

ОДНОЧАСТОТНЫЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ТЕА-СО₂ ЛАЗЕР

В.П. Голубченко, М.З. Новгородов, Н.Н. Соболев, Л.И. Шумская

Создан и исследован одночастотный перестраиваемый в пределах одной вращательной линии импульсный ТЕА-СО₂ лазер с устойчивым резонатором. Для получения одночастотного режима генерации применена инжекция излучения в ТЕА-СО₂ лазер от непрерывного плавно перестраиваемого волноводного СО₂ лазера. Найдены минимальные плотности мощности инжектируемого излучения, требуемого для одночастотной генерации, при работе в центре вращательной линии 10Р (20) и при отстройке от центра на ± 215 МГц.

Эффективность использования газовых лазеров зависит от спектральных характеристик выходного излучения, причем в некоторых случаях (оптическая накачка лазеров дальнего инфракрасного диапазона, лазерное зондирование атмосферы и т.д.) требуются лазеры, генерирующие мощное одночастотное излучение и перестраиваемые по частоте в пределах одной вращательной линии.

Существуют различные способы достижения одночастотной генерации ТЕА-СО₂ лазера: метод внутрирезонаторной поглощающей ячейки /1/ и эталона Фабри – Перо /2/, гибридный СО₂ лазер /3/, импульсный комбинированный одночастотный лазер (ИКОЛ) /4/. Перспективным методом достижения одночастотной генерации представляется захватывание частоты ТЕА-СО₂ лазера при инжекции в него излучения от внешнего источника /5–7/. Интерес к этой проблеме обусловлен наличием расхождения в оценках требуемых минимальных плотностей мощности инжекции. В работе /8/ сообщается о плавной перестройке импульсного ТЕА-СО₂ лазера, при инжекции в него излучения от другого импульсного ТЕА-СО₂ лазера, что требовало тщательной синхронизации запусков этих лазеров и усложняло установку. Минимальная мощность инжектируемого излучения при этом не определялась.

В настоящей работе в качестве источника инжектируемого излучения применялся непрерывный перестраиваемый волноводный СО₂ лазер (СО₂ ВЛ), возбуждаемый поперечным ВЧ разрядом в керамическом капилляре из ВеО с внутренним диаметром 3 мм, описанный в работе /9/. ТЕА-СО₂ лазер, в который производилась инжекция от СО₂ ВЛ, представлял собой камеру с объемом активной среды 5×5×60 см. На торцах камеры установлены окна из NaCl под углом Брюстера. Для образования однородного импульсного разряда применялась система предионизации с помощью искровых поверхностных разрядов, расположенная под сетчатым катодом. Питание основного разряда обеспечивал двухступенчатый генератор Маркса, емкости которого величиной 0,1 мкФ заряжались до напряжения 33 кВ.

Устойчивый резонатор ТЕА-СО₂ лазера длиной 160 см был образован полностью отражающим плоским алюминиевым зеркалом, укрепленном на пьезокерамическом элементе, и выходным зеркалом с коэффициентом пропускания 10% и радиусом кривизны 10 м. Для ввода инжектируемого сигнала в ТЕА резонатор в центре глухого зеркала имелось отверстие диаметром 1,5 мм. Для работы ТЕА-СО₂ лазера в режиме основной поперечной моды ТЕМ₀₀ применялась ирисовая диафрагма Φ 8 мм. ТЕА-СО₂ лазер работал при давлении 230 торр смеси СО₂:N₂:He = 1:1:8. Энергия выходного излучения при диафрагме 8 мм была 4,5 мДж, а длительность импульса излучения по основанию около 5 мкс.

На рис. 1 показана схема экспериментальной установки. Для регистрации излучения СО₂ ВЛ применялись фотоприемники на основе Ge–Au (Д₁, Д₂). Приемник Д₁ использовался в системе автоподстройки частоты СО₂ ВЛ, а Д₂ – в системе согласования частот СО₂ ВЛ и резонатора ТЕА-лазера. Излучение ТЕА-СО₂ лазера регистрировалось приемником на основе Ge–Zn (Д₃) с полосой пропускания до 300 МГц. Импульсы излучения наблюдались и фотографировались с экрана специального осциллографа типа С9–4А с полосой пропускания около 100 МГц. Оптическая система (ОС) из двух линз служила для пространственного согласования полей излучения СО₂ ВЛ и моды ТЕА-СО₂ лазера.

