

## Субмиллиметровый $\text{CH}_3\text{OH}$ -лазер с мощной оптической накачкой: новые линии генерации

Г.Н.Грачев, И.В.Зайковский, В.Ф.Захарьяш, В.М.Клементьев

*Получены пять новых линий генерации на молекуле  $\text{CH}_3\text{OH}$  в диапазоне длин волн 70–140 мкм при мощной оптической накачке субмиллиметрового лазера периодическими (500 Гц) квазистационарными (70 мкс) импульсами излучения  $\text{CO}_2$ -лазера. Измерены длины волн с погрешностью не более 0.5%, пороговые мощности накачки и оптимальное давление. Установлено отсутствие насыщения при мощностях накачки 1000–3000 Вт.*

**Ключевые слова:** субмиллиметровый лазер, мощная оптическая накачка, многофункциональный  $\text{CO}_2$ -лазер.

В течение всего периода исследований в области оптической накачки субмиллиметровых (СММ) лазеров одним из основных направлений является поиск новых линий генерации в активных средах на основе большого числа известных веществ, используемых в СММ лазерах с оптической накачкой [1]. В работах, посвященных решению этой задачи, применяются, главным образом, следующие методы: использование помимо основных молекул их изотопозамещенных модификаций [2, 3]; расширение диапазона частот излучения накачки [2–5]; усовершенствование конструкции СММ резонатора [6, 7], повышение мощности накачки (с использованием импульсного режима) [8–10], что делает возможным наблюдение более слабых линий либо линий генерации какого-либо конкретного спектрального диапазона.

Следует отметить, что в этих исследованиях, как правило, используется оптическая накачка в непрерывном режиме с мощностью до 40 Вт либо в импульсном режиме с длительностью импульсов порядка 100 мкс и максимальной мощностью в импульсе до 100 Вт.

Цель настоящей работы – изучение эффектов, происходящих при оптической накачке молекул мощным лазерным излучением. Основное внимание было уделено поиску новых линий генерации в СММ диапазоне длин волн. В качестве активных сред были выбраны фреон ( $\text{CH}_2\text{F}_2$ ) и метанол ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). В ходе многочисленных исследований СММ лазеров с оптической накачкой на данных средах была выявлена их особая эффективность. Это обусловлено хорошим совпадением полос поглощения молекул указанных веществ и частотного диапазона генерации  $\text{CO}_2$ -лазера, а также значительным дипольным моментом молекулы и богатым колебательно-вращательным энергетическим спектром [11, 12]. На основе полученных ранее разными исследователями результатов [11–14] для молекул  $\text{CH}_3\text{OH}$  и  $\text{CH}_2\text{F}_2$  был выбран импульсно-периодический режим накачки. При

этом мощность накачки в импульсе была увеличена до нескольких киловатт.

В схеме экспериментальной установки, описанной в нашей предыдущей работе [15], была существенно изменена конструкция СММ лазера 1 (рис.1). Использовался СММ лазер с резонатором открытого типа. Резонатор длиной 1 м состоял из двух металлических зеркал диаметром 40 мм с золотым покрытием. Входное зеркало – плоское с отверстием связи диаметром 4 мм, выходное зеркало – сферическое ( $R = 2.36$  м) с отверстием диаметром 3 мм для вывода СММ излучения. В центральной части зеркала была установлена кремниевая пластинка толщиной 0.4 мм с покрытием, имеющим высокий коэффициент отражения для излучения накачки и не вносящим значительных потерь для излучения СММ диапазона. Таким образом уменьшались потери излучения накачки и обеспечивалась защита выходного окна СММ лазера из кристаллического кварца. В конструкцию лазера входила система сканирования длины резонатора 13 для автоматизации процесса вычисления длины волны.

Для накачки использовался многофункциональный  $\text{CO}_2$ -лазер [16], генерирующий до 70 линий в полосах 9.4 и 10.4 мкм с возможностью отстройки частоты от центра линии в области 8 МГц. Лазер работал в импульсно-пе-

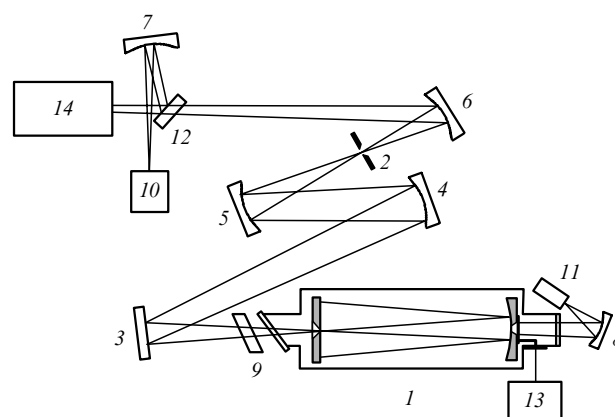


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 – субмиллиметровый лазер; 2 – диафрагма; 3–8 – зеркала; 9 – ослабитель; 10 – ИК детектор; 11 – СММ детектор; 12 – отражающий клин; 13 – система сканирования длины резонатора; 14 –  $\text{CO}_2$ -лазер.

