

## САМОСИНХРОНИЗАЦИЯ И ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ МОД СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА С ПОПЕРЕЧНЫМИ РАЗРЯДОМ И ПРОКАЧКОЙ

В. С. Аракелян, Н. В. Карлов, Г. П. Кузьмин,  
А. М. Прохоров

В этом сообщении изложены результаты эксперимента по самосинхронизации и принудительной синхронизации поперечных мод в СО<sub>2</sub>-лазере с поперечными разрядом и прокачкой, работающем в импульсном режиме. При синхронизации поперечных мод получено сканирование луча в угле  $6 \cdot 10^{-2}$  радиан.

В СО<sub>2</sub>-лазере, работающем в непрерывном режиме с продольным разрядом, при наличии в резонаторе кюветы с просветляющимся фильтром ВСl<sub>3</sub> устойчивая синхронизация поперечных мод наблюдалась нами ранее /1/. В отсутствие просветляющегося фильтра наблюдалась кратковременная и неустойчивая самосинхронизация поперечных мод. В лазерах с продольными прокачкой и разрядом усиление относительно невелико и падает с увеличением диаметра разрядной трубы. Ввиду этого применялись разрядные трубы малого диаметра и большой длины, что накладывает ограничение на число поперечных мод, участвующих в генерации, а значит, и на угол сканирования при синхронизации поперечных мод.

Нашей задачей являлось увеличение угла сканирования луча и исследование с этой целью возможностей синхронизации поперечных мод в лазере с поперечными разрядом и прокачкой. В таком лазере имеется возможность изменять давление рабочей смеси в широких пределах, увеличивая его вплоть до атмосферно-

го. Это дает возможность в значительных пределах изменять ширину линии усиления, что важно в экспериментах по синхронизации мод. Действительно, существенное увеличение давления позволило получить биение двух продольных мод в резонаторе длиной 1,6 м (период биений 11 нсек) /2/ и принудительную синхронизацию продольных мод в резонаторе длиной 3,6 м. /3/.

Вместе с тем, ввиду большого усиления в лазере с поперечными прокачкой и разрядом возможно применение разрядных труб большого диаметра при малой длине активной среды, что приводит к возрастанию числа поперечных мод, участвующих в генерации.

При синхронизации с ростом числа поперечных мод возрастает угол сканирования. Действительно, в предположении жесткой фазовой связи амплитуда суммарного поля  $m$  мод может быть записана в виде

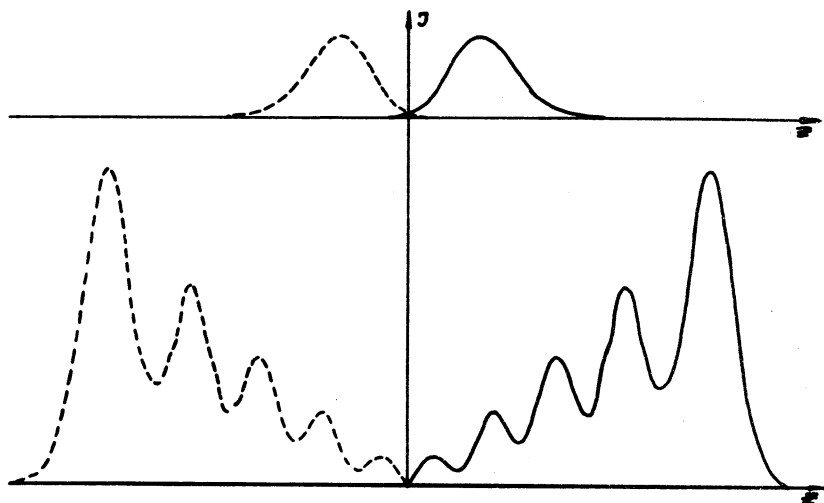
$$A(z, t) = \sum_0^m \left( \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{w_2^m m!} \right)^{1/2} H_m(z\sqrt{2}) \exp(-z^2) \cos m \Omega t, \quad (1)$$

где  $H_m(z\sqrt{2})$  - полином Эрмита,  $\Omega$  - частота межмодовых биений,  $z$  - безразмерная координата, нормированная на размер пятна основной моды  $w$ .

