

Одновременная генерация излучения в ТЕА лазерной системе за счет использования комбинированной газовой смеси

В. А. Горобец, Е. В. Лебедок, И.Н. Пучковский, С. С. Шавель

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная физика»; Минск, Беларусь,

e-mail: v.gorobets@ifanbel.bas-net.by

Представлены результаты по получению одновременной генерации с пиковой выходной мощностью в 10 и более кВт в ТЕА лазерной системе за счет использования газовой смеси, содержащей, кроме газов, применяющихся для генерации колебательно-вращательных переходах молекулы на CO_2 также и инертные газы, в которых реализуется генерация на электронных переходах.

Ключевые слова: ТЕА лазер, инертные газы, CO_2 , одновременная генерация.

Введение

В настоящее время существует устойчивый интерес к разработке лазерных систем, обеспечивающих одновременную генерацию в двух спектральных областях среднего ИК диапазона. Одним из путей решения этой проблемы может стать использование электронных переходов инертных газов (например Хе, Кг, Аг, Не) в дополнение к генерации на колебательно-вращательных переходах молекул углекислого газа.

Лазеры низкого давления на электронных переходах атомов инертных газовых, например, широко известный гелий-неоновый лазер, достаточно просты, надежны и незаменимы для ряда приложений. Однако, этот тип лазерных источников имеет невысокую мощность (≤ 1 Вт), что явно недостаточно для многих важных применений, например, в лидарах.

Следует здесь отметить, что при достижении большей концентрации активных частиц за счет разработки новых, более сложных методов накачки, мощность генерации может возрасти значительно (на порядки) для импульсных систем с высоким давлением. Для эффективного заселения лазерных уровней и создания инверсии необходимо также реализовать быстрый ввод энергии в активную среду и оптимизировать ее состав [1]. Такой подход использовался для таких сложных специфических систем как электроионизационные лазеры [2], лазерные устройства с накачкой электронным пучком [3] и ТЕА лазеры с очень быстрым (несколько нс) вводом энергии в активную среду [4–6].

Однако, получение таких мощных импульсов излучения в инертных газах на электронных переходах генерации возможно и в простой системе с самостоятельным разрядом, конструктивно похожей на типичный ТЕА CO_2 -лазер, однако практически не было реализовано до настоящего времени.

Вместе с тем, в Институте физики НАН Беларуси была разработана ТЕА CO_2 -лазерная система с автоматизированной перестройкой по спектру излучения для спектроскопических исследований и дистанционного газоанализа.

Предварительный анализ ее конструктивных особенностей и режимов работы показал, что при проведении соответствующих доработок и напуске в аналогичную систему вместо стандартной газовой смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ инертных газов можно относительно просто получать генерацию в диапазоне 1–4 мкм на 15 спектрально узких линиях, характерных для газового лазера, с энергией и пиковой выходной мощностью ~10 мДж и 0,2 МВт, соответственно [7]

1. ТЕА лазерная система для одновременной генерации

Конструкция используемого ТЕА-модуля подробно описана в [8–10]. Основной разряд происходил между электродами длиной 70, шириной 2,7 см. межэлектродный промежуток составляет 1,8 см. активный объем – 1/3 литра.

Питание цепи разряда осуществлялось от батареи малоиндуктивных конденсаторов общей емкостью 0,2 мкФ, заряжаемой до 25 кВ. Для большинства экспериментов резонатор был образован глухим медным вогнутым зеркалом ($R = 5\text{ м}$) и Ge-эталонем. База резонатора составляла 1 м.

В реализованной ТЕА системе применялась эффективная УФ-предыонизация, которая, в отличие от типичных ТЕА CO_2 -лазеров, позволяла получать импульсы высокого напряжения с крутым передним фронтом, а также была способна гораздо быстрее, со скоростью ≥ 300 Дж/мкс, вводить энергию при высокой однородности разряда. Эти принципиально важно для создания инверсии в инертных газах для достижения устойчивого разряда в широком диапазоне варьирования состава активной среды при напуске их в качестве активных частиц вместо стандартных смесей для CO_2 -лазера – $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$.

УФ-предыонизация реализовывалась быстрым подводом энергии к обостряющим конденсаторам за счет использования специальных высоковольтных шин с посеребренным покрытием и использование в электрической схеме низкоиндуктивных комплектующих.