Одночастотное излучение СО₂ ВЛ на линии 10Р (20), проходило через ТЕА резонатор, длина которого изменялась путем подачи пилообразного напряжения на ПКЭ и регистрировалось фотоприемником Д₂ с

помощью осциллографа С1-68. При изменении длины ТЕА резонатора были отчетливо видны максимумы и минимумы прошедшего излучения, обусловленные соответствующим изменением расстройки между частотой излучения CO_2 ВЛ и ближайшей собственной модой ТЕА резонатора. Максимумам на кривых пропускания соответствовало наилучшее совпадение частот CO_2 ВЛ и ТЕА резонатора. После переключения ПКЭ к источнику постоянного напряжения можно было выбрать любое значение рассогласования частот перед запуском импульсного ТЕА- CO_2 лазера. На рис. 2 показаны типичные осциллограммы импульсов генерации ТЕА- CO_2 лазера без инъекции (а) и при инъекции (б). В случае без инъекции на огибающей импульса присутствует высокочастотная модуляция, соответствующая биениям продольных мод, участвующих в генерации. При инъекции ВЧ модуляция исчезает, генерация идет на единственной отселектированной продольной моде. Критериями достижения режима одночастотной генерации полагались достижение отношения амплитуды ВЧ модуляции к амплитуде пика импульса генерации значения 0,01 и изменение временной задержки начала генерации относительно импульса тока разряда. При инъекции излучения от CO_2 ВЛ и при достижении одночастотной генерации эта задержка уменьшалась на величину в пределах от 100 до 300 нс.

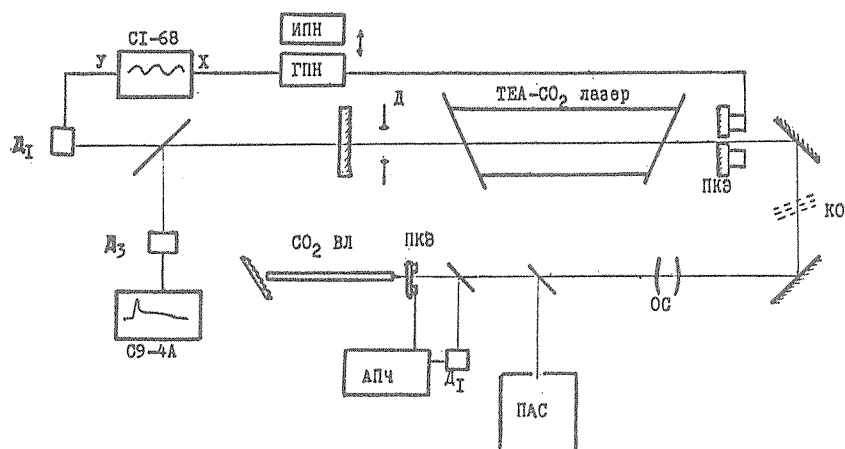


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: Д₁ – Д₃ – фотоприемники, ПКЭ – пьезокерамические элементы, ПАС – панорамный анализатор спектра, ГПН – генератор пилообразного напряжения, ИПН – источник постоянного напряжения, Д – диафрагма, ОС – оптическая система, КО – калиброванные ослабители, АПЧ – система автоподстройки частоты CO_2 ВЛ.

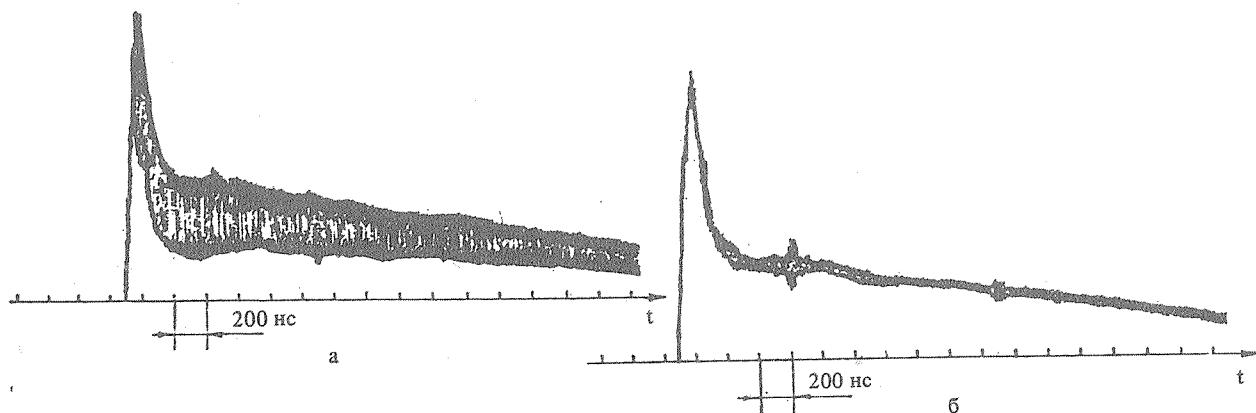


Рис. 2. Осциллограммы импульса излучения ТЕА- CO_2 лазера без инъекции (а) и с инъекцией, $I_1 = 3 \text{ мВт/см}^2$ (б).

