

УДК 621.373.826.038.823

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

МАЛОГАБАРИТНОГО ОТПАЯННОГО ЛАЗЕРА НА ОКИСИ УГЛЕРОДА

© 2005 г. В. К. Сысоев, канд. физ.-мат. наук

НПО им. С.А. Лавочкина, г. Химки, Московская обл.

E-mail: sysoev@berc.rssi.ru

В статье приводятся спектральные и энергетические характеристики отпаянного малогабаритного СО-лазера на базе промышленной конструкции излучателя ИЛГН-705.

Коды OCIS: 140.3070.

Поступила в редакцию 02.12.2004.

Отпаянные лазеры на окиси углерода, излучающие в спектральном диапазоне 5–6 мкм и работающие при комнатной температуре, представляют большой интерес для решения многочисленных научных и прикладных задач. Физической и технической основой применений этих лазеров является возможность получения высокой мощности когерентного излучения на большом числе дискретных частот излучения в области, где расположены полосы фундаментального поглощения многих веществ и материалов, находящихся в различных агрегатных состояниях. Высокая стабильность мощности излучения лазера, обусловленная многорезонансной природой активной среды, и высокие технические и эксплуатационные характеристики лазерного генератора с отпаянным активным элементом открывают большие возможности применения этого лазера.

Создание промышленного отпаянного лазера на окиси углерода, работающего при комнатной температуре [1], позволило уже сегодня решить ряд конкретных задач в технологии изготовления изделий электронной техники и в медицине [2, 3]. Область применения этого класса приборов может еще более расшириться при использовании СО-лазеров для решения исследовательских задач, в том числе и экологических, основанных, в частности, на резонансном совпадении характеристических частот вещества с линиями лазерного излучения. Перспективы применения СО-лазеров в магниторезонансной спектроскопии, штарковской лазерной спектроскопии, для определения малых концентраций примесей в газах и высокопрозрачных материалах показаны в [3–6].

Для решения указанных задач обычно необходимо, чтобы лазерный источник обладал большим набором генерируемых дискретных частот и излучал в широком спектральном диапазоне. При этом обычно не требуется, чтобы лазерный излучатель

имел большие мощности излучения. Маломощные (1–2 Вт) широкодиапазонные лазерные источники инфракрасного диапазона спектра необходимы для таких новых развивающихся областей применения лазеров, как исследование зонной структуры полупроводниковых материалов, контроль толщины покрытий труб большого диаметра, исследование кинетики возбуждения и вращательной релаксации неравновесных и лазерно-активных сред и ряда других измерительных задач в науке и технике [1].

В настоящей работе описываются спектральные и энергетические характеристики малогабаритного электроразрядного лазера на СО с отпаянным активным элементом, выполненного на основе промышленного излучателя СО₂-лазера ИЛГН-705. Данный лазер был предоставлен Масычевым В.И.

Активный элемент, как показано на рис. 1, состоит из стеклянного капилляра 1 диаметром 8 мм с рубашкой водяного охлаждения, резервного баллона 2 диаметром 90 мм, выходного зеркала 3 и внутреннего отражающего зеркала 4. Длина разрядного канала 250 мм.

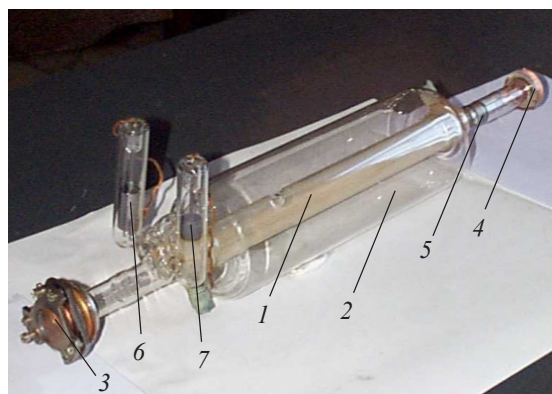


Рис. 1. Фотография активного элемента СО-лазера типа ИЛГН-705. Пояснения в тексте.