Максимальная энергия была получена для смесей $\text{Xe}:\text{He} = 1:75$, $\text{Kr}:\text{He} = 1:90$ и $\text{Ar}:\text{He} = 1:7$ при фиксированном давлении ($P = 1$ атм) и соответствовала 28, 2,2 и 1,5 мДж при удельном энергопотреблении 90, 7 и 5 мДж/л \times атм.

Отметим слабую зависимость оптимальных соотношений компонент смесей от изменения энергии накачки и давления в широком диапазоне значений, что значительно снижает требования к точности напуска газовой смеси.

Полученные соотношения хорошо согласуются с известными данными для электроионизационного лазера [3].

2. Анализ результатов

Указанные параметры рабочей смеси и условий ее возбуждения позволяли, при напуске в рабочий объем стандартной смеси для генерации на CO_2 в виде $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:1,4:6$ получать весьма высокие значения выходной мощности и энергии импульсов в диапазоне 9,2–10,8 мкм (порядка 10 МВт и 3 Дж, соответственно).

Резкий ход зависимостей (P) и анализ работ [3, 4] указывает на то, что для данной лазерной системы оптимальное давление P значительно выше атмосферного и должно составлять 3–5 атм. Расчеты и предварительные эксперименты показали, что в этом случае значение пиковой мощности генерации может увеличиться в 2–3 раза.

Варьирование напряжения U_c показало, что максимальные мощности достигаются для Xe , Kr и Ar при $U_c \sim 17$ кВ, что меньше, чем обычно используемые напряжения в стандартном ТЕА CO_2 -лазере. Соответствующее уменьшение выходной энергии в канале CO_2 является в этом случае позитивным фактором, позволяющим выравнивать мощности в одновременно генерирующих каналах, и, кроме того, значительно увеличивает ресурс системы и безопасность работы с нею.

Для инертных газов генерация на всех линиях происходила, как правило, на переднем фронте импульса тока накачки за счет создания импульсов разряда с крутым передним фронтом (длительность должна соизмеряться с излучательным временем жизни верхнего лазерного уровня $\tau_{05} \sim 50$ нс).

Видно, что используемая смесь похожа на смесь, применяемую для получения генерации в инертных газах в диапазоне 1–4 мкм, прежде всего наличием большого количества гелия.

Известно также, что присутствие небольшого количества инертных газов в рабочей смеси CO₂-лазера только улучшает выходные параметры генерации за счет лучшего расселения нижнего лазерного уровня и смещения в оптимальную сторону параметра E/N .

Удаление из смеси азота, хотя и уменьшает выходные параметры (мощность и энергию импульсов), но часто используется на практике для уменьшения длительности импульсов за счет ликвидации так называемого «азотного хвоста».

Приведенные результаты, несомненно, показывают перспективность достаточно простого ТЕА-лазера для генерации мощных импульсов в инертных газах. Достигнутые параметры выходного излучения – 15 линий в диапазоне 1–4 мкм с пиковой мощностью ~ 10 кВт и более (для Хе 0,5 МВт), существенно расширяют спектральные возможности широко распространенных систем. Уже сейчас такие системы могут применяться при работе в диапазоне 1–4 мкм для ряда приложений, например, в лидарах.

Заключение

Таким образом, очевидной становится возможность получить одновременную генерацию в реализованной ТЕА лазерной системе в диапазонах 1–4 и 9,2–10,8 мкм за счет использования комбинированной газовой смеси, включающей небольшое количество инертных газов и молекул углекислого газа и гелия. Например, Хе:CO₂:He. В этом случае выходные параметры импульсов в диапазоне 9,2–10,8 мкм неизбежно значительно уменьшатся. Но при этом они станут сравнимыми с параметрами появившейся генерации на инертных газах в диапазоне 1–4 мкм.

Условия возбуждения позволяют использовать активную среду ТЕА CO₂-лазера, содержащую инертные газы, а применяемые материалы позволяют организовать оптический резонатор, эффективный для обоих диапазонов 1–4 мкм и 9,2–10,8 мкм. Важно также, что инертные газы не деградируют в разряде. Это позволяет получать генерацию в каждом из диапазонов без вреда для генерации в другом, при высокой частоте повторения импульсов.

