

CF_4 -ЛАЗЕР С ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ

Б. И. Васильев, А. З. Грасюк, А. П. Дядькин, Н. П. Фурзиков

УДК 621.373.8.038.823

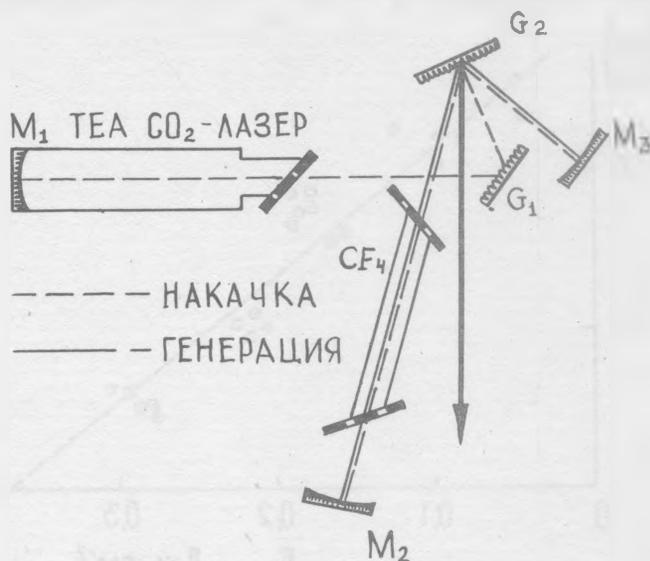
Изучены параметры CF_4 -лазера ($\nu = 619 - 634 \pm 1 \text{ см}^{-1}$ с оптической накачкой излучением CO_2 -лазера. Получена энергия генерации 30 мДж при КПД по поглощенной энергии 4%. Измерены коэффициент поглощения газа и параметр насыщения. Схема перспективна для работы с высокой частотой повторения.

Молекулярные лазеры с оптической накачкой излучением импульсного CO_2 -лазера являются перспективными источниками перестраиваемого излучения в среднем и дальнем ИК диапазоне /1-6/. Такие лазеры позволяют получать большие мощности при высоком КПД преобразования и повышенных частотах повторения. Мощность NH_3 -лазера, например, достигает 0,5 МВт при КПД 8% /2/. Это позволило разделить изотоп углерода и хлора при многофотонной диссоциации молекулы CSl_4 излучением с длиной волны 12,81 мкм, недоступной для CO_2 -лазеров /7/.

В работе /6/ получена генерация на длине волны 16,3 мкм с энергией в импульсе до 4 мДж и КПД по поглощенной энергии около 3% при оптической накачке молекулы CF_4 . В настоящей работе исследованы CF_4 -лазер с энергией генерации до 30 мДж и пути достижения предельных параметров лазера.

Оптическая схема (рис. 1) имеет те же особенности, что и описанная в /2/: использование широкого нефокусированного пучка накачки, применение дифракционных решеток для развязки генерации при коллинеарной геометрии накачки. Это позволяет возбуждать большие объемы газа при высоком коэффициенте использования накачки. Отсутствие элементов с низкой лучевой прочностью дает возможность использовать большие плотности накачки при высокой частоте повторения. CO_2 -лазер с энергией генерации до 15 Дж использовался для

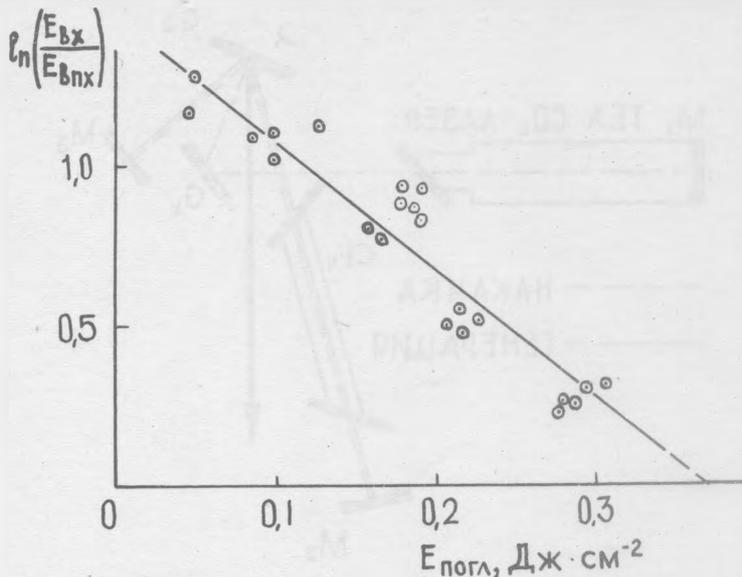
накачки молекул CF_4 . Выходным зеркалом служила дифракционная решетка G_1 с выводом излучения в нулевом порядке. Выведенное излучение накачки падало на решетку G_2 нормально к ее поверхнос-