Распределение интенсивности поля излучения для  $m = 3$  и  $m = 19$  при  $\Omega t = 0$  и  $\Omega t = \pi$ , вычисленное на ЦВМ "Мир-1", приведено на рис. 1. Рис. 2 показывает зависимость максимального отклонения лазерного луча от числа синхронизированных мод.

В эксперименте использован лазер, подобный описанному нами ранее /4/, выполненный в виде стеклянного цилиндра диаметром 6 см, длиной 88 см с 51 латунным патрубком для напуска газа, расположенными на одной линии вдоль образующей цилиндра и служащими отдельными анодами. Откачка производится через 7 отверстий на противоположной стороне цилиндра. Общим катодом служит латунный шестигранник со стороной 0,8 см и длиной 80 см, расположенный над отверстиями откачки. Рабочий объем герметизирован

пластинами из NaCl, расположенными под углом Брюстера. Выходным зеркалом двухметрового резонатора служит плоскопараллельная пластина германия. Питание лазера обеспечивается разрядом конденсатора через тиратрон. При давлении рабочей смеси 100 тор

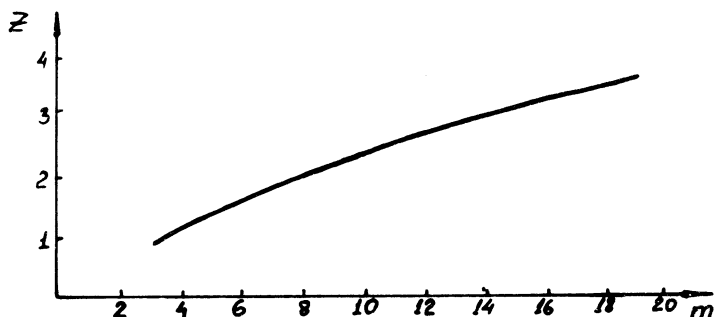


Р и с. 1. Распределение интенсивности поля излучения при  $m = 3$  (вверху) и  $m = 19$  (внизу) для  $\Omega t = 0$  (сплошная линия) и  $\Omega t = \pi$  (пунктир).

и применении модуляции добротности лазер излучал импульсы длительностью 0,5 мксек и мощностью 100 квт.

Активная среда лазера с поперечным разрядом представляет собой слоистую структуру с отрицательным коэффициентом поглощения в области разряда и положительным в остальных частях. Наличие чередующихся усиливающих и поглощающих слоев в резонаторе может приводить к самым разнообразным динамическим режимам, в том числе и к модуляции добротности и самосинхронизации мод /5/. Слоистая структура в лазере может привести и к самосинхронизации поперечных мод.

Синхронизация поперечных мод  $\text{CO}_2$ -лазера производилась при давлениях рабочей смеси 20–40 тор. Этот диапазон давлений был выбран из следующих соображений. При давлении смеси 20–40 тор ширина линии усиления приблизительно равна 90–180 Мгц. Этого достаточно для генерации большого числа поперечных мод.



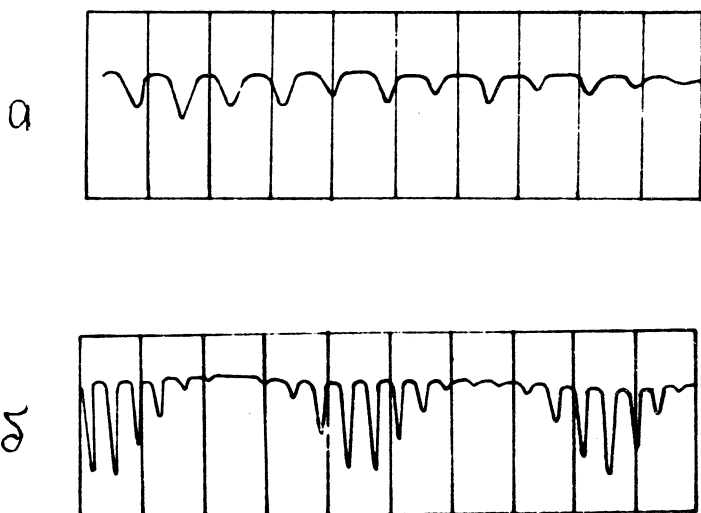
Р и с. 2. Зависимость максимального отклонения от числа мод.

