

Ю.М. Андреев, С.Н. Бовдей, П.П. Гейко, А.И. Грибенюков,
В.А. Гурашвили, В.В. Зуев, С. В. Изюмов

МНОГОЧАСТОТНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ИСТОЧНИК ДИАПАЗОНА 2,6...3,2 МКМ

Сообщается об одновременной генерации более двухсот линий излучения в области 2,6...3,2 мкм, возникающих путем преобразования частоты излучения СО-лазера низкого давления.

Использовался СО-лазер с модуляцией добротности резонатора, генерирующий на 80 линиях при частоте модуляции от 10 до 200 Гц. Внешняя эффективность преобразования частоты в непросветленном кристалле $ZnGeP_2$ длиной 12 мм составила 4,9% (8,8 мВт средней мощности), что соответствует внутренней эффективности более 10%. Исследованы характеристики преобразователя частоты.

Расширение спектра генерации газовых лазеров ИК диапазона является актуальной задачей для таких приложений, как лазерная спектроскопия, зондирование атмосферы, разделение изотопов. В этой связи лазеры на окиси углерода, излучающие в области 4,8—7,6 мкм, представляют особый интерес. С точки зрения возможностей расширения спектра излучения наибольшее преимущество среди них имеет СО-лазер с модуляцией добротности резонатора. Этому способствует также каскадный механизм генерации и развитая вращательная структура спектра излучения [1]. Важной особенностью лазеров на окиси углерода является также возможность генерации на двухбайтовых переходах в области 2,7...3,1 мкм, однако для этого требуется мощная накачка и охлаждение до 80 К. Более перспективным методом освоения этого спектрального диапазона следует считать преобразование частоты излучения СО-лазера в нелинейных средах. Ранее сообщалось о получении второй гармоники излучения непрерывного СО-лазера в монокристаллах $ZnGeP_2$ [2], а также об удвоении частоты СО-лазера с модуляцией добротности резонатора [3]. Внешние эффективности преобразования не превысили 10^{-2} и 3% соответственно.

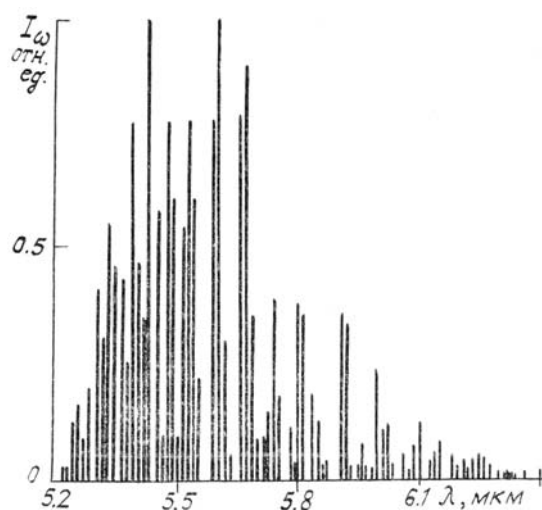


Рис. 1. Спектр генерации СО-лазера с модуляцией добротности резонатора, частота модуляции 50 Гц

Целью данной работы является выяснение возможностей дальнейшего увеличения; эффективности преобразования частоты излучения СО-лазера за счет модуляции добротности и одновременного расширения спектра генерации. Оптическая схема преобразования частоты СО-лазера была близка к описанной в [4].

СО-лазер был изготовлен на базе отпаянного разрядного элемента и источника питания серийного СО-лазера ЛГН-706. Резонатор лазера монтировался на инваровых стержнях. Выходное зеркало с коэффициентом отражения 94% для спектральной области 5,3...6,1 помещалось на ось механического модулятора, обеспечивающего плавное изменение частоты модуляции до 200 Гц. Охлаждение производилось проточной водой с температурой 12—15 °С. Пространственная структура пучка излучения не формировалась.

Исследование энергетических характеристик отпаянного СО-лазера с модулированной добротностью показало, что значение средней мощности излучения изменяется от 60 мВт до 250 мВт при изменении частоты модуляции от 10 до 200 Гц и максимально при 70...90 Гц. Пиковая мощность из-

лучения достигла 350...500 Вт при частотах модуляции 50...80 Гц. С увеличением частоты модуляции энергия в импульсе излучения падала с 2 мДж при 10 Гц до 0,6 мДж при 100 Гц и 0,1 мДж при 200 Гц. Минимальная длительность импульса генерации 0,5 мкс получена при $f=200$ Гц.

