

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Бобрик, Ю. Д. Коломников, В. П. Чеботаев. Не—Ne-лазер с линией задержки в нелинейно-поглощающем газе.— «Опт. и спектр.», 1973, т. 35, № 6.
2. В. И. Бобрик, Ю. Д. Коломников, Б. С. Могильницкий, В. П. Чеботаев. Узкие резонансы мощности ОКГ с ячейкой поглощения большой длины.— В кн.: Тезисы Всесоюзной конференции по фотометрическим измерениям и их метрологическому обеспечению. М., 1974.
3. С. Н. Багаев, Е. В. Бакланов, В. П. Чеботаев. Аномальное уменьшение сдвига центра лэмбровского провала в молекулярных газах низкого давления.— «Письма в ЖЭТФ», 1972, т. 16, № 6.
4. D. R. Herriot, H. J. Schulte. Folded Optical Delay Lines.— "Appl. Opt.", 1965, v. 4, № 8.
5. J. Z. Hall. Laser as an Absolute Standard of Length.— "IEEE J. Quantum Electronics", 1968, v. QE—4, № 10.
6. A. J. Wallard. Frequency Stabilization of the Helium-Neon Laser by Saturated Absorption in Iodine Vapour.— "Scientific Instruments.", 1972, v. 5, № 9.
7. W. E. Lamb. Theory of an Optical Maser.— "Phys. Rev.", 1964, v. 134, № 6 A.

Поступило в редакцию 13 августа 1974 г.

УДК 621.373.826 : 62

В. Е. ПРИВАЛОВ
(Ленинград)

ОБ ИЗМЕРЕНИИ СКОРОСТИ ПОТОКА С ПОМОЩЬЮ КОЛЬЦЕВОГО ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА

Кольцевой газовый лазер находит широкое применение в метрологии (см. например, [1—5]). Важное место занимает измерение параметров движения. Максимальную точность измерений обеспечивают частотные характеристики кольцевого лазера. Вдали от зоны синхронизации частота биений встречных волн может быть представлена в виде [4, 7]

$$\Delta\nu = \sum_n K_n \Omega^n, \quad (1)$$

где Ω — угловая скорость, K_n — функции параметров кольцевого лазера. Иногда ограничиваются несколькими членами этой суммы [6, 7]:

$$\Delta\nu = K_1 \Omega + K_0 + \frac{K_{-1}}{\Omega}, \quad (2)$$

где K_0 — расщепление частот, обусловленное суммой различных невязимностей, K_1 — масштабный множитель, K_{-1} — множитель «захватного» члена.

Последнее время появились основания учитывать нелинейные члены множителями K_2 , K_3 и K_{-2} [7]. Частотные характеристики кольцевого лазера подробно анализировались для случая измерения угловой скорости. Известны работы, посвященные измерению скорости потока с помощью кольцевых газовых лазеров [8—13]. Они содержат описание различных систем, однако точности измерений уделено мало внимания. Представляет интерес провести анализ погрешности измерения скорости прозрачного потока с помощью кольцевого газового лазера и сформулировать требования к последнему.

Для измерения скорости потока внутри кольцевого резонатора выражение для частоты биений принимает вид

$$\Delta\nu = K_0 = f_v + f_{H\Theta} + f_{\Sigma}. \quad (3)$$

Здесь f_v — полезный сигнал (расщепление, обусловленное скоростью потока); $f_{H\Theta}$ — частота биений, обусловленная невязимным элементом (H Θ); f_{Σ} — расщепление частот, связанное с остальными невязимностями (см. например, [4]).

Поток со скоростью v вызывает расщепление (см. например, [1]):

$$f_v = 2 \frac{l}{L} v_{11} \frac{n^2 - 1}{\lambda}, \quad (4)$$

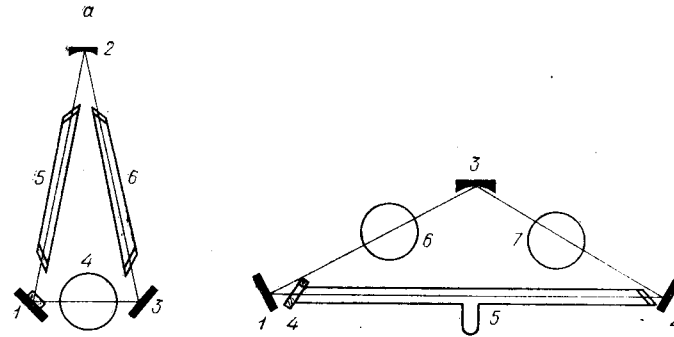


Рис. 1. Кольцевые лазеры с газопроводами, ориентированными под углом Брюстера:

