

Влияние аргона на характеристики быстропроточного CO_2 -лазера с продольной прокачкой*

С.Желвани, Х.Амири, Х.Пазокян, М.Монтацеролгхаэм,
М.Моллабаш, С.А.Наэми, Д.Исмаилпур

Представлены характеристики быстропроточного непрерывного CO_2 -лазера с продольной прокачкой. Экспериментально исследованы зависимости выходной мощности, эффективности и напряжения разряда от тока разряда для лазера с оптимизированным составом газовой смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:4.4:7.6$ с добавлением небольшого количества аргона при давлениях 50 и 60 мбар. Лазерная система испытывалась в режимах открытого и замкнутого циклов прокачки.

Ключевые слова: быстропроточный CO_2 -лазер с продольной прокачкой, аргон, замкнутый и открытый циклы.

1. Введение

Мощные быстропроточные CO_2 -лазеры с продольной прокачкой широко используются во многих отраслях промышленности для резки, сварки, сверления, маркировки и поверхностной закалки разных материалов. Влияние различных газовых добавок (Ar, Xe, CO и др.) в газовую смесь $\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{He}$ на работу CO_2 -лазеров было описано многими исследователями [1–4]. Блетцингер с соавторами [1] предположили, что добавление ксенона вызывает значительное уменьшение полного напряжения разряда и электронной температуры, а также что работа CO_2 -лазера возможна в отсутствие в газовой смеси азота. Между тем ксенон используется в маломощных отпаянных CO_2 -лазерах, работающих в непрерывном режиме, для повышения их выходной мощности и эффективности.

Шатерье с соавторами [2] сообщили об улучшении характеристик быстропроточного CO_2 -лазера с продольной прокачкой благодаря добавлению в газовую смесь ($\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{He}$) небольшого количества аргона. Они исследовали зависимость выходной мощности лазера от концентрации аргона и определили, что при содержании аргона в смеси 2.6 % имеет место четкий максимум мощности. В настоящей работе исследуется влияние аргона на выходную мощность, эффективность и характеристики разряда быстропроточного CO_2 -лазера с продольной прокачкой при работе в режимах замкнутого и открытого циклов прокачки. В режиме открытого цикла, в отличие от режима замкнутого цикла, газовая смесь лазера постоянно обновляется для поддержания генерации.

2. Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки показана на рис.1. Эта установка аналогична описанной в работе [5]. В экспериментах использовался канал из боросиликатного стекла диаметром 30 мм, образованный двумя симметрично расположенными трубками. Разрядные трубки имеют общий катод и отдельные аноды, расстояние между анодом и катодом составляет 41 см. Четырехсекционные аноды и катоды изготовлены из вольфрама. Резонатор образован зеркалом с золотым покрытием с радиусом кривизны 4 м и плоским выходным зеркалом из ZnSe с пропусканием 30 %, расстояние между зеркалами равно 226 см. Состав газовой смеси и рабочее давление поддерживаются с помощью высокоточного игольчатого клапана и цифрового манометра.

Лазерная трубка вакуумируется насосом со скоростью откачки 25 м³/ч. Циркуляция газа в лазере осуще-

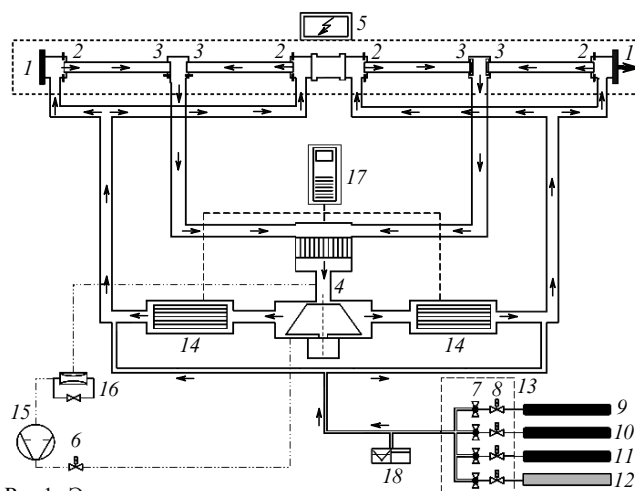


Рис.1. Экспериментальная установка: 1 – зеркала резонатора; 2 – аноды; 3 – катоды; 4 – турбовоздуховка; 5 – источник электропитания; 6 – контрольный клапан; 7 – вакуумные клапаны; 8 – игольчатые вакуумные клапаны; 9 – баллон с He; 10 – баллон с N_2 ; 11 – баллон с CO_2 ; 12 – баллон с Ar; 13 – блок смешения; 14 – теплообменники; 15 – вакуумный насос SOGEVAC; 16 – измерительная диафрагма и перепускной клапан; 17 – водяной холодильник; 18 – манометр.