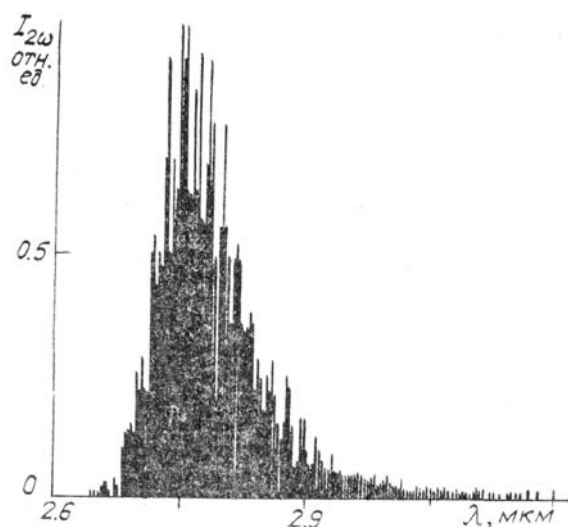


Рис. 2. Спектр преобразованного излучения, содержащий более двухсот линий

Для частоты модуляции 50 Гц исследовался спектральный состав излучения. Получена генерация на 83 колебательно-вращательных переходах в диапазоне 5,2...6,3 мкм на линиях $P_6(20) - P_{21}(14)$. При частоте $f = 200$ Гц спектр сужался до линий $P_8(21) - P_{17}(19)$. Отметим, что количество зарегистрированных линий почти вдвое превышает количество переходов непрерывного СО-лазера в режиме свободной генерации. На рис. 1 приведен спектр генерации СО-лазера с модулированной добротностью резонатора.

Монокристалл $ZnGeP_2$ имел длину 12 мм, был вырезан под углом к оптической оси $\Theta = 47^\circ 30'$, отполирован химико-динамическим методом, просветляющие покрытия не наносились. Как показали измерения спектра прозрачности кристалла в области максимальной прозрачности 3...8 мкм коэффициент поглощения был на уровне $0,1 \text{ см}^{-1}$.

Излучение СО-лазера фокусировалось в кристалл сферической линзой из BaF_2 с фокусным расстоянием 45 мм. Преобразованное излучение коллимировалось линзой из кварца КИ, одновременно служившей фильтром, отсекающим излучение накачки. Перед измерителями мощности ставился второй фильтр из кварца КИ, отсекающий рассеянное излучение лазера и тепловое излучение коллимирующей линзы. На рис. 2 представлен спектр преобразованного излучения, снятый с разрешением $0,5 \text{ см}^{-1}$, содержащий более 200 зарегистрированных линий. Поскольку для удвоения пятимикронного излучения в монокристаллах $ZnGeP_2$ имеет место не критичный частотный синхронизм со спектральной шириной около 200 см^{-1} , то практически одновременно шла генерация вторых гармоник и суммирование частот отдельных линий всего спектра излучения накачки.

Кроме средней мощности, контролировалась форма импульсов накачки и преобразованного излучения с помощью охлаждаемых фоторезисторов Ge:Аu. На рис. 3 представлена развертка во времени импульсов генерации СО-лазера и преобразованного по частоте излучения. Импульс преобразованного излучения регистрировался с некоторой задержкой относительно импульса СО-лазера. Этот факт объясняется тем, что спектральная ширина синхронизма несколько уже полного спектра излучения накачки, и наличием динамики спектра СО-лазера.

Максимальная эффективность всей схемы преобразования составила 4,9%, что с учетом потерь в коллимирующей линзе и фильтре из кварца соответствует эффективности 6%. При этом получена мощность 8,8 мВт преобразованного излучения при средней мощности излучения накачки 180 мВт с частотой модуляции 75 Гц. Таким образом, учитывая френелевские потери на отражение от граней кристалла, получаем эффективность преобразования внутри кристалла выше 10%. Спад коэффициента преобразования при больших и малых частотах модуляции обусловлен спадом мощности излучения накачки.

Использование дифракционной решетки позволяло выделять одну из линий спектра генерации. При удвоении частоты непрерывного излучения мощностью $\sim 1,1$ Вт (линия $P_{12}(18)$) получено 0,12 мВт мощности второй гармоники. При перестройке по линиям излучения мощность второй гармоники изменялась пропорционально квадрату мощности задающей линии.