- а) 1 — плоское зеркало, совмещенное с НЭ для уменьшения числа отражающих поверхностей, 2 — сферическое зеркало, 3 — плоское зеркало, 4 — газопровод с исследуемым потоком, 5 и 6 — трубки со смесью, токи в которых текут навстречу друг другу;
- б) 1 и 2 — плоские зеркала, 3 — сферическое зеркало, 4 — НЭ, используемый в качестве окна Брюстера, 5 — двуханодная трубка с He-Ne-смесью, 6 и 7 — газопровод с исследуемым потоком (два параллельных идентичных потока или два последовательных участка газопровода для повышения чувствительности схемы).

где l — протяженность потока в резонаторе, L — периметр кольцевого резонатора, n — показатель преломления движущейся среды, λ — длина волны излучения лазера, v_{11} — составляющая скорости вдоль «луча» лазера.

Из (3) и (4) следует, что относительная погрешность измерения скорости потока может быть представлена следующим образом:

$$\frac{\delta v_{11}}{v_{11}} = \frac{\delta v}{v} + \frac{\delta L}{L} + \frac{\delta l}{l} \frac{2n\delta n}{n-1} + \frac{cL}{2lv_{11}(n^2-1)} [\delta(\Delta v) + \delta f_{\text{НЭ}} + \delta f_{\Sigma}]. \quad (5)$$

Из (5) видно, что точность измерений скорости потока возрастает при уменьшении периметра кольцевого резонатора (в отличие от случая измерения угловой скорости, где еще желательна и симметрия контура). Точность измерений, естественно, падает при уменьшении скорости потока. Величина f_{Σ} обусловлена эффектом Лэнгмюра; дифракцией; анизотропией, вносимой оптическими элементами; обратным рассеянием и т. д. Эта величина целиком входит в погрешность измерений, т. е. $\delta f_{\Sigma} = f_{\Sigma}$. Поэтому необходимо стабилизировать накачку, увеличивать апертуру, обеспечивать правильное крепление окон трубки [14] и т. д. Переключением НЭ или изменением направления потока можно резко снизить δf_{Σ} . В этом случае будет играть роль лишь изменение f_{Σ} за время измерения.

Оценим относительную погрешность измерения для конкретного кольцевого He-Ne-лазера, сконструированного с учетом изложенного выше (рис. 1). Пусть $\lambda = 0,63$ мкм, $L = 500$ мм, $l = 100$ мм. Для воздушного потока при атмосферном давлении $n - 1 = 10^{-5}$. Рассмотрим диапазон скоростей (10—100) м/с, используя НЭ с $f_{\text{НЭ}} = 10^4$ Гц. В правой части (5) все члены, кроме последнего, могут быть уменьшены до 10^{-6} без существенных трудностей. Множитель перед квадратными скобками в последнем члене при указанных выше значениях параметров будет составлять порядка $10^{-1} \div 10^{-2}$ Гц $^{-1}$. Значение абсолютной погрешности (в квадратных скобках) может достигать в первую очередь за счет δf_{Σ} , 1 Гц. Значит, относительная погрешность $\delta v_{11}/v_{11}$ может составлять 1—10%.

При управляемом изменении знака невязанности и достаточной стабильности НЭ относительная погрешность может быть снижена на два-три порядка. Получение относительной погрешности измерения скорости потока порядка 10^{-3} — 10^{-4} позволит создать на базе кольцевого лазера образцовые средства измерения потока, которые можно будет использовать, в частности, в эталонах расхода.

На рис. 1 и 2 приведены схемы кольцевых лазеров для измерения скорости потока, в которых увеличено l/L по сравнению со схемами для измерения угловой скорости. Используются 2 трубки (см. рис. 1, а) или трубка с двумя анодами (катодами) для устранения влияния эффекта Лэнгмюра. Средством, исключаящим эффект Лэнгмюра, является ВЧ-разряд. Необходимо, правда, добиться высокой стабильности мощности ВЧ-генератора и хорошего согласо-

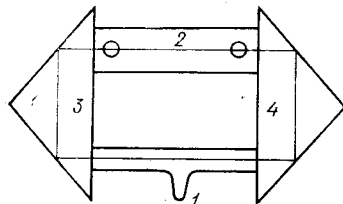


Рис. 2. Кольцевой лазер с газопроводом, параллельным «лучу» лазера:

1 — разрядная трубка, 2 — газопровод, 3 и 4 — призмы полного внутреннего сокращения.

