

04;07
©1993

ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ ДЛЯ НАКАЧКИ ЩЕЛЕВЫХ ГАЗОВЫХ ЛАЗЕРОВ

Н.А.Яценко, И.В.Масюков

1. Представлены и проанализированы экспериментальные результаты, раскрывающие возможность и перспективы использования тлеющего разряда постоянного тока в поперечном магнитном поле для накачки щелевых газовых лазеров, т. е. лазеров, в которых активная среда создается в узком щелевом зазоре [1]. Очевидное достоинство щелевых газовых лазеров заключается в том, что появляется возможность независимо управлять удельными и интегральными характеристиками их активной среды. В этом случае удельные характеристики лазера зависят главным образом от наименьшего размера щелевого зазора, а интегральные — от двух других.

Первый щелевой CO_2 лазер с диффузионным охлаждением (CO_2 -ЛДО) был создан еще в 1969 г. [2]. Его выходная мощность на единицу длины резонатора достигала 210 Вт/м, что в несколько раз превосходило соответствующий параметр традиционного трубчатого CO_2 -ЛДО. Но в то время щелевые CO_2 лазеры не получили развития, что в первую очередь было связано со сложностью возбуждения активной среды в узком щелевом зазоре. В частности, в [2] применялся комбинированный разряд в поперечном ВЧ и продольном постоянном полях. Вклад от ВЧ поля составлял 1.5 кВт, а от постоянного 0.5 кВт. Получить лазерную генерацию, используя только ВЧ или постоянное поле, в [2] не удалось.

Позднее новые данные о пространственной структуре ВЧ емкостного разряда [3] позволили вернуться к идее щелевого лазера с ВЧ-накачкой [4], и в настоящее время это направление успешно развивается [1,5-8]. Однако сложность ВЧ источников питания и трудность их согласования с разрядом большой мощности вынуждают искать альтернативные методы возбуждения плазмы в щелевых зазорах. Перспективным для этой цели представляется использование постоянных магнитных полей для стабилизации тлеющего разряда.

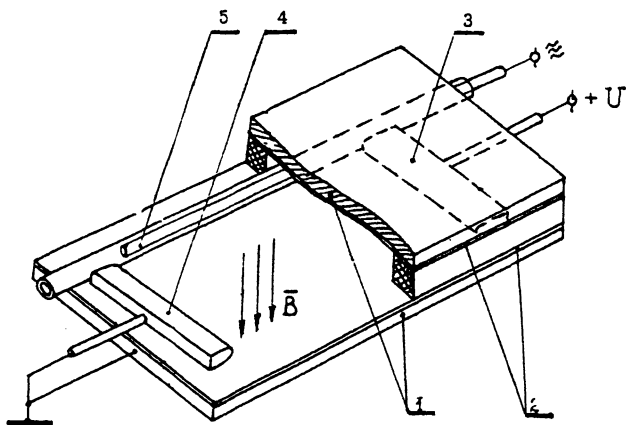


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Применение магнитных полей для улучшения характеристик CO_2 лазеров имеет давнюю историю [9,10]. Но в последнее время возник интерес к исследованию стабилизирующего влияния магнитного поля на разряд постоянного тока в коаксиальных [11] и плоских щелевых зазорах [12]. Особенно интересные практические результаты получены в [12], где описан щелевой CO_2 -ЛДО мощностью свыше 3 кВт с накачкой тлеющим разрядом постоянного тока. Объемную плазму в двух оптически связанных щелевых зазорах размером $8 \times 190 \times 2700$ мм удалось получить путем секционирования электродов и наложения однородного поперечного магнитного поля величиной 0.06–0.08 Т. Очевидный недостаток описанного лазера заключается в необходимости секционирования электродов и индивидуального балластирования каждой электродной пары.

Целью настоящей работы является изучение возможности отказа от индивидуального балластирования электродов тлеющего разряда постоянного тока плоской геометрии в поперечном магнитном поле.

2. Эксперименты проводились в газоразрядной камере, схема которой показана на рис. 1. Камера была образована двумя металлическими пластинами 1, покрытыми тонким диэлектриком 2. Пластины обеспечивали прочность конструкции при ее вакуумировании и служили элементами магнитной системы. Магнитное поле величиной до 0.1 Т создавалось постоянными магнитами. Для наблюдения за разрядом в верхней пластине имелись прорезы, которые не нарушали однородности магнитного поля. В ряде опытов

верхняя пластина заменялась на полностью прозрачную. Объем разрядной камеры составлял $1 \times 200 \times 600$ мм. Постоянное напряжение подводилось к сплошным электродам 3, 4, которые были выполнены с возможностью перемещения. Максимальное межэлектродное расстояние составляло $h = 400$ мм.

Для локализации разряда постоянного тока в требуемом месте использовался вспомогательный ВЧ емкостной разряд между ВЧ электродом 5 и металлическими пластинами 1. ВЧ электродом служила медная трубка диаметром 3 мм, вставленная в кварцевую трубку с внешним диаметром 8 мм. ВЧ электрод размещался вдоль одной из боковых стенок камеры параллельно направлению протекания постоянного тока разряда.

В процессе работы измерялись следующие параметры: постоянное напряжение на электродах U , ток через разряд I , величина индукции магнитного поля B , интенсивность светового потока из различных областей разряда. Оценивалась величина ВЧ мощности, подводимой к разряду. Эксперименты проводились в воздухе, лазерной смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:3$ при давлении до 20 Тор. ВЧ разряд возбуждался на частоте 13.6 МГц.