*Перевод с англ. В.В.Кошечкиной.

S.Jelvani, M.Montazerolghaem, S.A.Naeimi, D.Esmailpour. Laser & Optics Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran; e-mail: sjelvani@aeoi.org.ir
M.Mollabashi. Department of Physics, University of Science and Technology, Tehran, Iran
H.Amiri, H.Pazokian. Laser & Optics Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran; Department of Physics, University of Science and Technology, Tehran, Iran

Поступила в редакцию 28 февраля 2009 г., после доработки – 21 декабря 2009 г.

ствляется турбовоздуходувкой, которая может обеспечивать скорость потока 2500 м³/ч. Для управления скоростью вращения вентилятора используется конвертер с регулируемой частотой. Он также контролирует скорость потока газовой среды. Охлаждающая система состоит из трех теплообменников, один из которых служит для охлаждения газа, выходящего из разрядной трубки, а два других используются для отвода дополнительного тепла, выделяющегося при работе воздуходувки. Теплообменники охлаждаются проточной водой из водяного охладителя, температура воды в котором составляет 8 °С. Лазер запускается подачей напряжения на источник питания, который обеспечивает пиковые напряжение (25 кВ) и ток (2 А).

3. Экспериментальные результаты

Для рассматриваемой лазерной системы соотношение компонентов газовой смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:4.4:7.6$ является оптимальным [5]. Эффект от добавления в такую смесь аргона в случае открытого цикла демонстрирует рис.2, где представлены зависимости выходной мощности от тока разряда для давлений газа 50 и 60 мбар [6]. На рис.2,а максимальная выходная мощность ~575 Вт была получена для смеси состава $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}:\text{Ar} = 1:4.4:7.6:0.28$ при токе разряда 475 мА и давлении 50 мбар. Видно, что пороговый ток разряда возрастает для смеси с добавкой оптимальной доли аргона. На рис.2,б показаны аналогичные зависимости для смесей с давлением 60 мбар. Максимальная выходная мощность состав

ляет ~350 Вт при токе разряда 300 мА и составе смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}:\text{Ar} = 1:4.4:7.6:0.14$. Однако в этом случае, в отличие от зависимостей на рис.2,а, максимум выходной мощности наблюдается для смесей с различным содержанием аргона при одном и том же токе разряда (300 мА). Из рис.2,б видно, что при более высоких концентрациях аргона максимальная выходная мощность меньше. Отметим также, что оптимальные доли аргона различны для смесей с давлениями 50 и 60 мбар.

Зависимость выходной мощности от тока разряда в режиме замкнутого цикла показана на рис.3. Видно, что для двух рассматриваемых давлений газа (50 и 60 мбар) оптимальная доля аргона в смеси не зависит от типа цикла (открытого или замкнутого). Кроме того, при оптимальной концентрации аргона пик выходной мощности сдвинут в область более высоких разрядных токов. Зависимости КПД лазера от тока разряда и доли аргона в режимах открытого и замкнутого циклов для давления газа 50 мбар показаны на рис.4. В случае открытого цикла (рис.4,а) максимальный КПД имеет место при полном отсутствии аргона, в то время как максимальный КПД для замкнутого цикла при давлении газа 50 мбар был достигнут для смеси состава $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}:\text{Ar} = 1:4.4:7.6:0.28$ (рис.4,б). Полученные результаты свидетельствуют о том, что добавление аргона приводит к такому распределению электронной энергии или электронной температуры, которое способствует эффективному возбуждению верхних уровней молекул CO_2 и N_2 [2]. Однако добавление аргона в смесь при давлении 60 мбар в случае замкнутого цикла уже не изменяет электронную температуру.

