

04; 07; 12

© 1992

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ УВЕЛИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ  
ГЕНЕРАЦИИ В ГАЗОРАЗРЯДНОМ  $\text{CO}_2$ -ЛАЗЕРЕ С РАСПРЕ-  
ДЕЛЕННЫМ КАТАЛИЗАТОРОМГ.И. К о з л о в, А.В. К а ч а л и н,  
В.А. К у з н е ц о в, О.Г. С и д о р е н к о

Известно, что диссоциация молекул  $\text{CO}_2$  приводит к уменьшению выходной мощности в газоразрядных  $\text{CO}_2$ -лазерах с диффузионным охлаждением, в том числе и в многолучевых технологических лазерах [1]. Падение мощности генерации обычно связывается как с уменьшением концентрации молекул  $\text{CO}_2$ , так и с образованием в лазерно-активной смеси атомарного кислорода и ряда производных от него молекул ( $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и т.п.), являющихся хорошими дезактиваторами колебательно возбужденных молекул  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ . Для уменьшения отрицательного влияния процесса диссоциации молекул  $\text{CO}_2$  на энергетические характеристики обычно используется слабая прокачка газовой смеси, что, однако, приводит к немалому ее расходу для мощных лазеров.

Крайне важно попытаться увеличить выходную мощность лазера за счет регенерации молекул  $\text{CO}_2$  непосредственно в разрядной трубке. Это можно осуществить нанесением катализатора на ее внутреннюю поверхность. Такие попытки предпринимались неоднократно, но только недавно в работе [2] с помощью золотого покрытия стенок разрядной трубки удалось значительно уменьшить степень диссоциации молекул  $\text{CO}_2$  и достичь рекордных удельных значений мощности генерации 122 Вт/м. Основную причину своих достижений авторы [2] видят в том, что данное покрытие позволило уменьшить концентрацию атомарного кислорода и других дезактивирующих частиц. Такое объяснение не вскрывает, как нам представляется, главного механизма, обеспечивающего достижение рекордных значений мощности генерации, и вообще неожиданные результаты этой работы.

В этой связи наше исследование преследовало две цели. Во-первых, необходимо было определить влияние катализатора на характеристики газоразрядного  $\text{CO}_2$ -лазера в условиях близких к волноводному режиму работы резонатора, который нами используется при разработке мощных многолучевых систем [3]. И, во-вторых, необходимо было понять механизм, обеспечивающий возможность существенного увеличения мощности генерации с единицы длины разрядной трубки при нанесении на нее катализатора.

Эксперименты проводились на установке, схематически изображенной на рис. 1. Она фактически состояла из двух лазеров, то

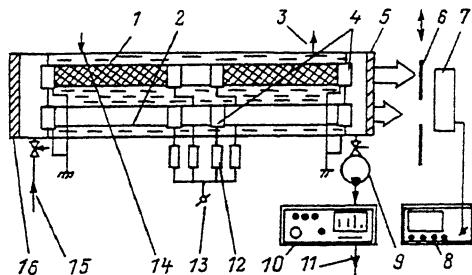


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1, 2 – разрядные трубки с катализатором и без него; 3, 14 – к контуру охлаждения; 4 – электроды; 5 – выходное зеркало; 6 – заслонка; 7, 8 – датчик и индикатор мощности; 9 – вакуумный насос; 10 – хроматограф; 12 – балластные резисторы; 13 – высоковольтный ввод; 15, 11 – вход и выход лазерной газовой смеси; 16 – глухое зеркало.

есть двух охлаждаемых разрядных стеклянных трубок, расположенных в едином резонаторе. Одна из разрядных трубок была покрыта слоем катализатора, в качестве которого применялось золото, а вторая была без покрытия. Это было сделано для того, чтобы путем сравнения энергетических характеристик установить вклад катализатора в увеличение выходной мощности. Разрядные трубки имели внутренний диаметр 10 мм и активную длину каждой 180 см. Резонатор лазеров был образован двумя плоскими зеркалами: глухим – водоохлаждаемым, медным и выходным – из арсенида галлия с коэффициентом отражения  $\approx 43\%$ . Резонатор был неоптимальным.

Мощность лазера измерялась с помощью калориметра с точностью  $\pm 5\%$ . Прокачка лазерной смеси, содержащей 10%  $\text{CO}_2$ , 20%  $\text{N}_2$  и 70% He, осуществлялась вакуумным насосом. На его выходе был установлен хроматограф для определения степени диссоциации молекул  $\text{CO}_2$ . При этом имелась возможность включать лазеры поочередно, что позволяло определить характеристики каждого из лазеров в отдельности.

Прежде всего были выполнены эксперименты по определению влияния катализатора на степень диссоциации молекул  $\text{CO}_2$ . Их результаты свидетельствуют о том, что степень диссоциации в лазере без катализатора с уменьшением скорости прокачки постепенно возрастает и приближается к равновесному значению, равному примерно 80%. Катализатор кардинальным образом изменяет ситуацию, степень диссоциации при этом не превышает 20%. Влияние каталитического покрытия на мощность генерации можно видеть из данных, приведенных на рис. 2. Из рисунка следует, что сначала при увеличении энерговклада в разряд свыше 200 Вт/м мощность лазерного излучения постепенно возрастает для обоих лазеров. Однако для лазера без катализатора мощность генерации

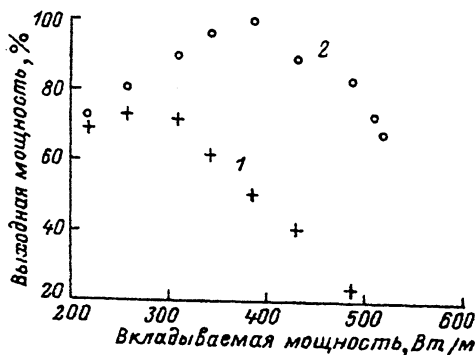


Рис. 2. Зависимость мощности генерации от вкладываемой мощности для обычного лазера - 1 и для лазера с катализатором - 2. Скорость прокачки газовой смеси - 0,1 ст-л/мин.

