

# ИССЛЕДОВАНИЕ САМООБРАЩЕНИЯ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ИЗЛУЧЕНИЯ $\text{CO}_2$ -ЛАЗЕРА ПРИ ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

А.А. Б е т и н, К.В. Е р г а к о в,  
О.В. М и т р о п о л ь с к и й

В работах [1, 2] было экспериментально реализовано самонакачиваемое зеркало для излучения импульсного  $\text{CO}_2$  лазера ( $\lambda = 10,6$  мкм) при четырехволновом взаимодействии в схеме в обратной связи (ЧВОС) в поглощающей жидкости ( $\text{CCl}_4$ ) и резонансном газе ( $\text{SF}_6$ ). В настоящей работе экспериментально исследована пространственная структура излучения генерации при ЧВОС. Впервые реализовано самообращение волнового фронта излучения  $\text{CO}_2$  лазера. Приводятся также результаты измерений энергетических характеристик генерации как во встречном, так и в попутном с сигнальной волной направлениях распространения.

Согласно теории [3, 4], необходимым условием генерации в схеме ЧВОС (рис. 1) волны  $E_0$ , обращенной по отношению к входному сигналу  $E_1$ , является формирование неустойчивого резонатора за счет обужения прошедшего по петле сигнального пучка  $E_3$  по сравнению с пучком  $E_1$ , причем точность ОВФ должна повышаться с ростом увеличения  $M = d_1/d_3$ , где  $d_{1,3}$  — диаметр пучка  $E_{1,3}$ . В проведенной серии экспериментов (схему экспериментальной установки см. в [2]) была исследована зависимость энергии генерации во встречном ( $W_0$ ) и попутном ( $W_0$ ) с сигналом направлениях от энергии  $W_1$  сигнальной волны  $E_1$  при различных значениях в нелинейной среде диаметра сигнального пучка, прошедшего через усилитель. Величина  $d_3$  принимала значения 2,25, 3,6, 5,25 мм по уровню 0,5 полной энергии. Диаметр входного сигнального пучка при этом оставался неизменным и составлял  $d_1 = 4,8$  мм. Во всех экспериментах генерация носила пороговый характер и развивалась с задержкой во времени относительно сигнального импульса длительностью по уровню 0,5  $t_u \approx 200$  нс. Как следует из рис. 1, пороговая энергия сигнальной волны  $E_1$ , необходимая для возбуждения генерации, почти не зависела от размера пучка  $E_3$  и составляла  $W_{\text{пор}} \approx 30 \div 50$  мДж. С одной стороны при уменьшении  $d_3$  и  $M$  раз по сравнению с  $d_1$  эффективность отражения  $\eta = \frac{|E_4(\vec{r}_1, t)|^2}{|E_2(\vec{r}_1, t)|^2}$  волны генерации  $E_2$  в волну генерации  $E_4$  от голограммы, наведенной в нелинейной среде ( $\text{CCl}_4$ ) волнами  $E_1$  и  $E_3$ , возрастает за счет увеличения плотности энергии  $\omega_3 \sim M^2$  пучка  $E_3$ , с другой — пропорционально  $M^2$  возрастают апертурные потери волны  $E_2$  при отражении от нелинейного зеркала. Так как в условиях эксперимента  $\eta \ll 1$  (для выполнения условий самовозбуждения в схеме ЧВОС использовался усилитель) и  $\eta \sim \omega_3$  [2], рост апертурных потерь в этом случае компенсирует увеличе-