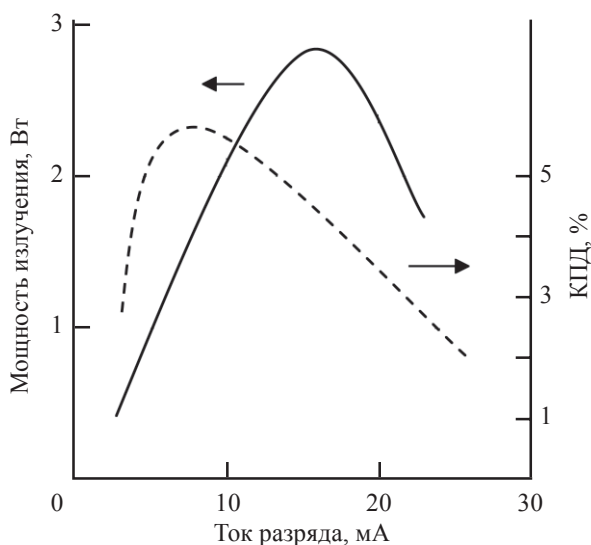


Рис. 2. Зависимости мощности излучения СО-лазера и КПД от тока разряда.

Выходное внутреннее зеркало изготовлено из поликристаллического арсенида галлия. Внутреннее отражающее сферическое зеркало имеет радиус кривизны 1,2 м, выходное диэлектрическое зеркало с коэффициентом отражения 90% в спектральном диапазоне 4–7 мкм выполнено плоским.

Анод 5 выполнен из кобальта в виде цилиндра, спаянного со стеклом. Танталовый катод помещен в отдельном баллоне 6. В этом же баллоне размещен и дополнительный электрод из графита 7.

Используется стабилизированный источник питания излучателя, который имеет следующие основные характеристики: питающее напряжение 220 В, максимальное выпрямленное напряжение до 10 кВ, потребляемая мощность не более 250 Вт.

Активный элемент излучателя наполнен смесью газов CO, N₂, Xe и He. Рабочими являются переходы между колебательными уровнями состояний молекулы CO.

На рис. 2 представлены зависимости мощности излучения и эффективности лазера на СО от тока разряда при оптимизированном газовом составе. Как видно из рисунка, максимальная мощность излучения излучателя достигает 2,5–3 Вт при оптимальном токе разряда около 15 мА. Максимальный КПД излучателя достигает 5–6%.

Спектр излучения лазера существенно зависит от параметров оптического резонатора и его настройки, а также от температуры охлаждающей воды.

Общая схема экспериментальной установки для исследования спектральных и энергетических характеристик отпаянного СО-лазера с неселективными оптическими резонаторами была аналогична представленной в работах [7, 8].

Калибровка полученных спектров излучения лазера проводилась по спектрам поглощения паров воды атмосферы, предварительно записанным на фурье-спектрометре FTS-14 с разрешением порядка 0,1 см⁻¹. Осуществлялось спектральное разрешение компонентов спектров излучения лазера с частотным интервалом не хуже 0,5 см⁻¹.

Типичные спектры излучения лазера при максимальной мощности представлены на рис. 3. В таблице приведены частоты колебательно-вращательных переходов, наблюдавшихся в экспериментах, и их идентификация, выполненная в соответствии с работами [9, 10].

Как видно из таблицы, спектр генерации отпаянного лазера соответствовал переходам Р-ветви

