

Особенности генерации субмиллиметрового лазера при мощной оптической накачке

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

Экспериментально исследована генерация субмиллиметрового (СММ) лазера при мощной (до ~ 1 кВт) оптической накачке излучением CO_2 -лазера. Наблюдался эффект насыщения в генерации на молекуле CH_2F_2 , достигаемый при мощности накачки ~ 350 Вт. Зарегистрирован эффект запаздывания генерации СММ излучения в зависимости от давления газа в активной среде и интенсивности накачки. Экспериментально продемонстрирована возможность быстрой (примерно за 1 мс) перестройки спектра генерации СММ лазера при сканировании спектра излучения CO_2 -лазера.

Ключевые слова: субмиллиметровый лазер, оптическая накачка, эффект насыщения, эффект запаздывания, CO_2 -лазер.

Одной из важнейших задач при освоении СММ диапазона является поиск новых линий [1], на которых достигается сравнительно интенсивная генерация. К этой задаче примыкает другая, связанная с разработкой методов повышения мощности СММ генерации; наиболее очевидным способом является её увеличение за счёт повышения мощности оптической накачки.

Следует отметить, что в экспериментах при мощности накачки до 30 Вт эффект насыщения в мощности СММ излучения не достигался [2], поэтому неясно, какие СММ мощности можно получить при повышении мощности накачки. Важным эффектом с точки зрения применения СММ излучения для создания спектрометрических систем является перестройка СММ частоты при изменении частоты и амплитуды поля накачки.

В настоящей работе сообщаются результаты экспериментальных исследований СММ лазеров на молекулах CH_2F_2 и CH_3OH с накачкой CO_2 -лазером при различных режимах работы последнего.

Для накачки СММ лазера использовался быстроперестраиваемый CO_2 -лазер мощностью 2.5 кВт [3, 4], резонатор которого обеспечивал высокое качество пучка ($M^2 = 1.7$). Конструкция CO_2 -лазера позволяла получить следующие режимы генерации:

- непрерывный или квазинепрерывный одночастотный режим с максимальной мощностью 2.5 кВт и быстрой перестройкой в пределах спектра генерации (всего около 70 линий в полосах 9.4 и 10.4 мкм);
- импульсно-периодический режим модулированной добротности на любой спектральной линии с возможностью управления частотой следования (до 20 кГц), длительностью (от 5 мкс), формой и мощностью (до 100 кВт) лазерных импульсов;
- режим одновременной непрерывной или импульс-

но-периодической двухволновой генерации не на соседних спектральных линиях (в том числе на линиях из разных ветвей и полос спектра, всего около 1000 комбинаций) с близким к полному перекрытием пучков излучения в ближней и дальней зонах.

Вместе с тем из-за особенностей оптической схемы и высокого усиления лазер имел низкий порог самовозбуждения, обусловленный обратным отражением от элементов внешних оптических систем. Это обстоятельство вынуждало нас использовать для накачки только часть мощности излучения ($\sim 5\%$). Необходимо было также учитывать тот факт, что пороговая непрерывная мощность разрушения выходного зеркала СММ лазера [5] составляла менее 150 Вт, что соответствовало не более 6 % мощности CO_2 -лазера в непрерывном режиме.

Для расширения диапазона мощностей накачки нами был использован импульсно-периодический режим модулированной добротности, что позволяло при малых средних мощностях накачки работать при импульсных мощностях до 1000 Вт. В частности, в экспериментах по быстрой перестройке спектра излучения СММ лазера использовались короткие (менее 5 мкс) импульсы накачки, а при исследовании эффектов насыщения и запаздывания – импульсы накачки длительностью 140 мкс и скважностью 100, что позволяло исследовать СММ генерацию в квазистационарном режиме и поддерживать температуру активной среды СММ лазера (перед импульсом накачки) на уровне ~ 300 К.

Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис.1. Излучение CO_2 -лазера, пройдя через два оптических клина 12 и 13, падает на измеритель мощности 1. Отраженная от клина малая (4 %) доля мощности пучка направляется на вогнутое сферическое зеркало 9 с радиусом кривизны 9.8 м и далее через две юстировочные диафрагмы 15, 16 – в оптическую систему измерения спектрально-временных характеристик излучения, которая состоит из эшелетта 6, вогнутого зеркала 11 (радиус 1 м) и плоского зеркала 5. Система эшелетт – вогнутое зеркало формирует на поверхности плоского зеркала линейку перетяжек спектральных линий излучения CO_2 -лазера и

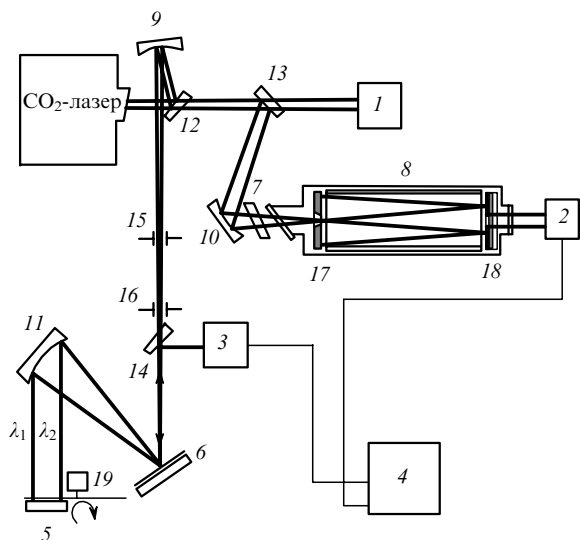


Рис.1. Схема экспериментальной установки:
 1 – измеритель мощности; 2 – диод Шоттки; 3 – ИК детектор; 4 – осциллограф; 6 – эшелетт; 7 – ослабитель; 8 – субмиллиметровый лазер; 9, 10 – зеркала; 11 – делительные клинья; 12, 13 – делительные клинья; 14 – настраиваемые диафрагмы; 15, 16 – настраиваемые диафрагмы; 17, 18 – зеркала СММ резонатора; 19 – прерыватель.

обеспечивает линейную дисперсию, достаточную для их разрешения и идентификации.

Отраженное плоским зеркалом 5 под малым углом относительно падающего пучка излучение направляется делительной пластинкой на ИК фотодетектор 3. Второй клин 13 отражает 6% мощности пучка на вогнутое сферическое зеркало 10, которое фокусирует излучение накачки на отверстие входного зеркала резонатора СММ лазера 8. СММ излучение направляется на быстродействующий диод на барьере Шоттки (ДБШ) 2 с постоянной времени 10^{-12} с. С ИК фотодетектора и ДБШ сигналы поступают на двухлучевой осциллограф 4. Сигнал ИК фотодетектора позволяет контролировать и устанавливать тот или иной режим работы CO_2 -лазера, а ДБШ – наблюдать быстропротекающие процессы при оптической накачке, проявляющиеся в СММ излучении.

Резонатор СММ лазера состоит из двух плоских зеркал 17, 18, расположенных на торцах кварцевого волновода длиной 1 м с внутренним диаметром 24 мм. Зеркало 17 – медное с золотым покрытием и отверстием для ввода излучения накачки диаметром 4 мм. Диэлектрическое комбинированное зеркало 18 с золотым покрытием имеет в центре участок для вывода СММ излучения диаметром 6 мм. Излучение пучка накачки фокусировалось вогнутым зеркалом 10 (радиус кривизны 6 м) таким образом, что на зеркале 18 диаметр пучка составлял около 12 мм, т. е. фактически без потерь излучение накачки три раза проходило через резонатор СММ лазера.

Перейдем к результатам экспериментов. На рис.2,*а* приведена осциллограмма, на которой видны линии генерации CO_2 -лазера (верхняя осциллограмма) и соответствующие линии генерации в СММ области, в данном случае – на молекуле CH_2F_2 . Аналогичные осциллограммы были получены на молекуле CH_3OH .