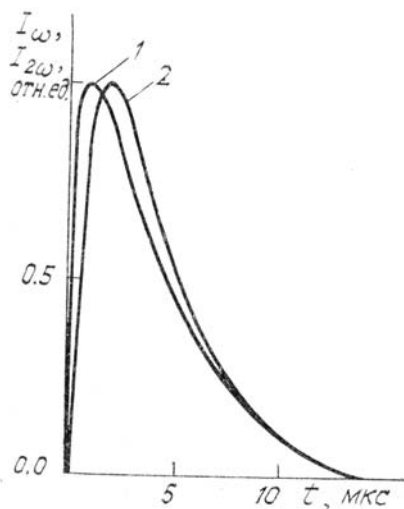


Рис. 3. Форма импульсов генерации СО-лазера (1) и преобразованного излучения (2) при частоте модуляции 50 Гц

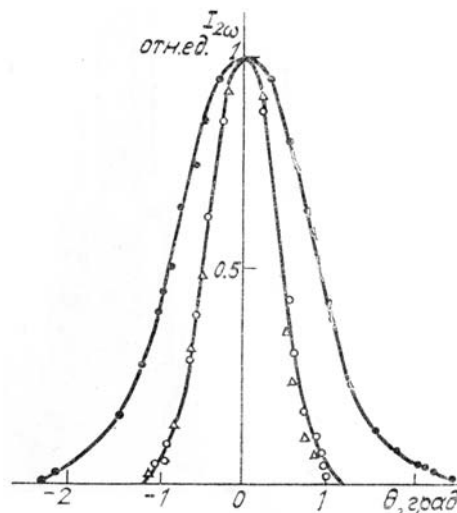


Рис. 4. Зависимость мощности преобразованного излучения СО-лазера с модуляцией добротности резонатора от угловой расстройки с направлением синхронизма: ● — полный спектр; Δ — вторая гармоника линии $P_{12}(19)$, $\nu = 1784,3 \text{ см}^{-1}$; ○ — сумма частот $P_{11}(16)$, $\nu = 1821,6 \text{ см}^{-1}$ и $P_{11}(17)$, $\nu = 1817,56 \text{ см}^{-1}$

Зависимость мощности преобразованного излучения от угловой расстройки с направлением синхронизма иллюстрирует рис. 4. Видно, что угловая ширина синхронизма при преобразовании частоты всего спектра излучения СО-лазера составляет $\sim 1,8^\circ$. Для генерации второй гармоники отдельной линии излучения или для суммирования двух частот эта величина почти в два раза меньше.

Таким образом, проведенные исследования показали, что монокристаллы ZnGeP_2 являются высокоэффективными преобразователями частоты излучения СО-лазера в область спектра 2,6...3,2 мкм, даже при милливатном уровне средней мощности накачки. Просветление кристалла, формирование поперечного распределения интенсивности, оптимальная фокусировка позволяют увеличить эффективность до уровня 20–30%. Спектр преобразованного по частоте излучения перекрывает часть одного из самых информативных окон прозрачности атмосферы. Наличие здесь большого числа разрешенных линий поглощения паров H_2O , кислот и таких газов, как N_2O , CH_4 , других углеводородов дает возможность измерения температуры атмосферы и концентраций газов методами абсорбционной спектроскопии.

1. Басиев А.Г., Голубев А.А., Гурашвили В.А., Изюмов С.В. — ЖТФ, 1980, т. 50, № 8, с. 1740.
2. Андреев Ю.М., Ведерникова Т.В., Бетин А.А. и др. — Квантовая электроника, 1985, т. 12, № 7, с. 1535.
3. Андреев Ю.М., Белых А.Д., Воеводин В.Г. и др. — Квантовая электроника, 1987, т. 14, № 4, с. 782.
4. Андреев Ю.М., Гейко П.П., Грибенюков А.И. и др. — Оптика атмосферы, 1988, т. 1, № 1, с. 126.

Институт оптики атмосферы
СО АН СССР
Институт атомной энергии
им. И.В. Курчатова, Москва

Поступило в редакцию
11 марта 1988 г.

Yu.M. Andreev, S.N. Bovdey, P.P. Geiko, A.I. Gribenyukov, V.A. Gurashvili, V.V. Zuev, S.V. Izyumov. **Multifrequency laser source in the 2.6–3.2 μm range.**

Q-switched low pressure CO laser frequency conversion in the 2.6–3.2 μm spectral range was studied. Experimentally to yield simultaneous laser action on 200 lines. The laser emitted at 80 wavelengths for a modulation frequency of 10–200 Hz.

The external frequency conversion efficiency for an uncoated 12 mm ZnGeP_2 crystal was found to be as high as 4.9 percent (8.8 mW average power), which corresponded to an internal efficiency of 10 percent. Performance characteristics of the frequency converter used were also investigated.