

ТЕМПЕРАТУРА ГАЗА ПЛАЗМЫ РАЗРЯДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОКГ НА CO_2

А.Г.Свиридов, Н.Н.Соболев, Г.Г. Целиков

В работах [1,2] были установлены основные физические процессы, приводящие к инверсной заселенности и генерации ОКГ на CO_2 . Однако количественный анализ явлений в разрядах, применяемых для ОКГ на CO_2 , очень затруднен ввиду почти полного отсутствия данных о составе плазмы и температуре компонент. В частности отсутствуют сведения о

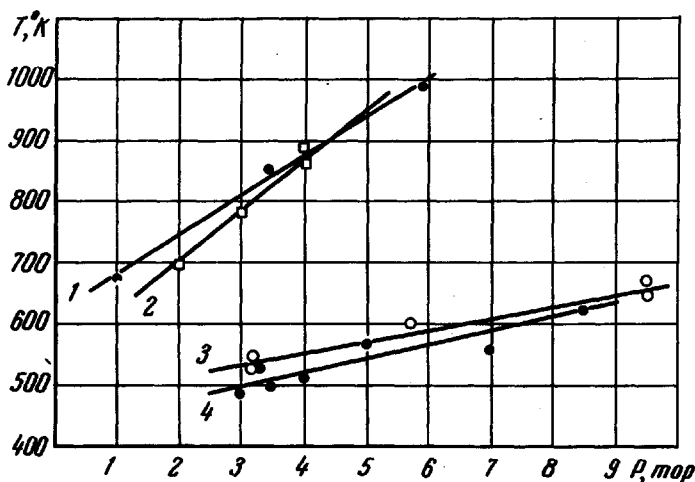


Рис.1. Зависимость температуры газа от общего давления газа в разрядной трубке: 1 — $I = 80 \text{ ма}$, $Q(\text{N}_2) = 0,28$, $Q(\text{CO}_2) = 0,10$; 2 — $I = 80 \text{ ма}$, $Q(\text{N}_2) = 0,40$; 3 — $I = 80 \text{ ма}$, $Q(\text{N}_2) = 0,28$, $Q(\text{CO}_2) = 0,10$, $Q(\text{He}) = 2,20$; 4 — $I = 60 \text{ ма}$, $Q(\text{N}_2) = 0,40$, $Q(\text{CO}_2) = 0,13$, $Q(\text{He}) = 2,40$. Данные (1), (3) получены с помощью разрядной трубки диаметром 2,5 см, данные (2), (4) — с помощью трубки диаметром 6,2 см; расходы Q приведены в л. тор/сек

температуре газа T_2 . Между тем экспериментальные данные о зависимости мощности генерации от температуры стенок разрядной трубки явно указывают на существенное влияние температуры газа [3]. Это заключение также следует из установленного в работе [2] вывода о решающей роли колебательной релаксации при установлении инверсной заселенности между уровнями CO_2 . Скорость же колебательной релаксации существенным образом зависит от T_2 .

Настоящее сообщение посвящено изложению результатов исследования зависимости T_2 от различных параметров разрядов, применяемых для ОКГ на CO_2 . Опыты производились при непрерывном потоке газовой

смесь со скоростями до 1 м/сек. Измерение T_2 производилось по относительной интенсивности вращательных линий (0,0) – полосы второй положительной системы N_2 (кант полосы $\lambda = 3371 \text{ \AA}$). Регистрация спектров велась фотографически с анодного торца разрядной трубки с помощью спектрографа ДФС-8 (линейная дисперсия 6 $\text{\AA}/\text{мм}$). Поэтому измерялась по существу эффективная температура всего газового разряда. Для измерений использовались вращательные линии R-ветви с квантовыми числами $j = 15+27$. Погрешность ΔT в определении T_2 при 400°K составляла $\pm 10^\circ\text{K}$, при 1000°K $\Delta T = \pm 60^\circ\text{K}$. Опыты производились с тремя разрядными трубками, отличающимися диаметром d и длиной ℓ : 1) $\ell = 284 \text{ см}$, $d = 6,2 \text{ см}$; 2) $\ell = 75 \text{ см}$ и $d = 2,5 \text{ см}$; 3) $\ell = 90 \text{ см}$ и $d = 3,0 \text{ см}$. Последняя трубка имела водяную рубашку для охлаждения водой.

