

ОДНОМОДОВЫЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ТЕА  $\text{CO}_2$  ЛАЗЕР С НЕУСТОЙЧИВЫМ РЕЗОНАТОРОМ

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

*Сообщается о реализации режима генерации на частоте одной продольной моды (ОПМ) в ТЕА  $\text{CO}_2$  лазере с неустойчивым резонатором при инъекции излучения перестраиваемого непрерывного волноводного  $\text{CO}_2$  лазера. Измерены минимальные интенсивности инжектируемого излучения, необходимого для стабильной генерации ОПМ. Продемонстрирована перестройка частоты генерации ТЕА лазера в пределах диапазона перестройки источника инъекции.*

$\text{CO}_2$  лазеры с высоким давлением и поперечным возбуждением (называемые обычно ТЕА  $\text{CO}_2$  лазерами) широко применяются в областях науки и техники [1], когда требуются стабильные перестраиваемые по частоте монохроматические источники. Среди ряда способов получения генерации на частоте одной продольной моды (ОПМ) [2] на наш взгляд наиболее перспективными являются методы инъекции излучения от малогабаритного, маломощного и легко управляемого источника в основной генератор с большой мощностью излучения. При этом возникает вопрос о минимальном уровне инжектируемого управляющего сигнала, который должен поступать в основной генератор, чтобы обеспечить режим генерации ОПМ и перестройку его частоты. В работе [3] сообщается о генерации ОПМ ТЕА лазера с устойчивым резонатором при инъекции излучения непрерывного волноводного  $\text{CO}_2$  лазера (ВЛ). Настоящая работа посвящена выяснению тех же вопросов, но для ТЕА лазера с неустойчивым резонатором, который по сравнению с устойчивым резонатором позволяет достигать большей выходной мощности с одновременной селекцией поперечных мод. Строго говоря, генерация в импульсном лазере всегда идет одновременно на нескольких продольных модах, что сказывается в модуляции мощности импульса генерации. Поэтому под режимом генерации ОПМ понимают такой, при котором все продольные моды, за исключением выделенной, подавлены, и модуляция импульса генерации мала (1–2%).

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В качестве источника инжектируемого излучения использовался непрерывный перестраиваемый по частоте ВЛ [4], возбуждаемый поперечным ВЧ разрядом. Давление газовой смеси  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$  (1:1:8) было 80 торр. Мощность выходного излучения ВЛ на вращательной линии Р (20)  $00^\circ 1-10^\circ 0$  перехода составляла 150 мВт, а диапазон плавной перестройки частоты в пределах контура  $10\text{P}(20)-280$  МГц.

ТЕА  $\text{CO}_2$  лазер представлял собой камеру с объемом активной среды  $5 \times 5 \times 60$  см<sup>3</sup> и давлением 150 торр. Неустойчивый телескопический резонатор длиной 1240 мм имел коэффициент увеличения  $M = 1,45$  и был образован высокоотражающими зеркалами из дюралюминия. В центре вогнутого зеркала имелось отверстие связи диаметром 3 мм для ввода излучения ВЛ. Для точной подстройки длины резонатора вогнутое зеркало укреплялось на пьезокерамический элемент (ПКЭ). Энергия импульса выходного излучения составляла 0,3 Дж, а длительность его первого пика — 500 нс.

Для регистрации излучения использовались фотосопротивления  $D_1-D_4$  и широкополосный фотоприемник  $D_5$ . Контроль за колебательно-вращательной линией перехода, на которой идет генерация, осуществлялся панорамным анализатором спектра (ПАС). Оптическая система (ОС) из двух линз служила для пространственного согласования полей излучения ВЛ и соответствующей продольной моды ТЕА лазера.

Согласование частот ТЕА лазера и ВЛ осуществлялось следующим образом. Одночастотное излучение ВЛ на линии  $10\text{P}(20)$  проходило через пассивный ТЕА резонатор, длина которого изменялась путем подачи напряжения на ПКЭ от генератора пилообразного напряжения (ГПН), и регистрировалось  $D_2$  и осциллографом СИ-68. На кривой пропускания при изменении длины резонатора отчетливо видны максимумы и минимумы прошедшего излучения, обусловленные соответствующим изменением расстройки.