достигает максимума при энерговыкладах порядка 300 Вт/м, а при еще больших значениях довольно быстро падает. Это уменьшение выходной мощности обычно связывается с перегревом лазерной смеси и соответственно с уменьшением инверсии. Перегрев лазерной смеси в осевой части разрядной трубки выше критического, равного примерно 300°C, обусловлен тем обстоятельством, что механизм теплопроводности не справляется с выносом энергии к охлаждаемой стенке.

Из анализа полученных данных следует несколько важных выводов. Во-первых, как это видно из рис. 2, при энерговыкладах порядка 300 Вт/м, использование катализатора в газоразрядных  $\text{CO}_2$ -лазерах в условиях наших экспериментов приводит к росту мощности генерации примерно на 25%. Этот рост мощности несомненно связан с увеличением концентрации молекул  $\text{CO}_2$  и уменьшением концентрации атомов кислорода. Во-вторых, для лазера с катализатором при этих же выкладах не происходит падения мощности генерации. Больше того, она продолжает расти с увеличением энерговыклада вплоть до значений, чуть ли не в 1,5 раза превышающих максимальное значение мощности для лазера без катализатора. Это удивительно! Почему для лазера с катализатором при этих значительных энерговыкладах не происходит перегрева лазерной смеси? Какой механизм обеспечивает увеличение теплопередачи из центральной зоны к стенке разрядной трубки?

Причина этого интереснейшего экспериментального результата, возможно, связана с тем обстоятельством, что при нанесении катализатора на стенку разрядной трубки лазера автоматически включается диффузионно-рекомбинационный (д-р) механизм теплопередачи из осевой зоны к стенкам разрядной трубки. В самом деле, продукты диссоциации  $\text{CO}$  и  $\text{O}$  диффундируют к стенкам трубки и, рекомбинируя на катализаторе, выделяют значительную часть энергии диссоциации на ее поверхности, увеличивая тем самым тепловой поток из разрядной области. Для оценки мощности д-р теплового потока  $Q$  к стенке воспользуемся приближенным выражением

для радиального диффузионного потока  $J$  молекул  $\text{CO}$  на единицу длины разрядной трубки радиуса  $R$ :  $J \approx 2\pi RD \cdot (dN_{\text{CO}}/dr) \approx 2\pi RD \cdot (N_{\text{CO}}/R) = 2\pi DN_{\text{CO}}$  и  $Q \approx \varepsilon J = 2\pi \varepsilon DN_{\text{CO}}$ , где  $\varepsilon$  — энергия диссоциации молекул  $\text{CO}_2$  равная  $5,5 \text{ eV}$ ,  $D$  — коэффициент диффузии молекул  $\text{CO}$  в лазерной смеси, а  $N_{\text{CO}}$  — концентрация молекул  $\text{CO}$  в смеси, которая в случае каталитической стенки составляет примерно 20% от концентрации молекул  $\text{CO}_2$ . Теперь нетрудно убедиться в том, что в условиях наших экспериментов величина  $Q$  составляет как минимум 150 Вт/м. Из этих оценок следует принципиальный вывод о том, что вклад д-р механизма в перенос тепла из центральной области разряда к охлаждаемой стенке может быть сопоставим, а возможно, даже превышать величину теплопроводностного теплового потока. Это — важный вывод для газоразрядных трубчатых  $\text{CO}_2$ -лазеров с диффузионным охлаждением, в том числе и для работающих в волноводном режиме, позволяющий при прочих равных условиях существенно увеличить их мощность.

Таким образом, главный результат, который достигается в газоразрядных  $\text{CO}_2$ -лазерах с диффузионным охлаждением при нанесении катализатора на внутреннюю поверхность разрядной трубки, может быть связан вовсе не с увеличением концентрации молекул  $\text{CO}_2$  за счет их эффективной регенерации и не с уменьшением концентрации атомарного кислорода и других молекул, являющихся дезактиваторами колебательно-возбужденных  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ , как на это указано в [2]. По всей вероятности, дело в том, что при нанесении катализатора на стенку разрядной трубки включается диффузионно-рекомбинационный механизм теплопереноса из осевой зоны трубки к ее стенке. Это открывает принципиально новые перспективы увеличения мощности газоразрядных  $\text{CO}_2$ -лазеров.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] К о з л о в Г.И., К у з н е ц о в В.А. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15 № 4. С. 668–675.
- [2] M a s k e n J.A., Y a g n i k S.K., S a m i M.A. // IEEE J. Quantum Electronics. 1989. V. 25. № 7. P. 1695–1703.
- [3] К о з л о в Г.И., К у з н е ц о в В.А. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 7. С. 1360–1363.

Институт  
проблем механики РАН

Поступило в Редакцию  
5 мая 1992 г.