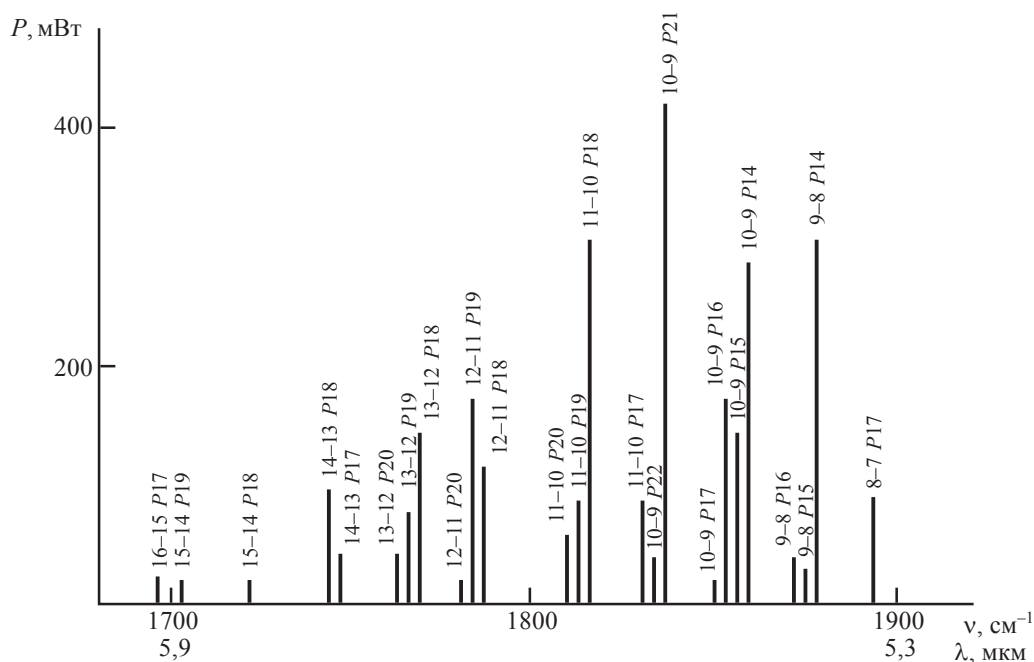


Рис. 3. Спектр излучения СО-лазера с неселективным резонатором.

Линии генерации СО-лазера с неселективным резонатором

Номер линии	Частота, см ⁻¹	Обозначение линий	
		$\nu' \rightarrow \nu''$	$P(j'')$
1	1692,65	16 → 15	$P(17)$
2	1709,59	15 → 14	$P(19)$
3	1713,57	15 → 14	$P(18)$
4	1738,70	14 → 13	$P(18)$
5	1742,37	14 → 13	$P(17)$
6	1722,27	13 → 12	$P(20)$
7	1759,34	13 → 12	$P(19)$
8	1763,36	13 → 12	$P(18)$
9	1780,23	12 → 11	$P(20)$
10	1784,33	12 → 11	$P(19)$
11	1788,40	12 → 11	$P(18)$
12	1805,25	11 → 10	$P(20)$
13	1809,41	11 → 10	$P(19)$
14	1813,50	11 → 10	$P(18)$
15	1817,56	11 → 10	$P(17)$
16	1821,99	10 → 9	$P(22)$
17	1826,21	10 → 9	$P(21)$
18	1842,80	10 → 9	$P(17)$
19	1846,89	10 → 9	$P(16)$
20	1850,91	10 → 9	$P(15)$
21	1854,91	10 → 9	$P(14)$
22	1872,21	9 → 8	$P(16)$
23	1876,30	9 → 8	$P(15)$
24	1880,33	9 → 8	$P(14)$
25	1893,52	8 → 7	$P(17)$

основного электронного состояния $X^2\Sigma^+$ молекулы СО между колебательными уровнями $\nu \rightarrow \nu - 1$ от $16 \rightarrow 15$ до $8 \rightarrow 7$ с вращательными квантовыми числами $j - 1 \rightarrow j$ от 14 до 22. Спектр излучения лазера записывался при параметрах разряда, соответствующих мощности излучения. Область генерации лазера охватывала спектральный интервал от 1690 до 1890 см⁻¹, в котором наблюдались 25 колебательно-вращательных переходов.

При комнатной температуре генерация в СО-лазере происходит на высоких колебательных уровнях, как и предполагает ангармонический механизм создания инверсии населенностей.

Оценка показывает, что при температуре газа 300–400 К нижний колебательный уровень, на котором еще может осуществляться генерация, может наблюдаться на переходе $8 \rightarrow 7$, что хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Как видно из таблицы, для спектра излучения данного малогабаритного отпаянного СО-лазера, работающего при комнатной температуре, характерна генерация с большими значениями вращательного квантового числа j ($j = 14–22$). Это связано с

