

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ВЧ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГАЗОВЫХ ЛАЗЕРОВ

Л.Н.ОРЛОВ, О.Л.ГАЙКО, В.В.НЕВДАХ, Я.И.НЕКРАШЕВИЧ
Институт физики АНБеларуси, 220600 Минск, пр.Ф.Скарины, 68

Аннотация. Рассмотрены особенности плазмы емкостного ВЧ разряда в щелевых зазорах планарной и коаксиальной геометрии применительно к проблеме создания газоразрядных лазеров и описаны варианты разработанных в ИФ АНБ CO_2 лазеров.

Известно (Райзер и др., 1995; Hall, Hill, 1987), что при создании газовых лазеров поперечный высокочастотный емкостной разряд (ПВЧЕР) обладает целым рядом существенных преимуществ по сравнению с другими типами разрядов : малые поперечные размеры и отсутствие катодного падения потенциала обеспечивают малость рабочего напряжения и реализацию большого коэффициента усиления в волноводном режиме; положительная вольт-амперная характеристика и высокая частота возбуждения позволяют работать без активных балластных сопротивлений и дополнительных потерь энергии, зажигать и поддерживать разряд с внешними электродами в полностью диэлектрическом капилляре (т.е. без нагреваемых и распыляемых элементов в трубке, что существенно повышает долговечность приборов в отпаянном режиме работы); на высоких частотах снижается роль большинства плазменных неустойчивостей, что приводит к возможности возбуждения больших объемов газа без стратификации разряда. Это позволяет создавать компактные лазерные устройства с улучшенными энергетическими характеристиками, достаточно простые в изготовлении и эксплуатации.

Однако для реализации этих преимуществ следует решить целый ряд задач, в том числе связанных с плазмой ПВЧЕР: необходимо определить условия зажигания и поддержания однородной

плазмы в узких щелевых зазорах планарной геометрии или между двумя коаксиальными цилиндрическими электродами, а также при использовании многоканальных активных элементов, создать устройства для наилучшего согласования ВЧ генератора с такими разрядными промежутками, исследовать закономерности перехода от α - к γ - фазе разряда, найти оптимальные условия возбуждения лазерных активных сред.

С использованием метода прозрачного электрода (Орлов и др., 1992) нами проведено исследование оптико-физических характеристик свечения разряда при использовании разрядных объемов различных размеров и геометрии (включая однородные и ступенчатые планарные, цилиндрические, кольцевые коаксиальные зазоры, а также многоэлементные системы с полностью изолированными либо сообщающимися разрядными промежутками) в различных газах при частотах возбуждения 40 и 120 МГц. Практически для любых геометрий разряда и составов газа при давлениях от единиц до десятков Торр удавалось реализовать α -фазу ПВЧЕР. В этом случае распределение интенсивности излучения по сечению разрядного промежутка имело достаточно однородную приосевую область, по своим характеристикам подобную положительному столбу тлеющего разряда постоянного тока, и два отделенных от электродов темными промежутками максимума интенсивности, связанных с областью положительного пространственного заряда. По мере увеличения вводимой в разряд ВЧ мощности, свечение, возникающее первоначально лишь вблизи центра электрода (или только в одном узком канале), постепенно заполняло весь разрядный промежуток. При этом относительно малому возрастанию ВЧ напряжения соответствовало значительное увеличение тока разряда.

При дальнейшем увеличении прикладываемого напряжения наступал локальный пробой (как правило, вблизи торцевых окон либо патрубков откачки или ввода газа), с дальнейшим переходом к нежелательной при создании лазеров сильноточной γ -фазе разряда или к ее сосуществованию с α - фазой. Как правило, при давлениях газа 5 - 20 Торр и достаточно симметричной форме разрядного промежутка α - фаза была наиболее устойчи-

вой во всем диапазоне мощностей используемых источников ВЧ напряжения.

По мере перемещения вдоль электродов форма поперечного распределения интенсивности остается неизменной, но интегральная интенсивность монотонно падает от точки приложения поля к краям электрода; подбирая согласующие индуктивности и места их включения параллельно разрядному промежутку, удается выровнять распределение интенсивности на длинах до 30 см (при частоте возбуждения 100 МГц) с неоднородностями менее 5 %.

Определенные трудности с эффективным введением ВЧ мощности в активные элементы различной геометрии связаны как с необходимостью согласования волновых сопротивлений ВЧ генератора и активного элемента, так и с тем, что первоначально чисто емкостной импеданс активного элемента после зажигания разряда изменяется, появляется активная составляющая. Разработанные у нас согласующие LC -цепочки обладают большим динамическим диапазоном и позволяют подстройкой величины емкости осуществить оптимальное согласование для величин сопротивления разряда в диапазоне от 100 до 1500 Ом. Для удобства эксплуатации серийных приборов следует использовать более сложные системы автосогласования.

В принципе, полученная информация о параметрах ПВЧЕР может быть использована при разработке и создании газовых лазеров с различными активными веществами; в зависимости от их назначения, могут быть использованы самые различные конфигурации активных элементов и резонаторов - см., например (Орлов и др., 1993). В частности, нами разработано и исследовано несколько вариантов малогабаритных СО₂ лазеров повышенной мощности. Были созданы 2 макета планарных волноводных лазеров с трехзеркальным многопроходным устойчивым резонатором : лазер А - с воздушным охлаждением одного из электродов и 7-ми проходным резонатором, с габаритами разрядного промежутка 3 x 120 x 160 мм, обеспечивающий мощность генерации до 5 Вт в непрерывном режиме при частоте возбуждения 40 МГц; лазер В - с водяным охлаждением двух плоских алюминиевых электродов, 3-х проходным резонатором, габаритами 2,5 x 150 x 180 мм,

частотой возбуждения 100 МГц и мощностью генерации в непрерывном режиме до 30 Вт. В обоих случаях использовалась рабочая смесь $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} : \text{Xe}$ в соотношении 1 : 2 : 5 : 0,02 при полном давлении 25 - 30 Торр; выходной пучок в ближней зоне имел размеры 2 x 7 мм и состоял из 6 - 7 частично перекрывающихся параллельных лучей; при этом в дальней зоне распределение интенсивности было почти гауссовым и имело один максимум.

Разработан также CO_2 лазер коаксиального типа мощностью генерации до 95 Вт при диаметре 160 мм, длине 500 мм и ширине кольцевого зазора 10 мм; устойчивый резонатор образован в этом случае кольцевым непрозрачным зеркалом и отражателем, образованным шестью зеркалами, одно из которых полупрозрачно; два выходных пучка объединяются специальным устройством в общий пучок с практически гауссовым распределением интенсивности в дальней зоне. Предполагается, что разработанные приборы, использованные в них схемные решения и метод ПВЧЕР - возбуждения могут служить основой для создания типоряда лазерных систем среднего ИК диапазона с мощностью генерации от 1 до 1500 Вт.

Литература

- Орлов Л.Н., Гайко О.Л., Невдах В.В., Некрашевич Я.И. : 1992, Литовский физич.сборник, **32**, 776.
- Орлов Л.Н., Некрашевич Я.И. : 1993, в сб. " Современная оптика и лазерная физика", с.63-93, ИФАНБ, Минск.
- Райзер Ю.П., Шнейдер М.Н., Яценко Н.А.: 1995, "Высокочастотный емкостной разряд", Наука, Москва.
- Hall D., Hill C.: 1987, in "Handbook of molecular lasers", p. 165 - 258, M.Dekker Inc., New York.