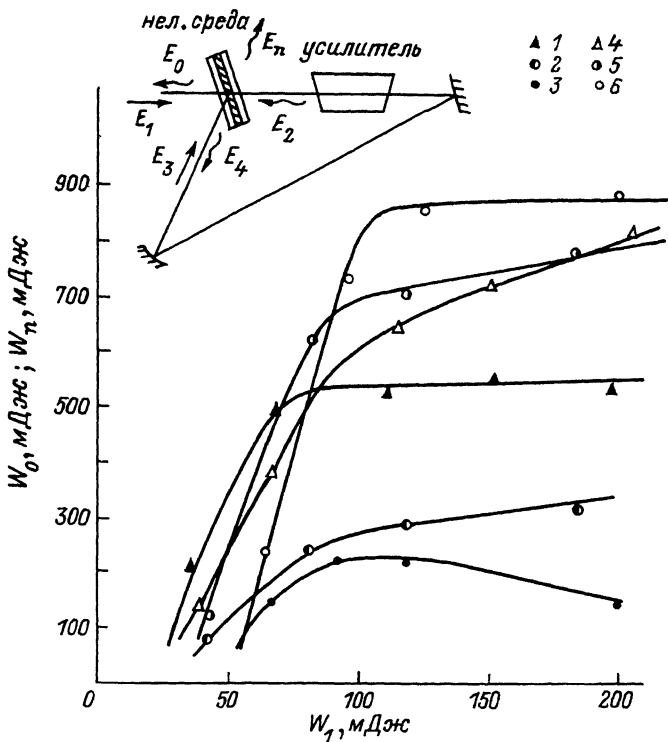


Рис. 1. Зависимость энергии выходного излучения генерации во встречном ( $W_0 - 1, 2, 3$ ) и в попутном ( $W_n - 4, 5, 6$ ) по отношению к сигналу направлениях от энергии сигнальной волны  $W_1$  при различном диаметре  $d_3$  пучка  $E_3$ : 1, 4 -  $\approx 5.25$  мм; 2, 5 -  $\approx 3.6$  мм; 3, 6 -  $\approx 2.25$  мм. Линия сигнала - R 14, линия генерации - P18. Толщина нелинейной среды  $z \approx 1.1$  мм.

ние отражательной эффективности голограммы. При превышении порога ( $W_1 > W_{пор}$ ) энергия излучения генерации как во встречном, так и в попутном с сигналом направлении вначале довольно быстро нарастала, а затем при  $W_1 \approx 80-100$  мДж входила в режим насыщения. При уменьшении диаметра пучка с 5.25 до 2.25 мм энергия отраженного излучения, соответствующая режиму насыщения генерации, падала более чем в 2 раза (с 560 до 200 мДж), в то время как энергия попутной с сигналом волны возрастала с 800 до 900 мДж, что свидетельствует о перераспределении энергии, запасенной в  $CO_2$  усилителе, между встречными волнами генерации в зависимости от условий эксперимента. Суммарная энергия выходного излучения генерации  $W_0 + W_n$  в режиме насыщения изменялась незначительно (в пределах 1.15-1.35 Дж). Различие между собой энергий встречных волн генерации может быть связано с различием в запол-