Процессы возбуждения и релаксации происходят за времена менее 10^{-6} с. Для исследования временных процессов нами был выбран импульсно-периодический режим генерации с длительностью импульсов более 10^{-5} с. Использовалась линия с $\lambda = 105.5$ мкм при накачке CO_2 -

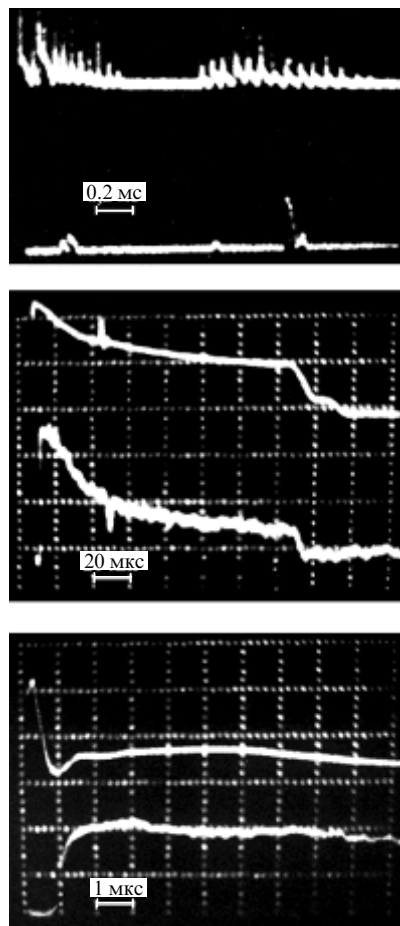


Рис.2. Осциллограммы излучения накачки (верхний луч) и соответствующего сигнала СММ излучения при работе CO_2 -лазера (нижний луч) в режиме сканирования спектра по 9R- и 9P-линиям (*а*) и в импульсно-периодическом режиме на линии 9P(16) (*б*, *в*).

лазером, генерирующим на линии 9P(16). Такой выбор был обусловлен тем, что согласно [1] в этом случае при сравнительно высокой мощности СММ излучения генерация происходит на единственном переходе с $\lambda = 105.5$ мкм. Это позволяло избегать нежелательных эффектов, связанных с конкуренцией различных одновременно генерирующих переходов.

На рис.2,*б* (вверху) представлена осциллограмма импульса накачки, имеющего крутой передний фронт длительностью ~ 0.5 мкс. Мощность излучения вблизи фронта импульса могла достигать в течение ~ 15 мкс значительной величины, что позволяло наблюдать связанные с этим эффекты. Там же (внизу) представлена осциллограмма импульса СММ излучения.

Одновременное изучение осциллограмм накачки и СММ импульса показало, что имеет место запаздывание начала СММ импульса по отношению к началу импульса накачки (величина запаздывания в большинстве случаев составляла 1 мкс). Эффект запаздывания был изучен нами в зависимости от давления активной среды СММ лазера и от мощности накачки (полевой эффект). Результаты обработки экспериментальных данных приведены на рис.3,*а, б*. Видно, что зависимости имеют нелинейный характер, причем из рис.3,*а* следует, что для некоторой области давлений Δt не зависит от p . В области малых значений мощности накачки Δt быстро уменьшается, а затем с ростом P падает практически незаметно.

Задержка переднего фронта импульса СММ сигнала

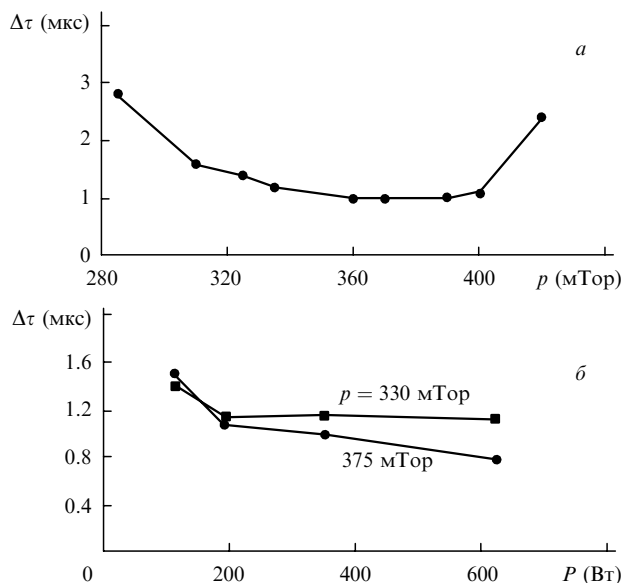


Рис.3. Зависимости времени задержки переднего фронта импульса излучения субмиллиметрового лазера относительно импульса накачки (линия 9P(16)) от давления CH_2F_2 при постоянной мощности накачки (а) и от «пиковой» мощности излучения накачки при разных давлениях CH_2F_2 (б).