между частотами излучения ВЛ и ближайшей собственной продольной моды ТЕА резонатора. Максимумам на кривой пропускания соответствовало наилучшее совпадение этих частот с точностью  $\pm 6$  МГц.

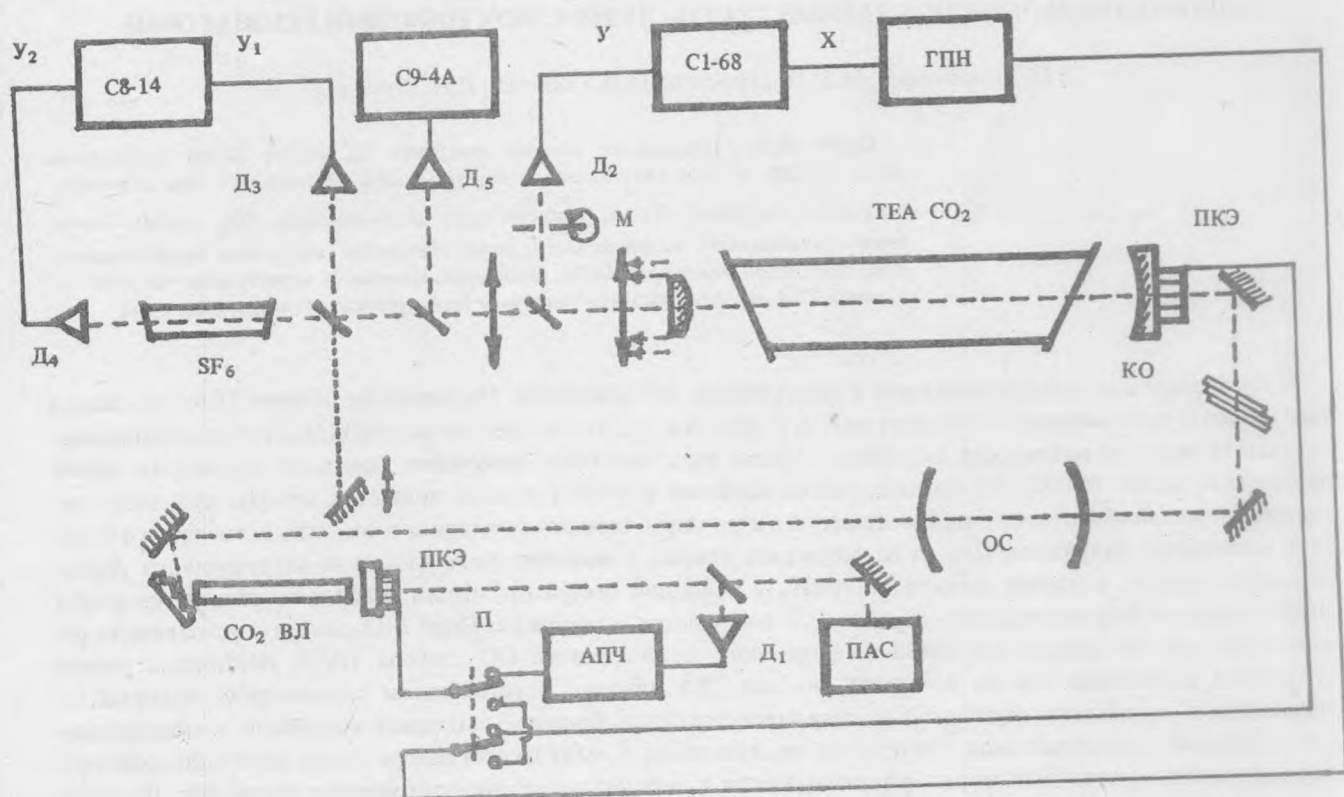


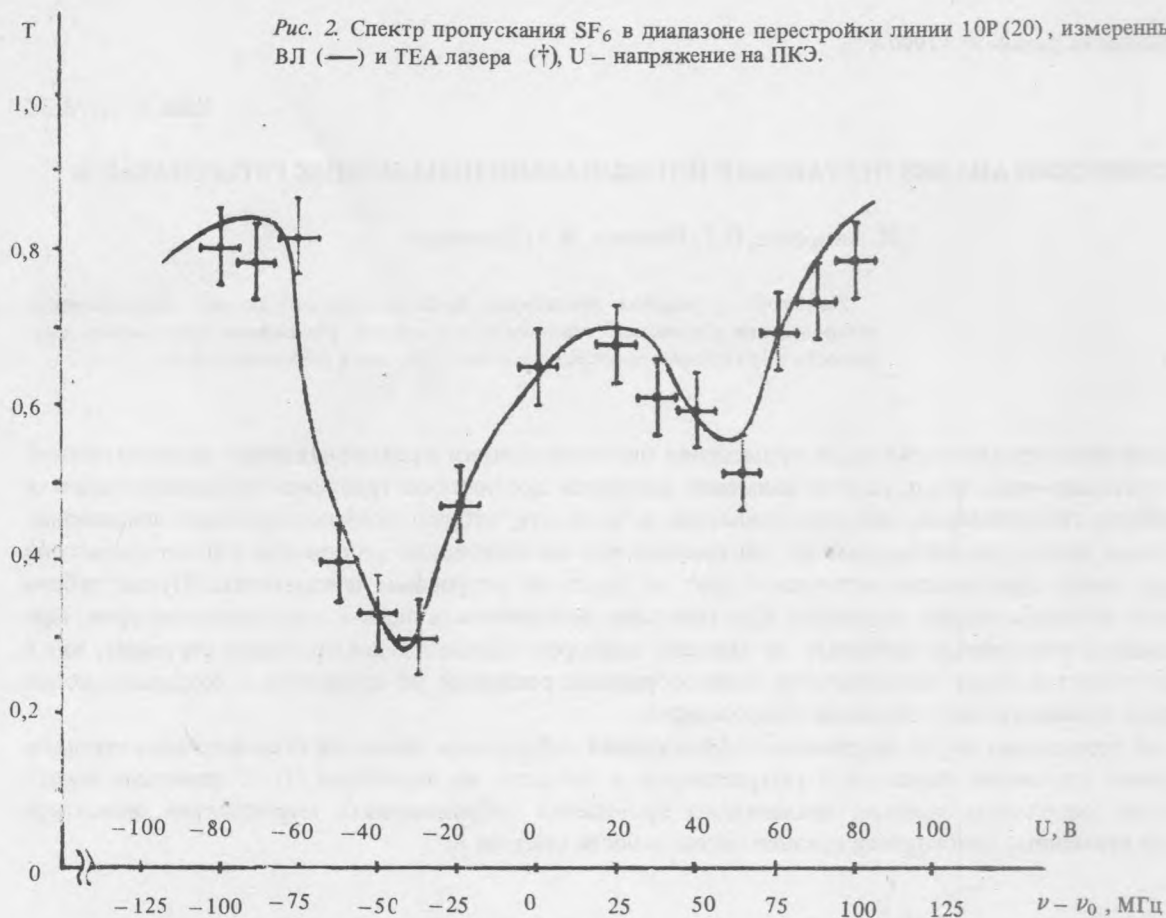
Рис. 1. Схема экспериментальной установки: Д<sub>1</sub>–Д<sub>5</sub> – детекторы, ГПН – генератор пилообразного напряжения, ПАС – панорамный анализатор спектра, ОС – оптическая система, КО – калиброванные ослабители, АПЧ – система автоматической подстройки частоты, М – модулятор, П – переключатель.