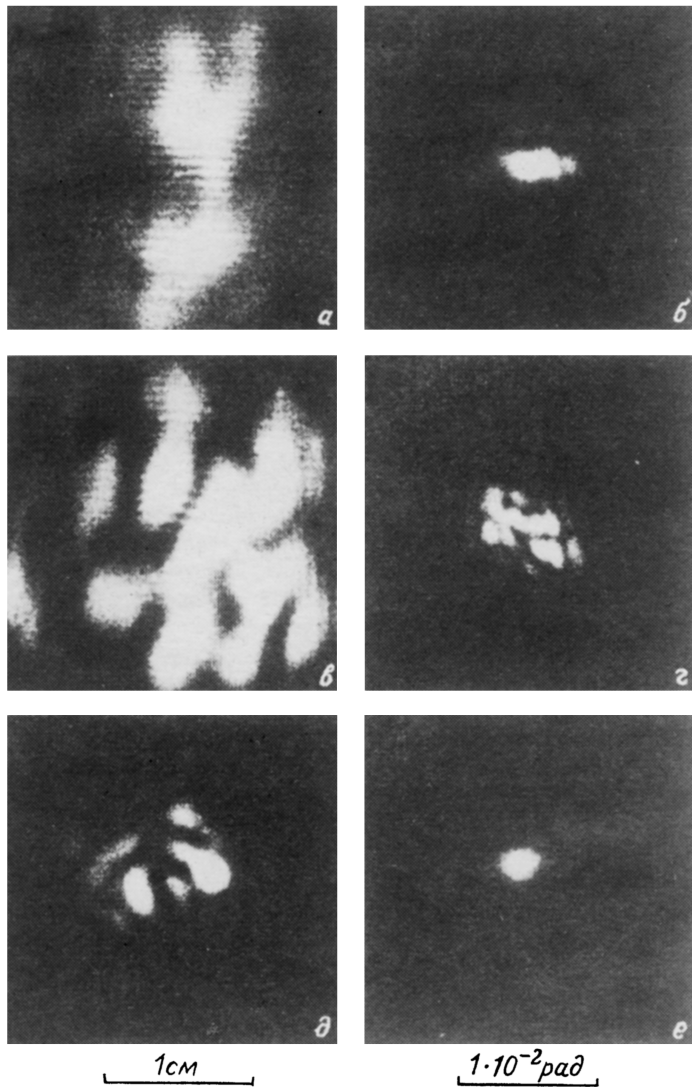


Рис. 2. Фотографии поперечного распределения интенсивности излучения генерации при ЧВОС в ближней (левый столбец) и дальней (правый столбец) зонах: отраженной волны при  $d_3 = 3.6$  мм (а, б) и  $d_3 = 2.25$  мм (в, г), попутной с сигналом волны генерации (д), отраженной волны при наличии ФП в петле обратной связи (е).

нения ими объема активной среды усилителя, которое может меняться при изменении параметров формируемого при ЧВОС кольцевого резонатора (например, как это было в эксперименте при изменении размера и кривизны щели зеркала). Кроме того, при изменении параметров резонатора может изменяться вклад в выходное излучение волн, возникающих из-за переотражений излучения генерации на непросветленных оптических элементах схемы.

Исследование пространственной структуры волн генерации проводилось методом фоторегистрации излучения [5] на выходе из нелинейной среды в ближней и дальней (в фокальной плоскости линзы  $F = 19$  см) зонах (рис. 2). В отличие от одномодового сигнального пучка отраженный пучок имел пространственно-неоднородную структуру (рис. 2, а-г). Однако устойчивость регистрируемого изображения от вспышки к вспышке, наблюдавшаяся в условиях различного превышения энергии сигнальной волны над порогом, свидетельствует о наличии мод излучения формируемого ЧВОС-резонатора. Диаметр отраженного пучка по уровню 0.5 полной энергии в 3-4 раза превышал диаметр сигнального пучка  $d_1$ , достигая  $\approx 2$  см. Расходимость отраженного излучения  $\theta_0$ , определяемая величиной угла, в пределах которого содержится половина всей энергии, также была существенно выше, чем у одномодового сигнального пучка ( $\theta_1 \approx 1.9$  мрад). Наиболее однородное пространственное распределение интенсивности отраженного излучения как в ближней, так и в дальней зоне и наименьшая расходимость отраженного пучка наблюдалась при  $d_3 \approx 3.6$  мм (рис. 2, а, б). Так, при диаметре сигнального пучка, прошедшего по петле резонатора,  $d_3 = 5.25$  мм ( $M \approx 0.9$ ), расходимость отраженного излучения составила  $\theta_0 \approx 2.8$  мрад, что в 1.5 раза превышает расходимость исходного сигнального пучка  $\theta_1$ . При  $d_3 \approx 3.6$  мм ( $M \approx 1.3$ ) величина  $\theta_0$  уменьшилась до 2.3 мрад  $\approx 1.2 \theta_1$ , а затем при  $d_3 \approx 2.25$  мм ( $M \approx 2.1$ ) снова увеличилась, достигнув максимального для данного эксперимента значения  $\theta_0 \approx 6.2$  мрад  $\approx 3.5 \theta_1$ . Причем в последнем случае отраженный пучок имел наиболее ярко выраженную пространственно-неоднородную структуру (рис. 2, в, г). Ухудшение пространственного распределения и возрастание расходимости отраженного излучения с ростом увеличения неустойчивого резонатора, наблюдавшееся в эксперименте, могло быть связано с паразитным переотражением излучения генерации на непросветленных поверхностях оптических элементов схемы. Согласно [6], это может приводить к существенному ухудшению пространственной структуры излучения генерации в неустойчивом резонаторе.