Р и с. 1. Оптическая схема эксперимента: $M_1 \dots M_3$ - медные зеркала; G_1, G_2 - дифракционные решетки 100 и 75 штрих/мм соответственно; пунктир - излучение накачки $\lambda = 9,31$ мкм, сплошная линия - излучение генерации $\lambda = 16,3$ мкм

ти, и отражаясь в первом порядке, направлялось в кювету с CF_4 . Площадь сечения пучка накачки в кювете - 6 см^2 . Кювета имела два брюстеровских окна из КВг и полную длину 180 см. Стенки ее охлаждались до температур 120 - 150 К кипящим жидким азотом. Давление газа в кювете контролировалось манометром ВДГ-1. Резонатор CF_4 -лазера был образован зеркалами M_2 и M_3 и решеткой G_2 . Излучение генерации выводилось через первый порядок решетки. Энергия излучения измерялась калориметрами КИМ-1 и ВЧД-1, временные характеристики - приемником ФПУ-50 и осциллографом С8-2.

Для оптической накачки молекулы CF_4 используется поглощение на составной частоте $\nu_2 + \nu_4$. Это поглощение достаточно заметно только в области линии R(12) CO_2 -лазера ($1073,3 \text{ см}^{-1}$). Измерения коэффициента поглощения на этой линии в наших условиях при

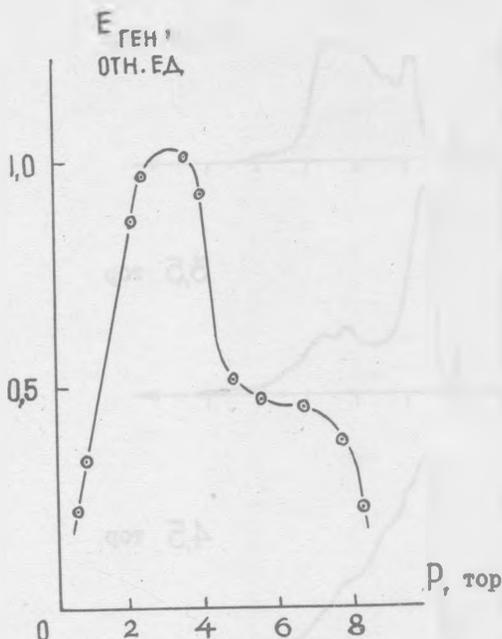


Р и с. 2. Зависимость логарифма отношения входной энергии накачки к выходной от плотности поглощенной в газе энергии

$T = 295 \text{ К}$ дали значение $\alpha = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1} \cdot \text{тор}^{-1}$, что близко к величине $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1} \cdot \text{тор}^{-1}$, приведенной в работе /6/. При $T = 150 \text{ К}$ коэффициент поглощения возрастает до $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1} \cdot \text{тор}^{-1}$.

Однако эти значения получены при сильном насыщении перехода. Правильное значение сечения поглощения должно быть получено экстраполяцией к нулевой интенсивности насыщающего излучения /8/. На рис. 2 приведена зависимость $\ln(E_{\text{вх}}/E_{\text{вых}})$ от плотности поглощенной энергии, полученная при давлении CF_4 4,4 тор и длине 165 см ($T = 295 \text{ К}$). Эта зависимость дает значения коэффициента линейного поглощения $\alpha_0 = (2,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1} \cdot \text{тор}^{-1}$ и параметра насыщения перехода $E_s = (0,12 \pm 0,03) \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$. Сечение перехода по этим данным равно $\sigma = (5,8 \pm 1,8) \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$.

Для получения генерации использовалась схема рис. 1. Генерация получена в диапазоне давлений 0,5 – 8 тор, максимум энергии наблюдается при давлении CF_4 , равном 3,5 тор (рис. 3), аналогич-

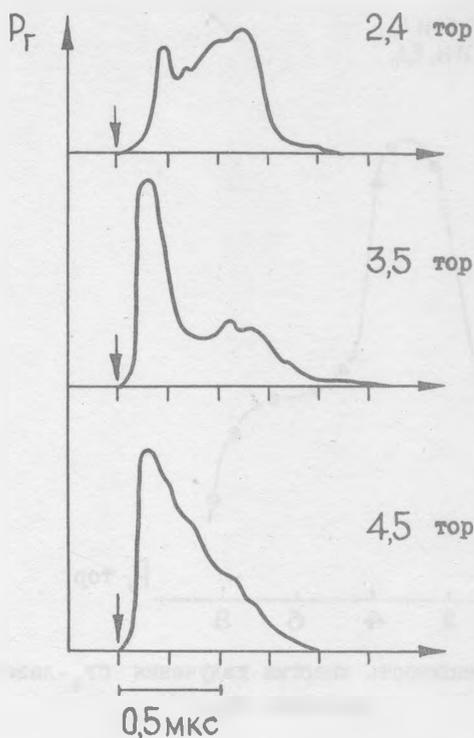


Р и с. 3. Зависимость энергии излучения CF_4 -лазера от давления CF_4 .