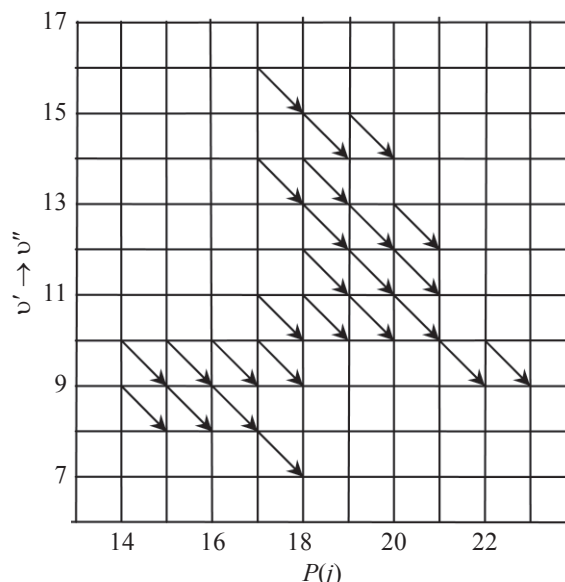


Рис. 4. Схема энергетических переходов в СО-лазере с неселективным резонатором.

тем обстоятельством, что при увеличении температуры газа уменьшается отношение населенностей колебательных уровней и максимум коэффициента усиления сдвигается по колебательной полосе в сторону более высоких значений квантового числа [1]. Кроме того, характерной особенностью спектра излучения с широкополосным неселективным резонатором является увеличение вращательных чисел j для полос с уменьшением колебательного квантового числа ν . Это связано с каскадным механизмом заселения нижележащих колебательных полос. В этом случае вращательная релаксация не успевает привести распределение молекул СО по вращательным подуровням к равновесному за характерные времена жизни молекул СО на возбужденных уровнях, определяющиеся индуцированным излучением. Поэтому вынужденные радиационные переходы P -ветви $j \rightarrow j + 1$ способствуют заселению уровней с большими j при уменьшении ν . Один из таких каскадов $P_{14 \rightarrow 13}(17) \rightarrow P_{13 \rightarrow 12}(18) \rightarrow P_{12 \rightarrow 11}(19) \rightarrow P_{11 \rightarrow 10}(20) \rightarrow P_{10 \rightarrow 9}(21)$ показан на рис. 4.

Измерения стабильности мощности излучения данного СО-лазера показали, что нестабильность мощности определяется в основном нестабильностью тока источника питания и составляет не более 3% за час работы излучателя (после 10–15 мин включения электрического разряда).

Широкий диапазон спектра генерации, отпаянное исполнение и небольшие габариты излучателя обеспечили эффективное использование данного малогабаритного лазерного излучателя на окиси углерода в спектральной аппаратуре.

Автор посвящает эту статью создателю отпаянных СО-лазеров, безвременно ушедшему из жизни, Виктору Ивановичу Масычеву.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алейников В.С., Масычев В.И. Лазеры на окиси углерода // М.: Радио и связь, 1990. 312 с.
2. Алейников В.С., Беляев В.П., Девятков Н.Д., Клименко В.И., Мамедли Л.Д., Масычев В.И., Сысоев В.К. Применение лазеров на окиси углерода в хирургии // Квант. электрон. 1983. Т. 10. № 10. С. 1959–1961.
3. Дианов Е.М., Масычев В.И., Плотниченко В.Г., Сысоев В.К. Измерение коэффициента объемного поглощения // Квант. электрон. 1980. Т. 7. № 6. С. 1556–1562.
4. Johns J.W., McKellar A.R. Wavelength measurements of CO-laser transitions // J. Molec. Spectr. 1974. V. 51. P. 539–545.
5. Gorobets V., Petukhov V., Tochitsky S., Churakov V. Study of simultaneous oscillation on several transitions in cw CO-laser // Appl. Phys. 1997. V. B 64. P. 423–427.
6. Bulkin Yu., Adamenkov A., Kudrgachov E., Byzoverch V., Masychev V. Carbon monoxide sealed-off laser with operated dispersive cavity for material study // Proc. SPIE. 2002. V. 4725. P. 411–449.
7. Масычев В.И., Плотниченко В.Г., Сысоев В.К. Переключаемый лазер на окиси углерода // Квант. электрон. 1981. Т. 8. № 7. С. 1540–1552.
8. Masychev V.I., Sysoev V.K. Spectral characteristics of sealed CO-laser with various isotope concentrations and room temperature cooling // Optics and Laser Technology. 1984. V. 8. № 3. P. 151.
9. Справочник физических величин / Под ред. Кикоина А.И. М.: Атомиздат, 1976. 720 с.
10. Справочник по лазерам / Под ред. Прохорова А.М. М.: Сов. радио, 1978. С. 108–110.