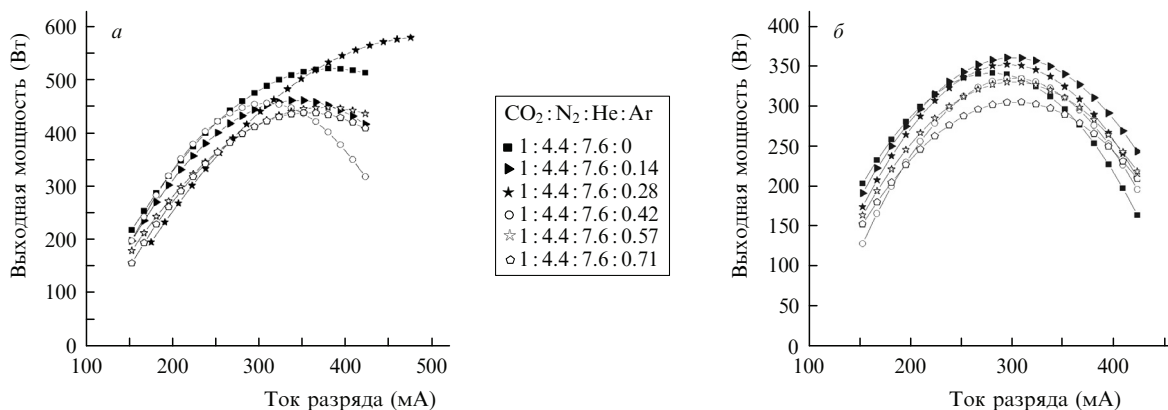


Рис.2. Зависимости выходной мощности лазера от тока разряда для газовых смесей $\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{He}-\text{Ar}$ различного состава в режиме открытого цикла при давлениях газа 50 (а) и 60 мбар (б).

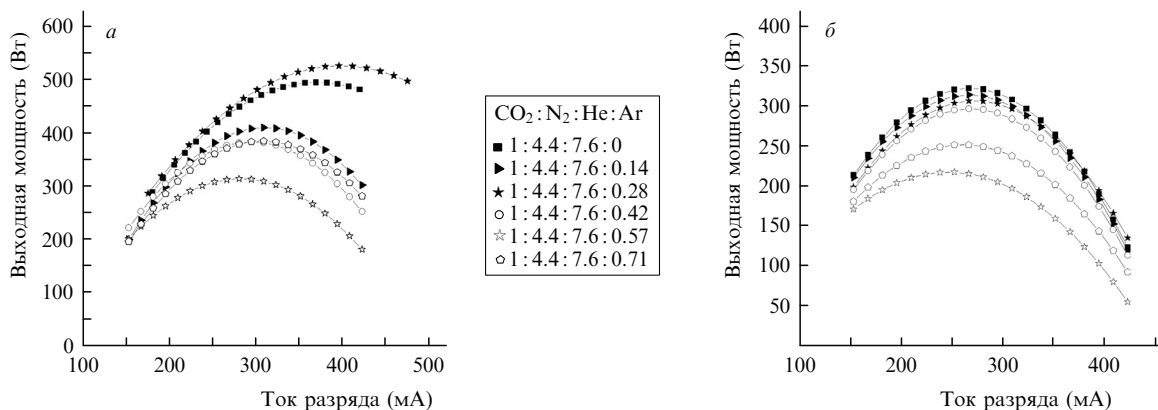


Рис.3. Зависимости выходной мощности лазера от тока разряда для газовых смесей $\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{He}-\text{Ar}$ различного состава в режиме замкнутого цикла при давлениях газа 50 (а) и 60 мбар (б).

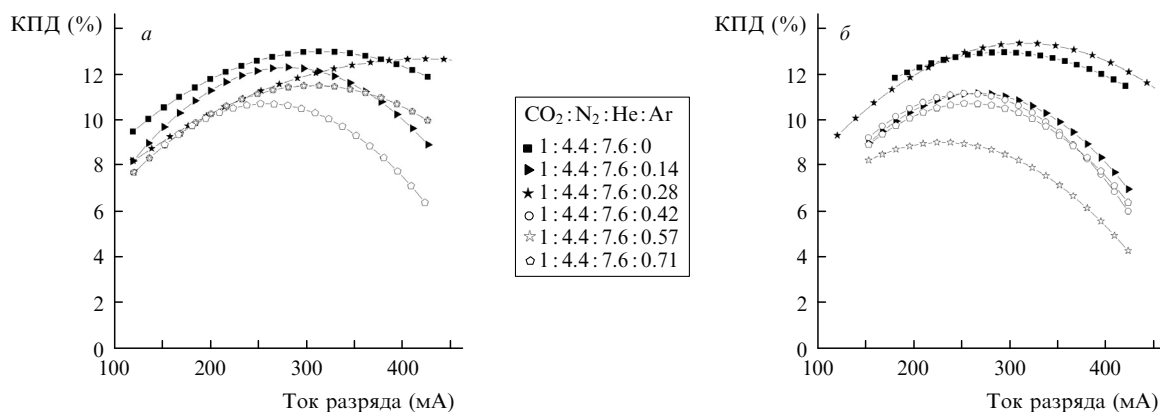


Рис.4. Зависимости КПД лазера от тока разряда для газовых смесей CO₂-N₂-He-Ar различного состава при давлении газа 50 мбар в режимах открытого (а) и замкнутого (б) циклов.