ния с разрядом. Большое число отражающих поверхностей увеличивает связь встречных волн и способствует повышению флюктуаций частоты биений под действием внешних факторов. Поэтому НЭ лучше совмещать с зеркалом (см. рис. 1, а) или ставить вместо окна трубки (см. рис. 1, б). Несимметричность схем способствует увеличению l/L и соответственно точности измерений.

В схеме, приведенной на рис. 2, сократив оптические пути в призмах 3 и 4 до минимума, получим $2l \approx L$, что обеспечит еще более высокую точность измерений. Для этого следует выбирать длины l и 2 значительно больше оптического пути в призмах.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Привалов, С. А. Фридрихов. Кольцевой газовый лазер.— «УФН», 1969, т. 97, с. 377.
2. С. С. Кивилис. Расходомеры.— В кн.: Метрология и измерительная техника. М., «Стандарт», 1972, Т. 2.
3. А. В. Гнатовский, М. В. Данилейко, М. Т. Шпак. Кольцевой оптический стандарт частоты.— «Квантовая электроника», 1973, т. 2(14), с. 122.
4. В. Е. Привалов. Применение кольцевых газовых лазеров в измерительной технике.— В кн.: Материалы IV Всесоюзной конференции. Сер. 4: «Электровакуумные и газоразрядные приборы». М., 1974, вып. 1 (25).
5. В. Е. Привалов, А. Е. Синельников. О создании эталонов угла и угловой скорости на основе кольцевых ОКГ.— «Измерительная техника», 1974, № 3.
6. Б. В. Рыбаков и др. Амплитудные и частотные характеристики кольцевого лазера.— «ЖЭТФ», 1969, т. 57, с. 1185.
7. В. Е. Привалов. Измерение параметров движения с использованием ОКГ.— «Метрология и измерительная техника», 1974, № 7.
8. I. R. Schneider.— "Space Aeronautics," 1967, № 3.
9. R. H. Blazy, I. R. Schneider.— "Oil and Gas J.", 1969, v. 32, № 5.
10. Е. П. Гершт. Лазерный анемометр.— «Метеорология и гидрология», 1969, № 2.
11. Е. П. Гершт. Измерение скорости с помощью лазера.— «Измерительная техника», 1971, № 11.
12. Б. И. Баширов и др. Применение кольцевого лазера для измерения массового расхода газа.— В кн.: Труды метролог. институтов. М., «Стандарт», 1972, № 136.
13. Г. Б. Меламуд и др. К вопросу измерения расхода лазерным расходомером.— В кн.: Использование ОКГ в науке и технике. Л., ЛДНТП, 1973.
14. Ю. Г. Захаренко, В. Е. Привалов, Л. П. Ткаченко. О механических напряжениях в окнах, установленных под углом Брюстера.— «Оптико-механическая промышленность», 1974, № 7.

Поступило в редакцию 9 июля 1974 г.,
окончательный вариант — 29 октября 1974 г.

УДК 533.583 : 621.378

В. И. БОБРИК, Ю. Д. КОЛОМНИКОВ
(Новосибирск)

ОТПАЯННЫЕ ЯЧЕЙКИ НЕЛИНЕЙНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ДЛЯ ОКГ НА $\lambda = 3,39$ мкм

В Сибирском научно-исследовательском институте метрологии разработана установка для измерений длин волн ОКГ, в которой в качестве образцового источника излучения используется излучение с длиной волны $\lambda = 3,39$ мкм, стабилизированное по центру линии поглощения метана [1]. Важным элементом такого ОКГ как прибора является отпаянная ячейка нелинейного поглощения, которая, как правило, имеет небольшой срок службы. Например, срок службы отпаянных ячеек небольшого объема (~ 50 см³) при давлении метана $\sim 10^{-2} \div 10^{-3}$ мм рт. ст. равен нескольким дням. Это вызвано увеличением со временем общего давления газа в ячейке, по-видимому, за счет выделения примесей из ее стенок и других процессов.

Для стабилизации низкого давления метана и увеличения долговечности отпаянных ячеек нами использовались газопоглотители в виде активированного угля и титанового распыляемого геттера. Активированный уголь предпочтителен в лабораторных условиях, так как технология использования его проста [2] и позволяет при необходимости вновь наполнять метаном ячейку, не меняя газопоглотитель.