но работе /6/. Добавление в кювету гелия или азота уменьшало энергию импульса вплоть до срыва генерации при парциальных давлениях буфера 5 – 6 тор. Максимальная зарегистрированная энергия генерации составляла 30 мДж. Отметим, что энергия не падала до нуля при закрытом зеркале M_3 , т.е. частично она имеет суперлюминесцентное происхождение.

Динамика генерации показана на рис. 4. При низких давлениях импульс генерации CF_4 лазера имеет два максимума, при повышении давления второй максимум исчезает. Эта картина вместе с зависи-

мостью энергии от давления объясняется формой импульса CO_2 лазера и балансом между скоростью накачки и вращательной релаксацией верхнего лазерного уровня. Импульс лазера накачки имеет ин-



Р и с. 4. Осциллограммы импульсов генерации SF_4 -лазера при различных давлениях SF_4 . P_T - мощность генерации (в отн. ед.)

тенсивный передний пик и менее интенсивный послепулс. Поэтому при низких давлениях SF_4 пороговая плотность накачки достигается как в пике, так и в послепулсе, при более высоких давлениях - только в пике.

Частота генерации менялась в зависимости от частоты накачки ν_n и настройки резонаторов: от 619 см^{-1} - при возбуждении линией

$R(12) (\nu_H = 1073,3 \text{ см}^{-1})$ до $634 \pm 1 \text{ см}^{-1}$ - при накачке линией $R(10) (\nu_H = 1071,87 \text{ см}^{-1})$. Частота генерации измерялась монохроматором ИКМ-1 с призмой CaF_2 и решеткой 50 штрих/мм. Калибровка монохроматора проводилась по линиям CO_2 лазера.

При давлении газа 3,5 тор и плотности энергии накачки $4 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$ (при двойном проходе и малом поглощении) поглощенная энергия составляет $\sim 0,8 \text{ Дж}$. КПД по поглощенной энергии равен $\approx 4\%$. Общий КПД низок из-за неэффективного использования энергии CO_2 -лазера. Повысить эту эффективность можно несколькими способами: согласованием спектров накачки и поглощения при использовании одночастотного стабильного CO_2 -лазера, увеличением сечения пучка накачки, увеличением длины SF_6 -лазера, применением усилителя. КПД лазера может быть значительно повышен подавлением перехода $\nu_2 + \nu_4 \rightarrow \nu_4$, конкурирующего с лазерным переходом, вводом поглощения в области 22 мкм.

Удельная энергия SF_6 -лазера в нашем случае составила $0,03 \text{ Дж} \cdot \text{л}^{-1}$. Если считать, что накачка перебрасывает 50% всех молекул на верхний лазерный уровень и населенность нижнего уровня мала, при давлении 3,5 тор запасенная удельная энергия равна $1,3 \text{ Дж} \cdot \text{л}^{-1}$. Вращательная релаксация, конкурирующие переходы и другие причины приводят к тому, что удельная энергия генерации не превышает 10 - 20% от запасенной, т.е. $0,13 - 0,26 \text{ Дж} \cdot \text{л}^{-1}$. Для получения более высоких уровней энергии необходимо увеличивать объем активной среды.

Авторы глубоко благодарны Н. Г. Басову за внимание и интерес к работе.

Авторы также признательны Р. В. Амбарцумяну и В. С. Летохову за полезные обсуждения, а А. Б. Ястребкову - за помощь в экспериментах.

Поступила в редакцию
27 декабря 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. T. Y. Chang, J. D. McGee, Appl. Phys. Lett., 28, 526 (1976); 29, 725 (1976).
2. Б. И. Васильев, А. З. Грасюк, А. П. Дядькин, Квантовая электроника, 4, 1805 (1977).
3. R. G. Harrisan, F. A. Al-Watban, Optics Comm., 20, 225 (1977).
4. S. M. Ery, Optics Comm., 19, 320 (1976).
5. H. R. Schlossberg, H. R. Fetterman, Appl. Phys. Lett., 25, 316 (1975).
6. J. J. Tsee, C. Wittig, Appl. Phys. Lett., 30, 420 (1977).
7. R. V. Ambartzumian, A. P. Dyad'kin, N. P. Furzikov, A. Z. Grasiuk, V. S. Letokhov, B. I. Vasiljev, Appl. Phys., 5, 321 (1977).
8. В. С. Летохов, А. А. Макаров, Е. А. Рябов, ДАН СССР, 212, 75 (1973).