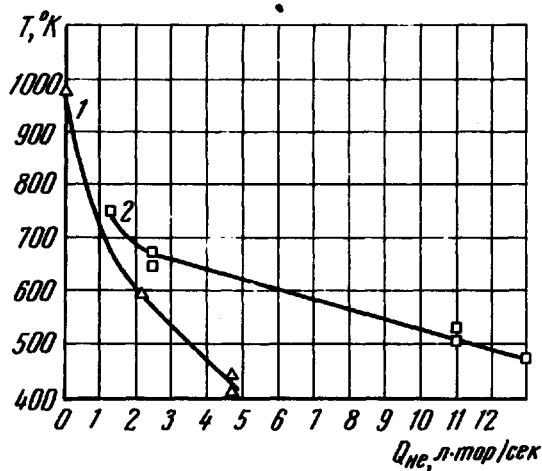


Рис. 2. Влияние добавок He на температуру газа: 1 — $I = 80 \text{ ма}$, $P = 5,8$, $Q(N_2) = 0,28$, $Q(CO_2) = 0,10$; 2 — $I = 80 \text{ ма}$, $P = 9,5$, $Q(N_2) = 0,28$, $Q(CO_2) = 0,10$. Данные получены в разрядной трубке диаметром 2,5 см; давления P приведены в торах, расходы Q в л-тор/сек

Компоненты смеси газов поступали в разрядную трубку из отдельных баллонов. Расходы измерялись манометрически по перепаду давления на вентиле между баллоном с высоким давлением и разрядной трубкой.

Результаты экспериментов (некоторые из которых представлены на рис. 1-3) кратко можно сформулировать следующим образом:

1. Температура газа в разряде на смеси $CO_2 + N_2$ слабо зависит от общего расхода смеси Q и относительных концентраций CO_2 и N_2 . Так, например, добавление CO_2 в количествах, втрое превышающих расход N_2 , не изменяет T_2 , так же как и изменение общего расхода от 0,32 до 1,12 л-тор/сек.

2. Температура газа мало меняется с изменением диаметра трубки от 30 до 50 мм, несмотря на изменение плотности тока I (см. рис. 1).

3. Увеличение общего давления смеси $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ от 1 до 6 *жор* приводит к росту температуры от 700 до 1000°K (см. рис. 1).

4. Добавление He к смеси $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ вызывает снижение T_2 до 500-600°K (см. рис. 1 и 2). В присутствии He в значительных количествах влияние общего давления смеси на T_2 меньше, чем в случае двойной смеси $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ (см. рис. 1).

5. Увеличение силы тока I от 10 до 80 *ма* в смеси $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{He}$ приводит к увеличению T_2 всего на 100°K.

6. Применяя водяное охлаждение разрядной трубки, можно снизить T_2 смеси $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{He}$ до 350-400°K.

Полный анализ полученных результатов возможен только при детальном рассмотрении энергетического баланса разряда с учетом возможности изменения распределения тока и температуры газа по сечению. Вряд

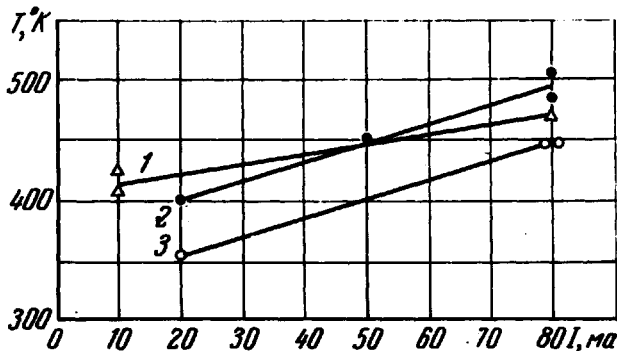


Рис.3. Зависимость температуры от силы тока. 1 — $P = 5,8$, $Q(\text{N}_2) = 0,28$, $Q(\text{CO}_2) = 0,10$, $Q(\text{He}) = 4,70$; 2 — $P = 7,5$, $Q(\text{N}_2) = 1,50$, $Q(\text{CO}_2) = 0,50$; $Q(\text{He}) = 1,20$; 3 — $P = 3,4$; $Q(\text{N}_2) = 0,33$, $Q(\text{CO}_2) = 0,11$, $Q(\text{He}) = 2,7$. Данные (1) относятся к разрядной трубке диаметром 2,5 см, данные (2) и (3) — к разрядной трубке диаметром 3,0 см с водяным охлаждением; давления P приведены в торах, расходы Q в л. жор/сек

ли он сейчас возможен и необходим. Однако, один из результатов — снижение T_2 с добавлением He качественно вполне понятен в связи с тем, что теплопроводность He на порядок больше, чем теплопроводность CO_2 и N_2 , что и приводит к большим тепловым потерям.