Генерация также была исследована в том случае, когда на пути волны  $E_3$  перед кюветой с  $CCl_4$  располагалась фазовая пластинка (ФП) из  $NaCl$ , вносящая расходимость  $\theta_{ФП} \approx 30$  мрад, большую по сравнению с углом видения схемы ЧВОС ( $\approx 5$  мрад) и дополнительная собирающая линза ( $F = 10$  см), фокусирующая излучение в область взаимодействия с волной  $E_1$ . При этом пороговая энергия возбуждения генерации ( $W_{пор} \approx 40$  мДж) практически не изменялась по сравнению со схемой ЧВОС без ФП. Следовательно, внесение ФП в

резонатор ЧВОС-генератора не приводит к возрастанию потерь излучения генерации, что свидетельствует об адаптивности схемы ЧВОС по отношению к фазовым неоднородностям внутри петли обратной связи. Отраженное излучение имело однородную структуру и в пределах точности измерений совпадало с распределением интенсивности сигнала. Расходимость отраженного пучка также совпадала с расходимостью сигнального излучения (рис. 2, е). Измерение диаметра пучка выходного излучения в двух плоскостях показало, что отраженная волна является сходящейся, в то время как сигнальный пучок на входе в кювету с  $CCl_4$  был расходящимся. Таким образом, использование ФП в петле обратной связи позволило получить самообращение излучения  $CO_2$  лазера при ЧВОС. С помощью ФП была осуществлена эффективная пространственная селекция необращенных по отношению к входному сигналу мод. Из-за сильной расходимости, внесенной ФП, время жизни в резонаторе возникающих за счет паразитных переотражений волн было малым; было незначительным и их влияние на обращенную по отношению к сигналу волну генерации, распространяющуюся по петле резонатора с компенсацией внесенных ФП-искажений.

Фоторегистрация распределения интенсивности волны генерации, распространяющейся в попутном с сигналом направлении, показала, что оно имеет существенно неоднородную структуру независимо от наличия ФП в петле обратной связи. Фотография типичного распределения интенсивности попутной с сигналом волны генерации приведена на рис. 2, д. Для попутной волны генерации, также как и для встречной волны, наблюдалась устойчивость пространственной структуры излучения от вспышки к вспышке, что свидетельствует о наличии модовой структуры излучения генерации и в попутном с входным сигналом направлении.

## Л и т е р а т у р а

- [1] Бетин А.А., Жуков Е.А., Митропольский О.В. - Письма в ЖФ, 1986, т. 12, в. 17, с. 1052-1056.
- [2] Бетин А.А., Митропольский О.В. - Квантовая электроника, 1987, т. 14, № 5, с. 110-1008.
- [3] Бетин А.А., Русов Н.Ю. - Изв. ВУЗов, Радиофизика, 1987, т. 30, № 5, с. 676-678.
- [4] Бельдюгин И.М., Галушкин М.Г., Золотарев М.В., Каменец Ф.Ф. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1987, т. 51, № 2, с. 358-361.
- [5] Ковалев В.И., Лесив А.Р., Файзуллов Ф.С., Федоров В.Б. - ПТЭ, 1983, № 1, с. 149-151.
- [6] Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. М.: Наука, 1979. 328 с.

Институт прикладной  
физики АН СССР,  
Горький

Поступило в Редакцию  
21 марта 1988 г.