Г.Н.Грачев, И.В.Зайковский, В.Ф.Захарьяш, В.М.Клементьев. Институт лазерной физики СО РАН, Россия, 630090 Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 13/3; web-site: http://www.laser.nsc.ru

Поступила в редакцию 23 октября 2003 г., после доработки – 12 февраля 2004 г.

Табл.1. Линии генерации, полученные на молекуле CH<sub>3</sub>OH.

Линия накачки CO <sub>2</sub> -лазера	Мощность накачки (Вт)	Длина волны СММ генерации (мкм)	Мощность СММ генерации (мВт)	Оптимальное давление (мТор)	Пороговая мощность накачки (Вт)
9P(10)	900	77.3 ± 0.3	1.44	500	650
9R(30)	1440	137.4 ± 0.07	0.31	310	500
10P(30)	2760	118.3 ± 0.2	1.45	500	800
10R(8)	1800	97.4 ± 0.2	0.12	420	650
10R(14)	3300	80.1 ± 0.2	0.23	330	1600

риодическом режиме с длительностью импульсов порядка 70 мкс и частотой повторения 500 Гц. Максимальная средняя по времени мощность накачки ограничивалась лучевой стойкостью отражающей кремниевой пластинки в выходном зеркале и составляла около 120 Вт. Таким образом достигалась средняя в импульсе мощность свыше 3 кВт.

Дополнительные изменения были внесены в систему оптической накачки для получения более однородного распределения интенсивности излучения накачки по объему СММ резонатора и предотвращения нежелательных эффектов самовозбуждения CO<sub>2</sub>-лазера, связанных с обратным отражением излучения накачки от выходного зеркала СММ лазера. Выходное излучение CO<sub>2</sub>-лазера накачки проходило через систему пространственной фильтрации 6, 2, 5, которая преобразовывала его пучок в пучок, близкий к гауссову, и многократно ослабляла интенсивность излучения накачки, идущего в обратном направлении по оптическому тракту. Далее излучение накачки фокусировалось в отверстие связи во входном зеркале СММ резонатора системой с фокусным расстоянием  $F = 1.2$  м.

Излучение СММ лазера после фокусировки сферическим зеркалом  $\delta$  с  $R = 30$  мм регистрировалось пироэлектрическим приемником 11. Приемник был предварительно откалиброван в области длин волн до 200 мкм, что позволяло определять абсолютное значение мощности генерации. В процессе поиска новых линий последовательно проверялись все линии генерации CO<sub>2</sub>-лазера при накачке активной среды при трех давлениях (70, 200 и 350 мТор).

Для определения длины волны наблюдаемого СММ излучения использовалась методика сканирования длины резонатора [17]. Перемещением выходного зеркала СММ лазера длина резонатора плавно менялась в пределах 15 мм. При каждом изменении длины на целое число полуволн наблюдался максимум мощности генерации, соответствующий последовательной смене продольных мод резонатора. Показания СММ детектора одновременно с перемещением выходного зеркала регистрировались при помощи записывающего устройства. Длина волны вычислялась по формуле  $\lambda = 2\Delta L/N$ , где  $\Delta L$  – изменение длины резонатора, соответствующее смене  $N$  продольных мод. Погрешность определенной таким методом длины волны составляла не более 0.5%. Для молекулы CH<sub>3</sub>OH были получены пять новых линий генерации в коротковолновой СММ области спектра, для молекулы CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> новых линий не наблюдалось.

В настоящей работе в качестве активной среды использовался CH<sub>3</sub>OH со степенью чистоты 99.9%, однако у нас не было сведений о его изотопном составе. По этой причине все наблюдаемые линии генерации сверялись с результатами, ранее полученными для всех существующих

линий генерации соответствовали рабочей молекулы [18]. Все линии генерации соответствовали молекуле <sup>12</sup>CH<sub>3</sub><sup>16</sup>OH.

В табл.1 представлены параметры линий СММ генерации на молекуле CH<sub>3</sub>OH и соответствующих линий накачки, указана мощность СММ излучения, оптимальное давление CH<sub>3</sub>OH и соответствующая мощность накачки. Поляризация излучения на выходе СММ лазера не регистрировалась.