Для подтверждения перестройки частоты генерации ОПМ ТЕА лазера были проведены эксперименты по регистрации спектра пропускания газа SF<sub>6</sub>. Вначале был получен спектр пропускания SF<sub>6</sub> излучения ВЛ при сканировании частоты генерации ВЛ в пределах контура усиления линии 10P(20) (рис. 2). Излучение ВЛ направлялось в кювету длиной 55 см с SF<sub>6</sub> под давлением 0,15 торр. Мощность излучения ВЛ, падающего на кювету, не превышала 40 мВт. Затем регистрировался спектр пропускания SF<sub>6</sub> с помощью излучения ТЕА лазера в режиме генерации ОПМ на линии 10P(20). Интенсивность инжектируемого в неустойчивый резонатор излучения ВЛ составляла 140 мВт/см<sup>2</sup>, а энергия импульса ТЕА лазера, падающего на кювету, 30 мДж. Наличие генерации ОПМ контролировалось по отсутствию модуляции огибающей импульса генерации ТЕА лазера. Измерения проводились при генерации ВЛ в центре линии 10P(20) и при отстройках частоты от центра линии до  $\pm 100$  МГц. Отстройка частоты осуществлялась подачей постоянного напряжения на ПКЭ ВЛ.

На рис. 2 наряду со спектром пропускания SF<sub>6</sub>, полученным с помощью ВЛ, также приведен спектр пропускания, полученный с помощью ТЕА лазера. Из рисунка видно хорошее совпадение результатов измерений обоих спектров пропускания, что свидетельствует о перестройке частоты импульсного излучения ТЕА лазера в соответствии с изменением частоты инжектируемого непрерывного излучения.

Были также проведены измерения минимальной интенсивности излучения, требуемой для реализации режима генерации ОПМ. Под минимальной интенсивностью мы полагали уровень инжекции, при котором вероятность появления генерации ОПМ (или стабильность режима ОПМ) не меньше 90% при большом количестве импульсов генерации. Излучение ВЛ от импульса к импульсу последовательно ослабля-

Рис. 2. Спектр пропускания SF<sub>6</sub> в диапазоне перестройки линии 10P(20), измеренный с помощью ВЛ (—) и ТЕА лазера (†), U — напряжение на ПКЭ.



лось набором пленок из тефлона до тех пор, пока доля импульсов генерации ОПМ не уменьшалась до 90%. Измеренная минимальная интенсивность составила  $1,2 \cdot 10^{-3}$  Вт/см<sup>2</sup>. Так как коэффициент пространственного согласования полей инжектируемого излучения и собственной моды резонатора ТЕА лазера, определенный по формулам работы /5/, в нашем случае составил 0,15, то эффективная минимальная интенсивность инжекции  $1,8 \cdot 10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup>. Эта величина на 2, 3 порядка меньше минимальной интенсивности, определенной экспериментально рядом авторов /6, 7/, но хорошо согласуется с данными работ /3, 8, 9/.

При отстройке частоты излучения ВЛ от центра линии 10P(20) на  $\pm 100$  МГц измеренная минимальная интенсивность была  $2,7 \cdot 10^{-2}$  Вт/см<sup>2</sup>, т.е. почти в 20 раз больше значения минимального уровня в центре линии. Такое различие, по-видимому, объясняется тем, что в ТЕА лазере при давлении активной среды 0,2 атм разность между коэффициентами усиления в центре линии и при отстройке от центра на  $\pm 100$  МГц составляет 6%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kar A. K. et al. IEEE J. Quant. Electron., **QE-21**, 359 (1985).
2. Tratt D. M. et al. Prog. Quant. Electron., **10**, 229 (1985).
3. Голубченко В. П. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 9, 17 (1986).
4. Голубченко В. П. и др. Препринт ФИАН № 217, М., 1985.
5. Kedmi J. and Treves D. Appl. Opt., **20**, 2108 (1981).
6. Lachambre J. - L. et al. IEEE J. Quant. Electron., **QE-12**, 756 (1976).
7. Баранов В. Ю. и др. Квантовая электроника, **6**, 2463 (1979).
8. Oppenheim U. P. et al. IEEE J. Quant. Electron., **QE-18**, 1332 (1982).
9. McClelland G. et al. Int. J. Infrared and Millimeter Waves, **2**, 571 (1981).

Поступила в редакцию 13 апреля 1990 г.