Для определения минимальных инжектируемых мощностей применялись калиброванные ослабители излучения CO_2 ВЛ из полиэтилена. При работе CO_2 ВЛ в центре вращательной линии 10P(20) и при наилучшем согласовании с ближайшей частотой резонатора ТЕА- CO_2 лазера (ошибка в согласовании частот составляла $0,1 \Delta\nu$, где $\Delta\nu$ — межмодовый интервал ТЕА-резонатора), измеренная минимальная плотность мощности инжектируемого излучения, требуемая для достижения одночастотной генерации, составляла 3 мВт/см^2 . Коэффициент пространственного согласования инжектируемого и генерируемого полей излучения по оценкам составлял $0,1/10$, а минимальная плотность мощности инъекции $3 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/см}^2$. Это значение на 2 порядка меньше минимальной мощности инъекции, определенной экспериментально в /6, 10/, но на 2 порядка превосходит значение из /11/ и на 4 порядка расчетные величины в /6/.

При инъекции излучения CO_2 ВЛ, работающего в центре контура вращательной линии, но отстроенного по частоте от частоты резонатора ТЕА- CO_2 лазера на $0,25\Delta\nu$ и $0,5 \Delta\nu$, также была достигнута одночастотная генерация. Минимальные плотности мощности в этом случае оказались равным $0,15 \text{ Вт/см}^2$ и $0,2 \text{ Вт/см}^2$ соответственно. Следует отметить, что по данным /6/ для достижения одночастотной генерации при расстройке $0,4\Delta\nu$ необходима плотность мощности $5 \cdot 10^4 \text{ Вт/см}^2$, что намного превосходит наши экспериментальные значения.

Наиболее важным результатом настоящей работы является установление возможности одночастотной генерации ТЕА- CO_2 лазера при относительно большой отстройке его от центра контура вращательной линии. Для этого эксперименты по инъекционному захватыванию проводились при отстройке частоты излучения CO_2 ВЛ от центра вращательной линии 10P(20) на $\pm 215 \text{ МГц}$ и соблюдалось условие согласования частот CO_2 ВЛ и ТЕА- CO_2 лазера. Одночастотная генерация ТЕА- CO_2 лазера наблюдалась вплоть до плотности мощности $8,5 \text{ мВт/см}^2$, всего в 3 раза превышающей такую же величину для центра линии. Очевидно, что дальнейшее увеличение ширины области перестройки ТЕА- CO_2 лазера возможно путем увеличения рабочего давления в CO_2 ВЛ, что позволит перестраивать частоту излучения в пределах межмодового интервала (в нашем случае 600 МГц).

ЛИТЕРАТУРА

1. Nurmi kko A., De Temple T. A., Schwarz S. E. Appl. Phys. Lett., 18, № 4, 130 (1971).
2. Weiss J. A., Goldberg L. S. IEEE J. of Quant. Electron., QE-8, 757 (1972).
3. Новгородов М. З. и др. Препринт ФИАН № 17, М., 1979.
4. Новгородов М. З. и др. Препринт ФИАН № 255, М., 1981.
5. Бучек К., Фрейберг Р., Скольник М. ТИИЭР, 61, № 10, 41 (1973).
6. Lachambre J. L. et al. IEEE J. Quantum Electron., QE-12, № 12, 756 (1976).
7. Okada T. et al. Appl. Opt., 20, № 13, 2176 (1981).
8. Грасюк А. З. и др. Квантовая электроника, 9, № 11, 2348 (1982).
9. Голубченко В. П. и др. Препринт ФИАН № 217, М., 1985.
10. Баранов В. Ю. и др. Квантовая электроника, 6, № 11, 2463 (1979).
11. Oppengeim U. P., Menzies R. T., Kavaуа M. J. IEEE J. Quantum Electron., QE-18, № 9, 1332 (1982).

Поступила в редакцию 16 мая 1986 г.