С увеличением мощности накачки наблюдался линейный рост мощности генерации на всех новых линиях. Все линии имеют пороги генерации 600–1500 Вт (табл.1). Получение новых линий генерации связано, по-видимому, именно с высокой пороговой мощностью. Известно [19], что при мощной оптической накачке в полях высокой интенсивности может происходить сдвиг энергетических уровней, отвечающих за СММ генерацию (полевой сдвиг). Следствием этого может быть перекрытие линий накачки и полосы поглощения активной среды, приводящее к возникновению лазерных переходов. Поскольку полевой сдвиг при оптической накачке СММ лазеров должным образом еще не изучен, то в дальнейшем планируется проведение исследований в этом направлении, что необходимо для определения энергетических уровней, участвующих в излучательных переходах при СММ генерации на линиях с высокой пороговой мощностью.

На всех новых линиях были получены относительно малые мощности генерации (0.12–1.45 мВт). Это объясняется тем, что в настоящей работе использовался неоптимизированный высокодобротный резонатор. Для увеличения мощности генерации требуется подбор оптимальных параметров резонатора для каждой линии генерации.

Таким образом, в установке с мощной оптической накачкой было обнаружено пять новых линий для молекулы CH<sub>3</sub>OH, для каждой линии измерена длина волны с погрешностью не более 0.5%, оптимальное давление и пороговая мощность генерации. Для всех линий характерно отсутствие насыщения при мощностях накачки 1000–3000 Вт.

Полученные результаты указывают на эффективность применения мощной оптической накачки в СММ лазерах, что может быть использовано при поиске новых линий генерации как на хорошо известных, так и еще недостаточно изученных молекулах. При более детальном исследовании полученные данные также могут быть полезны в спектроскопии молекул.

Работа проводилась при поддержке РФФИ (грант № 01-02-16922).

1. Douglas N.G. *Millimeter and Submillimeter Wavelength Lasers* (Berlin: Springer-Verlag, 1989).
2. Vasconcellos E.C.C., Allen M.D., Zink L.R., Evenson K.M. *Int. J.*

- Infrared Millimeter Waves*, **21**, 725 (2000).
3. Telles E.M., Zink L.R., Evenson K.M. *Int. J. Infrared Millimeter Waves*, **20**, 1631 (1999).
  4. Vasconcellos E.C.C., Zerbetto S.C., Zink L.R., Evenson K.M. *Int. J. Infrared Millimeter Waves*, **21**, 731 (2000).
  5. Telles E.M., Zink L.R., Evenson K.M. *Int. J. Infrared Millimeter Waves*, **20**, 741 (1999).
  6. Evenson K.M., Sanford Q., Smith C., Sullivan J., Sutton D., Vershure E., Jackson M. *Appl. Phys. B*, **74**, 613 (2002).
  7. Jackson M., Telles E.M., Allen M.D., Evenson K.M. *Appl. Phys. B*, **72**, 815 (2001).
  8. Moretti A., Bertolini A., Garelli G., Manizzi M., Moraes J.C.S. *IEEE J. Quantum Electron.*, **37**, 489 (2001).
  9. Viscovini R.C., Scalabrin A., Pereira D. *IEEE J. Quantum Electron.*, **33**, 916 (1997).
  10. Telles E.M., Moraes J.C.S., Scalabrin A., Pereira D., Moretti A., Strumia F. *Appl. Phys. B*, **52**, 36 (1991).
  11. Hu L.H., Lees R.M., Vasconcellos E.C.C., Zerbetto C., Zink R.L., Evenson K.M. *IEEE J. Quantum Electron.*, **32**, 392 (1996).
  12. Danielewicz E.J. In: *Reviews of Infrared Millimeter Waves*. Ed. by K.J.Button, M.Inguscio, F.Strumia (New York: Plenum Press, 1984, v. 2, p. 223).
  13. Moruzzi G., Moraes J.C.S., Strumia F. *Int. J. Infrared Millimeter Waves*, **13**, 1269 (1992).
  14. Telles E.M., Odashima H., Zink R.L., Evenson K.M. *J. Molec. Spectr.*, **195**, 360 (1999).
  15. Грачев Г.Н., Зайковский И.В., Захарьяш В.Ф., Клементьев В.М., Смирнов А.Л. *Квантовая электроника*, **32**, 460 (2002)..
  16. Grachev G.N., Ponomarenko A.G., Smirnov A.L., Shulyat'ev V.B. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **185**, 4165 (2000).
  17. Douglas N.G. *Millimeter and Submillimeter Wavelength Lasers* (Berlin: Springer-Verlag, 1989, p. 17).
  18. Massa C.A., Moraes J.C.S., Moretti A., Pereira D., Scalabrin A., Strumia F., Telles E.M. *Int. J. Infrared Millimeter Waves*, **15**, 1 (1994).
  19. Григорьянц В.В., Жаботинский М.Е., Золин В.Ф. *Квантовые стандарты частоты* (М.: Наука, 1968, с. 288).