Этот же результат можно использовать для интерпретации увеличения мощности ОКГ на $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ при добавлении He [4,5] и охлаждении газоразрядной трубки водой [3]. Как видно из рис. 1 и 2, добавление He к $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ снижает T_2 от 1000° до 600-500°K, а дополнительное охлаждение водой до 450-350°K. Это означает, что скорость колебательной релаксации верхнего лазерного уровня 00°1 CO_2 при этом уменьшится не менее, чем на порядок [6] (при $P_{\text{CO}_2} = 1$ жор и 1000°K $\tau \approx 10^{-4}$, при 500°K $\tau \approx 10^{-3}$, при нормировке τ зависимости $\tau(T)$ по экспериментальным данным [7]), что приведет к росту заселенности верхнего лазерного уров-

ня. Скорость же разрушения заселенности деформационных уровней за счет столкновений с молекулами CO_2 , хотя также уменьшится [6], но это уменьшение скорости будет скомпенсировано разрушением деформационных уровней CO_2 при столкновениях с атомами He [2]. Эффективность этих столкновений на порядок выше эффективности столкновений с молекулами CO_2 и, что не менее существенно, мало зависит от температуры [8]. Таким образом, добавление He играет двойную роль. С одной стороны, оно приводит к увеличению заселенности верхнего лазерного уровня, а с другой стороны, увеличивает скорость разрушения нижнего уровня [2]. Этот вывод находится в хорошем согласии с экспериментами [9] по оценке заселенностей верхнего и нижнего лазерных уровней CO_2 с He и без He по спонтанному излучению, и приводит к объяснению существенного повышения мощности ОКГ на CO_2 при добавлении He. Дополнительное охлаждение газоразрядной трубки водой, приводящее к снижению температуры примерно на 150°K , приведет к уменьшению скорости разрушения верхнего лазерного уровня 00^1CO_2 (за счет столкновений с молекулами CO_2), еще в 2-3 раза; что приведет к дополнительному увеличению инверсной заселенности и мощности генерации. [3]

Отметим, также, что при рабочих давлениях $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ порядка 6 тор , как следует из рис. 1, $T_2 \approx 1000^\circ\text{K}$. При этой температуре заселенность нижнего колебательного лазерного уровня составит десятую от заселенности основного уровня CO_2 , и при концентрациях $\text{CO}_2 \sim 10^{17}\text{ см}^{-3}$, на нижнем лазерном уровне заселенность будет порядка 10^{16} см^{-3} (за счет бальмановского заселения с газовой температурой), что может значительно уменьшить инверсию нижнего лазерного уровня относительно верхнего.

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

Поступило в редакцию
15 мая 1967 г.

Литература

- [1] Н. Н. Соболев, В. В. Соколов. Письма ЖЭТФ, 4, 303, 1966.
- [2] Н. Н. Соболев, В. В. Соколов. Письма ЖЭТФ, 5, 122, 1967.
- [3] T. J. Bridges, S. K. N. Patel. Appl. Phys. Lett., 7, 244, 1965.
- [4] G. Moeller, J. D. Rigden. Appl. Phys. Lett., 7, 274, 1965.
- [5] S. N. Patel и др. Appl. Phys. Lett., 7, 290, 1965.
- [6] K. F. Herzfeld. Disc. Faraday Soc., № 33, 22, 1962.
- [7] L. O. Hocker и др. Phys. Rev. Lett., 17, 233, 1966. T. L. Cottrell и др. Trans. Faraday Soc., 62, 2655, 1966, П. В. Слободская. Опт. и спектр. 22, 29, 1967.
- [8] T. L. Cottrell, J. C. Courbay. Molecular Energy Transfer in Gases, London, Butterworth, 1961.
- [9] M. J. Weber, T. F. Deutch. JEEE., J. Quantum Electronics, QE-2, 369, 1966.