвое; всего частоту можно было уменьшить в 32 раза по отношению к частоте вращения мотора. Кроме того в цепь запуска был введён генератор сдвинутых импульсов, позволявший изменять момент включения резонатора относительно начала разряда в пределах от 0 до 10 мсек. Генерация регистрировалась на выходе монохроматора ИКС-6 с помощью приёмника **Ge: Au** и двухлучевого осциллографа. На второй вход осциллографа подавался импульс тока.

Измерения проводились в проточной системе при использовании разряда в СО с добавками гелия и азота. Без добавления гелия или азота генерация на СО в наших условиях не наблюдалась. В отличие от генерации на  $\text{CO}_2$ , генерация на СО наблюдалась только в определённом интервале частот вращения модулирующего зеркала. Наибольшая мощность получалась при частоте около 100 гц. Увеличение частоты до 150 гц и уменьшение до 70 гц резко уменьшало мощность генерации. Большая часть измерений была проведена при частоте вращения зеркала 100 гц и при частоте повторения импульсов тока  $\sim 6$  гц. Увеличение частоты повторения импульсов тока при неизменной скорости вращения зеркала приводило к некоторому ухудшению генерации, по-видимому, за счёт нагрева рабочего газа. Устойчивая генерация на СО появлялась при охлаждении трубки до температуры около  $-130^\circ\text{C}$ . С течением времени внутренняя поверхность трубки покрывалась тёмным налётом, что ухудшало условия генерации. При понижении температуры этот процесс убыстрялся.

В описанных условиях были измерены зависимости энергии импульса генерации с модулированной добротностью от времени включения резонатора. Эти зависимости передают изменение во времени инверсии. На рисунке при-

ведены кривые, показывающие изменение во времени инверсии для смеси  $\text{CO} - \text{He}(1:25)$  и  $\text{CO} - \text{N}_2(1:10)$  при различных длительностях импульса тока (длительность в мсек приведена рядом с соответствующей кривой). Вре-



Изменение инверсии во времени в разрядах  $\text{CO}-\text{He}$  и  $\text{CO} - \text{N}_2$ . Рядом с соответствующими кривыми приведены значения длительности импульсов тока в мсек.

мя отсчитывается от начала импульса тока. Примерно тот же характер имеют кривые для тройной смеси  $\text{CO}-\text{He} - \text{N}_2$ . Как видно из рисунка, генерация в наших условиях наблюдается в основном в послесвечении, только при больших длительностях тока она частично существует во время импульса тока. Максимальная инверсия всегда достигалась спустя 3-4 мсек после начала импульса тока. Величина максимальной инверсии слабо зависела от амплитуды тока, но заметно увеличивалась с удлинением импульса тока. Длительность существования инверсии в смеси с азотом почти вдвое больше,

чем с гелием, и достигает 22 мсек. При этом оказалось, что при соотношении СО и азота 1:1 генерация не возникала и только значительное увеличение содержания азота до соотношения 1:10 привело к появлению сильной генерации с большим временем существования инверсии. Генерация в наших условиях наблюдалась на нескольких полосах с колебательных уровней от  $V = 14$  до  $V = 8$ . Характер изменения инверсии во времени мало зависел от того, регистрировалось ли суммарное излучение или излучение на отдельной полосе.

Энергия импульса генерации измерялась по средней мощности при задержках, соответствующих максимуму инверсии, и оказалась в наших условиях 1 - 2 мдж.\*) Ни состав смеси, ни пропускание выходного зеркала оптимизированы не были. Предварительные измерения длительности и формы суммарного по всем линиям импульса показали, что импульс состоит из нескольких компонент, положение и относительная величина которых изменяются с условиями опыта. Длительность импульса составляет 1-2 мсек. Временное разрешение системы регистрации не хуже 0,2 мсек.

Кроме упомянутых выше смесей с СО генерация на СО наблюдалась нами также при охлаждении в системе без протока смеси  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{He}$  (2:1:2). В этом случае СО образовывался в результате разложения  $\text{CO}_2$  в разряде в процессе охлаждения; остаток  $\text{CO}_2$  вымораживался на стенках при дальнейшем охлаждении. Условия генерации в такой системе плохо поддаются контролю, в связи с чем подробные измерения провести не удалось.

Изложенные выше экспериментальные результаты показывают, что инверсная заселённость на колебательных

---

\*) С той же установкой в смеси  $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{He}$  получены энергии импульса около 5 мдж. Таким образом энергия импульса генерации  $\lambda \approx 10,6$  мкм на  $\text{CO}_2$  сравнима с энергией импульса генерации СО  $\lambda \approx 5,0 - 5,4$  мкм.

переходах основного состояния СО не является результатом прямого преимущественного заселения некоторых колебательных уровней, поскольку инверсия в основном развивается и достигает максимума в послесвечении. Процессами, приводящими к инверсии в послесвечении, могут быть: передача энергии от каких-либо долгоживущих и эффективно заселяемых состояний, заселение колебательных уровней в процессе химических реакций (например, при рекомбинации молекулы СО из атомов, образовавшихся в разряде) или в процессе специфической релаксации первоначально не инвертированных колебательных уровней. Наши результаты, так же как и результаты<sup>4</sup>, показывают, что присутствие азота не является необходимым для образования инверсии, хотя и увеличивает время её существования. Таким образом, передача энергии от колебательно возбуждённых молекул азота не может быть единственным механизмом образования инверсии. Для надёжного обоснования механизма инверсии требуются дальнейшие эксперименты.

Поступила в редакцию  
17 декабря 1969 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Patel C.K.N., Kerl R.J. Appl. Phys. Lett. 5, 81 (1964).
2. Osgood R.M., Eppers W.C. Appl. Phys. Lett. 13, 409 (1968).
3. Laser Focus 5, 14 (1969).
4. Osgood R.M., Nichols E.R., Eppers W.C., Petty R.D. Appl. Phys. Lett. 15, 69 (1969).
5. Маркова С. В., Петраш Г. Г., Зотов В. И., препринт ФИАН №119, 1969.