С другой стороны, при длине лазерного интерферометра около двух метров в линию усиления попадает одна или две продольные моды. Поэтому в синхронизации участвуют поперечные моды, имеющие один и тот же продольный индекс, и явления, связанные с одновременной синхронизацией продольных и поперечных мод, отсутствуют.

В резонаторе лазера использовалось устройство, эквивалентное зеркалу с любым радиусом кривизны, использованное нами ранее для синхронизации продольных мод  $\text{CO}_2$ -лазера [6]. Вблизи выходного германиевого зеркала расположена диафрагма с размером щели 4 мм, выделяющая моды  $\text{TEM}_{\text{шоq}}$ . При подстройке зеркал наблюдалась устойчивая самосинхронизация поперечных мод.

Измерение радиуса кривизны эквивалентного зеркала меняет число поперечных мод, попадающих в линию усиления. С увеличением их числа частота межмодовых

биений уменьшается, а угол сканирования возрастает. При частоте сканирования 4 Мгц достигнут угол сканирования  $6 \cdot 10^{-2}$  рад. Эти экспериментальные результаты хорошо соответствуют результатам вычислений, приведенным на рис. 1 и 2.



Р и с. 3. а) Самосинхронизация поперечных мод; временной масштаб 1 см = 75 нсек, б) Принудительная синхронизация; временной масштаб 1 см = 500 нсек.

Для иллюстрации на рис. 3а приведена осциллограмма последовательности импульсов на краю апертуры выходного луча при частоте сканирования 16 Мгц.

Кроме самосинхронизации представляет интерес также и принудительная синхронизация поперечных мод в  $\text{CO}_2$ -лазере с поперечным разрядом и прокачкой. Мы осуществили принудительную синхронизацию поперечных мод зеркалом, вращающимся вблизи фокуса сферического зеркала. При вращении зеркала происходит свипирование частоты генерации по линии усиления, причем скорость свипирования определяется линейной скоростью

зеркала. При каждом прохождении очередной продольной моды по линии усиления возникает пуг импульсов, обусловленных синхронизацией поперечных мод, имеющих один и тот же продольный индекс. На рис. 36 представлена осциллограмма такого пуга импульсов при скорости 250 см/сек. Граничная частота вращения зеркала, при которой еще наблюдается устойчивая синхронизация поперечных мод, позволяет по формуле

$$\Delta\Omega = Vc/\lambda L\Delta\omega_{\text{л}} \quad (2)$$

оценить величину уширения поперечной моды. Здесь  $V$  – линейная скорость зеркала,  $c$  – скорость света,  $\lambda$  – длина волны излучения,  $L$  – длина резонатора,  $\Delta\omega_{\text{л}}$  – ширина линии усиления. Для ширины линии усиления 120 Мгц и длины резонатора 2 м было получено  $\Delta\Omega = 2,3 \cdot 10^5$  гц. Интересно отметить, что уширение поперечной моды в лазере с поперечными разрядом и прокачкой превышает величину уширения, определенную для продольных мод при резонаторе длиной 17 м в лазере с продольными разрядом и прокачкой  $\Delta\Omega = 2,7 \cdot 10^4$  гц /6/.

Проведенные эксперименты показывают, что наличие слоистой среды в лазере с поперечными разрядом и прокачкой приводит к устойчивой самосинхронизации поперечных мод, а применение вращающегося зеркала является удобным методом принудительной синхронизации продольных и поперечных мод  $\text{CO}_2$ -лазера. В лазерах с поперечными прокачкой и разрядом скоростное сканирование лазерного луча может происходить в больших угловых апертурах.

Поступила в редакцию  
10 февраля 1971 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. В. С. Аракелян, Н. В. Карлов, А. М. Прохоров. Письма ЖЭТФ, 10, 279 (1969).

2. D. L. Lyon, E. V. George, H. A. Haus, APL, 17, 474 (1970).
3. R. L. Abrams, O. R. Wood, T. J. Bridges, APL 17, 376 (1970).
4. Е. К. Карлова, Н. В. Карлов, Г. П. Кузьмин. Краткие сообщения по физике (ФИАН), № 11, 51 (1970).
5. В. С. Летохов. Письма ЖЭТФ, 4, 19 (1966).
6. В. С. Аракелян, Н. В. Карлов. Краткие сообщения по физике (ФИАН), № 6, 21 (1970).