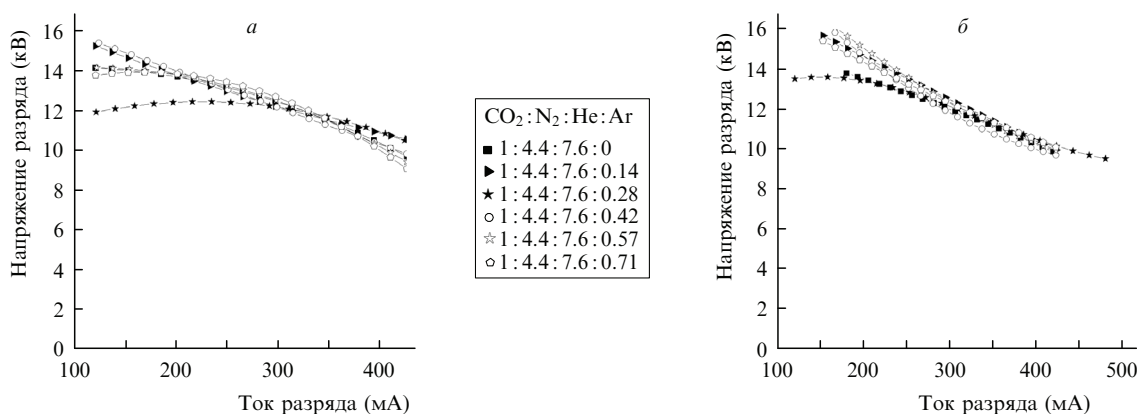


Рис.5. Зависимости напряжения разряда от тока разряда для газовых смесей CO₂-N₂-He-Ar различного состава при давлении газа 50 мбар в режимах открытого (а) и замкнутого (б) циклов.

Была измерена также зависимость напряжения разряда от тока разряда для нескольких концентраций аргона в газовой смеси при давлении газа 50 мбар для открытого и замкнутого циклов. Пороговый ток разряда менялся в зависимости от добавления небольшого количества аргона в газовую смесь CO₂-лазера (рис.5). Стабильность разряда сильно зависит от состава газовой смеси. На рис.5 отражено влияние аргона на стабильность разряда при работе в режимах открытого и замкнутого циклов. Из рис.5,а видно, что содержащая аргон газовая смесь CO₂:N₂:He:Ar = 1:4.4:7.6:0.28 особенно стабильна при давлении газа 50 мбар в режиме открытого цикла. В противоположность этому в режиме замкнутого цикла добавление аргона не оказывает влияния на стабильность разряда.

4. Выводы

Исследовано влияние добавление аргона в смесь CO₂-N₂-He на работу непрерывного быстропотоочного CO₂-лазера с продольной прокачкой при давлениях газа 50 и 60 мбар в режимах открытого и замкнутого циклов.

Приведем основные значимые результаты:

1. Для газовой смеси при давлении 50 мбар выходная мощность и КПД лазера в обоих режимах работы увеличивались при добавлении в смесь аргона, концентрация которого составляла 0.28 от концентрации CO₂.

2. При давлении 50 мбар в режиме как открытого, так и замкнутого цикла пороговый ток разряда возрастал при добавлении оптимальной доли аргона.

3. Оптимальная доля аргона различна при разных давлениях газа.

4. Оптимальная доля аргона не зависела от режима работы лазера.

5. При оптимальной доле аргона в газовой смеси максимум выходной мощности лазера смещался в область больших токов разряда.

6. Для газовой смеси CO₂:N₂:He:Ar = 1:4.4:7.6:0.28 стабильный разряд в режиме открытого цикла поддерживался при давлении газа 50 мбар.

Авторы выражают благодарность С.А.Амирнезаду (S.A.Amirnezad) и Г.Х.Шаkori (G.H.Shakouri) за помощь в проведении экспериментов.

1. Bletzinger P., Garscadden A. *Appl. Phys. Lett.*, **12**, 289 (1968).
2. Chatterjee T., Sehgal S.K., Chatterjee U.K. *Opt. Laser Technol.*, **23**, 121 (1991).
3. Hara H., Nakao S., Fujisawa A. *Opt. Commun.*, **27**, 415 (1978).
4. Nagai H., Hishii M., Shibayama K., Nagai A., Akiba T. *IEEE J. Quantum Electron.*, **18**, 416 (1982).
5. Jelvani S., Pazokian H., Mollabashi M., Montazerolghaem M., Naeimi S.A., Esmaeilpour D. *Lasers Eng.*, **18**, 145 (2008).
6. Jelvani S., Naeimi S.A., Dehghan G.H., Montazerolghaem M., Esmaeilpour D. *Opt. Eng.*, **45** 104201 (2006).