3. Рассмотрим основные результаты работы. После заполнения разрядной камеры лазерной смесью на ВЧ-электрод подавалось ВЧ напряжение, достаточное для пробоя и появления вдоль свободной поверхности кварцевой трубки слаботочной формы ВЧ емкостного разряда [3]. ВЧ разряд локализовался вблизи кварцевой трубки, причем мощность для его поддержания не превышала 50 Вт. Включение источника постоянного напряжения вызывало между электродами 3, 4 электрический ток I в соответствии с ВАХ, типичный вид которых приведен на рис. 2.

Наиболее важной особенностью обсуждаемого комбинированного разряда в поперечном магнитном поле является расширение плоского плазменного столба в направлении вдоль электродов 3, 4 при увеличении силы разрядного тока I . При этом величина напряжения на электродах U остается практически неизменной (рис. 2). Более того, локальные измерения интенсивности видимого излучения плазменного столба в различных областях разряда обнаружили постоянство этой величины при изменении силы тока I (это справедливо, когда фотоприемник расположен в гарницах свечения). Разрешение во времени сигналов разрядного тока и интенсивности свечения плазмы выявило лишь пульсации, вносимые источниками питания разряда. При достаточной величине магнитного поля диффузный разряд расширялся вплоть до противоположной к ВЧ электроду 5 стенки камеры.

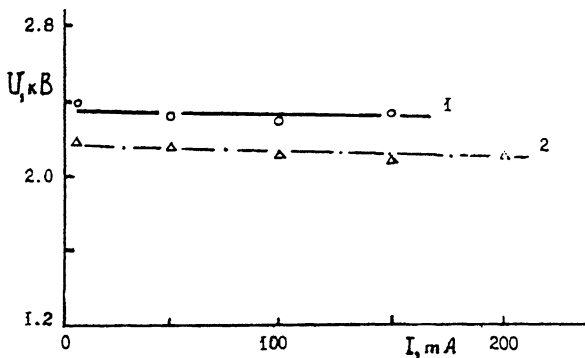


Рис. 2. Типичные ВАХ разрядной цепи постоянного тока. Давление лазерной смеси $p = 10$ Тор, $B = 0.05$ Т, $h = 220$ мм. Кривая 1 получена при $U_{ВЧ} = 390$ В, кривая 2 при $U_{ВЧ} = 420$ В.

Увеличение напряжения на ВЧ электроде 5 приводило к уменьшению ширины разряда (размера вдоль электродов 3, 4) и снижению постоянного напряжения U на электродах при фиксированной величине постоянного тока I (рис. 2). Последний факт особенно важен с точки зрения управления величиной электрического поля в плазменном столбе.

Уменьшение величины магнитного поля B приводило к уменьшению максимально возможной ширины разряда при фиксированном удельном энергокладе. При этом с увеличением величины тока I разряд переходил в контрагированный режим, причем визуально контрагированный шнур отжимался силой Лоренца к противоположной по отношению к ВЧ электроду стенке разрядной камеры. Наблюдалась также неустойчивая форма контрагированного разряда, характеризующаяся периодическим движением плазмы в направлении действия силы Лоренца. При этом регистрировались низкочастотные (до 30 Гц) колебания интенсивности свечения плазмы и величины тока I через разряд.

Анализ полученных результатов показывает, что в описанных условиях в щелевом зазоре между сплошными электродами возможно получение пространственно-однородного плазменного столба с удельным энергокладом порядка 3 Вт/см^3 и выше, т. е. вполне приемлемым для создания мощного щелевого CO_2 лазера.

Список литературы

- [1] Яценко Н.А. // Изв. Академии наук. Сер. физическая. 1992. Т. 56. N 12. С. 77-85.
- [2] Crocker A., Wills M.S. // Electronics Letters. 1969. Vol. 5. N 4. P. 63-64.
- [3] Яценко Н.А. // ЖТФ. 1981. Т. 51. N 6. С. 1195-1204.

- [4] Мышенков В.И., Яценко Н.А. // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. N 10. С. 2121-2129.
- [5] Yatsiv S. Proc. 6th Intern. Symp. Flow and Chemical Lasers /Ed. Rosenwarhs S. Berlin: Springer. 1098. P. 252-257.
- [6] Abramski K.M., Colley A.D., Baker H.J. et al. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. N 19. P. 1833-1835.
- [7] Nowack R., Opower H., Wessel K. et al. // Laser und Optoelectronik. 1991. V. 23. N 3. P. 68-81.
- [8] Yelden E.F., Seguin H.J.J., Capjack C.E. et al. // Opt. Commun. 1991. V. 82. N 5-6. P. 503-508.
- [9] Buczek C.J., Wayne R.J., Chenausky P. et al. // Appl. Phys. Lett. 1970. V. 16. N 8. P. 321-323.
- [10] Seguin H.J.J., Capjack C.E., Antoniuk D. et al. // Appl. Phys. Lett. 1980. V. 37. N 2. P. 130-133.
- [11] Голубев В.С., Кривенко Ю.Н., Леонов П.Г. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 16. С. 1522-1526.
- [12] Macken J. // Proc. Laser Advanced Materials Processing (LAMP'92) 1992. V. 1. P. 67-72.

Институт проблем механики
РАН,
Москва

Поступило в Редакцию
29 июня 1993 г.