указывает на то, что энергия начальной части (длительностью ~ 1 мкс) импульса накачки расходуется на создание инверсии населенностей активной среды. В последующий интервал времени (~ 15 мкс), в течение которого наблюдалось соответствие профилей импульсов СММ генерации и накачки (для всех исследованных значений давления активной среды и мощности накачки) режим генерации можно считать квазистационарным. Для удобства будем называть эту часть импульса «пиковой». На рис.4 представлены зависимости мощности СММ излучения (в максимуме пика) от пиковой мощности накачки при различных давлениях CH_2F_2 (результаты обработки осциллограмм). При давлении активной среды 375 мТор и росте мощности накачки наблюдается насыщение, которое начинает проявляться при мощности накачки порядка 350 Вт. Энергия передней части импульса накачки, соответствующая этой мощности, составила ~ 4.7 мДж.

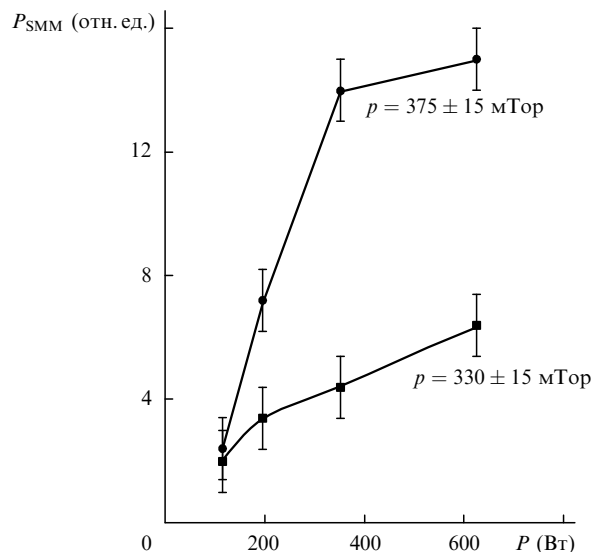


Рис.4. Зависимость амплитуды субмиллиметрового сигнала от «пиковой» мощности излучения накачки на линии 9P(16) при разных давлениях CH_2F_2 .

Следует отметить, что поскольку сечение пучка накачки внутри СММ резонатора имеет сложную конфигурацию, трудно судить о конкретных значениях плотности мощности и энергии насыщения.

Таким образом, на примере СММ лазера на молекулах CH_2F_2 и CH_3OH показано, что созданная многофункциональная CO_2 -лазерная система позволяет осуществлять многосторонние исследования СММ лазеров с оптической накачкой.

Работа поддержана РФФИ (грант № 98-02-17799).

1. Scalabrin A., Evenson K.M. *Opt. Lett.*, **4**, 277 (1979).
2. Грачев Г.Н., Захарьяш В.Ф., Клементьев В.М., Хамоян А.Г. *Квантовая электроника*, **28**, 147 (1999).
3. Grachev G.N., Ponomarenko A.G., Smirnov A.L., Shulyat'ev V.B. *Proc. SPIE*, **4165**, 185 (2000).
4. Bagayev S.N., Grachev G.N., Zakharyash V.F., Klementyev V.M., Orlov V.A., Ponomarenko A.G., Sametov A.R., Shulyat'ev V.B. *Conf. CLEO/Europe – IQE2000* (Nice, France, 2000, p.193).
5. Захарьяш В.Ф., Клементьев В.М., Малинин С.А. и др. *ИТЭ*, № 1, 130 (1996).