Получение мощных импульсов лазерного излучения одновременно на линиях инертных газов и молекулы CO₂ в системе с самостоятельным разрядом, конструктивно похожей на типичный ТЕА CO₂-лазер, открывает большие возможности по созданию многоволнового лазера, генерирующего в нескольких сильно отличающихся спектральных диапазонах, что представляет собой весьма перспективное направление в лазерной технике.

Генерация одновременного излучения в указанных диапазонах с качеством, соответствующим газовым лазерам (высокая выходная мощность, низкая расходимость и спектрально узкие линии) позволит создать источник лазерного излучения, пригодный для применения в лидарной технике (выполнение условия «замороженной» атмосферы), а также для преобразования излучения в нелинейных кристаллах для прикладной спектроскопии.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за поддержку работы Белорусскому республиканскому фонду фундаментальных исследований – проект БРФФИ «Ф21-050» «Одновременная генерация в ТЕА лазерной системе на электронных переходах инертных газов и молекулы CO₂».

Литература

1. Басов Н. Г., Данилычев В. А.. Лазеры на сжатых и конденсированных газах. УФН. 1986. Т. 148. С. 55–96.
2. Losev V. F., Mel'chenko S. V., Tarasenko V. F., Tel'mirov E. N. Xenon laser action in discharge and e-beam excited Ar-Xe mixture. Opt.Commun. 1983. Vol. 46, № 3, 4. P. 213–216.
3. Басов Н. Г., Баранов В. В., Данилычев В. А. и др. О влиянии E_n на энергетические характеристики лазеров высокого давления с накачкой электронным пучком на смесях He-Ar, Kr, Xe. Квантовая электроника. 1986. Т. 13, № 3. С. 488-492.
4. Сорокин А. Р. Энергетические характеристики ТЕА лазеров на ArI, KrI, XeI. ЖТФ. 1979. Т. 49, № 8. С. 1673–1677.
5. Сорокин А. Р.. Механизм импульсной генерации электроразрядных ИК лазеров высокого давления на смесях He-Ar, Kr, Xe. Квантовая электроника. 1983. Т. 10. № 2. С. 308–318.
6. Do Kuan Manh, Mai The Nguyen, Kozlov B. A., Kulikov N. S., Filon D. G. TEA-CO₂ laser with a modified method of pumping. Pulsed lasers and laser applications (AMPL-2017). Tomsk. 10–15 September 2017. С. 38.
7. Petukhov V. O., Gorobets V. A. Powerful radiation on electronic IR transitions of rare gases in a simple TEA laser. Proceedings of the 2nd International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL 2005). Yalta, Crimea, Ukraine, September 12–17. 2005. P. 120–122.
8. Андреев Ю.М., Воеводин В.Г., Гейко П.П., Горобец В.А., Ланская О.Г., Петухов В.О., Солдаткин Н.П., Тихомиров А.А. Лидарные системы и их оптико-электронные элементы. Под общей редакцией чл.-кор. РАН М.В. Кабанова. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН. 2004. С. 526 с.
9. Горобец В. А., Петухов В. О., Точицкий С. Я., Чураков В. В. Перестраиваемый по линиям обычных и нетрадиционных полос ТЕ СО₂ лазер для лидарных систем. Квантовая электроника. 1995. Т. 22, № 5. С. 514–518.
10. Petukhov V., Gorobets V. CO₂ Lasing on Non-Traditional Bands. CO₂ laser – Optimisation and Application, Edited by Dan C. Dumitras, Chapter 3 , InTech, Croatia, 2012, P. 103–136.

Simultaneous generation of radiation in a TEA laser system by the use of a combined gas mixture

V.A. Gorobets, Y.V. Lebiadok, I.N. Puchkouski, S.S. Shavel

SSPA «Optics, Optoelectronics and Laser Technology»; Minsk, Belarus
e-mail: v.gorobets@ifanbel.bas-net.by

Results on obtaining in a TEA laser system simultaneous lasing with a peak output power of 10 kW or more are presented. Lasing is realized by using a gas mixture containing, in addition to gases used to generate vibrational-rotational transitions of a molecule to CO₂, also rare gases in which lasing occurs on electronic transitions.

Keywords: TEA laser, rare gases, CO₂, simultaneous lasing.