

6. С. Л. Горелик, Б. М. Кац, Л. Н. Палатник. О некоторых возможностях использования ЭЛТ для обработки графической информации.— В кн.: Оптическая и электронно-оптическая обработка информации. М., «Наука», 1974. 103 с.
7. С. Л. Горелик, Б. М. Кац, Л. Н. Палатник. Электронно-оптический синтез пространственно-временных фильтров.— «Техника кино и телевидения», 1972, № 11, с. 53.
8. Г. Г. Вайнштейн. Пространственная фильтрация изображений средствами аналоговой вычислительной техники.— В кн.: Иконика. М., «Наука», 1970.
9. Ф. Д. Межов, В. С. Нощенко, А. В. Серединский. Двумерный фильтр для подавления помех в телевизионном изображении.— «Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения», 1968, вып. 1, с. 19.
10. J. K. Hawkins, G. T. Elerding, K. W. Bixby, P. A. Haworth. Automatic extraction of topographic map intelligence from aerial photos.— "IEEE Intern. Comm. Conf.", 1966, vol. 2, p. 52.
11. В. В. Чернышов. Полифункциональная модель системы рецептивных полей.— «Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения», 1968, вып. 1, с. 35.
12. И. И. Цуккерман. Преобразование электронных изображений. М.—Л., «Энергия», 1972.
13. И. А. Байкин. Пространственная фильтрация изображений путем одновременной развертки апертурами различной формы и размера.— «Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника кино и телевидения», 1969, вып. 4, с. 52.

*Поступила в редакцию 5 января 1976 г.;
окончательный вариант — 29 июня 1976 г.*

УДК 621.378.33

С. П. БОРИСОВСКИЙ, В. В. ТЕСЕЛКИН, С. П. ШЛЫКОВА
(Рязань)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА С МЕТАНОВОЙ ЯЧЕЙКОЙ на $\lambda=3,39$ мкм

Введение. Исследование спектра генерации He-Ne газовых лазеров с излучением на $\lambda=3,39$ мкм представляет значительный интерес, поскольку взаимодействие излучения на этой длине волны с метановой поглощающей средой позволяет получить узкие пики мощности, которые можно использовать для стабилизации частоты когерентного излучения [1]. В [2—5] было показано, что если лазер генерирует две частоты, то возможно появление второго пика. Однако экспериментальные зависимости от параметров лазеров не приводились.

В данной работе исследовались энергетические характеристики He-Ne ОКГ с внутренней ячейкой поглощения (CH_4), генерирующего на $\lambda=3,39$ мкм, в зависимости от спектра частот генерации.

Эксперимент. В эксперименте использовался лазер, резонатор которого был образован плоским и сферическим ($R=2$ м) зеркалами. Коэффициенты отражения зеркал составляли 70 и 98% соответственно. Сферическое зеркало крепилось на пьезокорректоре КП-1 с чувствительностью в области линейности характеристики $3 \cdot 10^{-2}$ мкм/В.

Сигнал с фотосопротивления СФ-4 подавался на широкополосный усилитель, затем — на вход осциллографа. При этом на экране осциллографа наблюдалась зависимость мощности излучения лазера от частоты. Развертка осциллографа была синхронизирована с напряжением, подаваемым на пьезокорректор. Активный элемент и ячейка поглощения непосредственно были связаны с откачной системой. Давление метана в ячейке измерялось манометром ВИТ-1А. Измерение давления He-Ne при составлении смеси и наполнении осуществлялось мем-

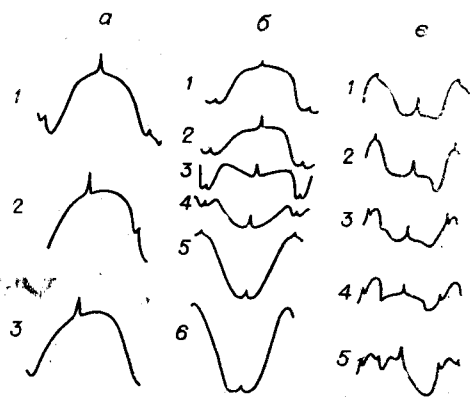


Рис. 1. Осциллограммы зависимости мощности излучения от частоты:
 а — $l_{a.э.} = 300$ мм; $l_{дч} = 300$ мм; $c/2L = 200$ МГц; $P_{CH_4} = 2 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.; He-Ne=17:1; P_{He-Ne} : кривая 1—3 мм рт. ст.; 2—2,8 мм рт. ст.; 3—2,7 мм рт. ст.; б — $P_{He-Ne} = 3$ мм рт. ст.; He-Ne=17:1, $c/2L = 200$ МГц; P_{CH_4} : кривая 1— $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.; 2— $1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.; 3— $3 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.; 4— $5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.; 5— $7 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.; 6— $4 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст.; в — $P_{CH_4} = 2 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.; He-Ne=10:1; $l_{a.э.} = 400$ мм; $c/2L = 125$ МГц; P_{He-Ne} : кривая 1—3 мм рт. ст.; 2—2,7 мм рт. ст.; 3—2,5 мм рт. ст.; 4—2,3 мм рт. ст.; 5—2,2 мм рт. ст.

ке двух частот относительно центра контура поглощения метана. Точное совмещение одночастотного пика с максимумом зависимости мощности от частоты соответствует 3 мм. рт. ст. Дальнейшее увеличение давления приводит к уменьшению контрастности пиков.

Исследовались зависимости мощности излучения от частоты при различных давлениях метана в поглощающей ячейке. Рост давления метана от $5 \cdot 10^{-3}$ до $4 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст. приводит к увеличению поглощения. Отметим, что если на рис. 1, б (1) пик мощности излучения, соответствующий одночастотному режиму, находится на вершине кривой усиления, то на рис. 1, б (6) он — в провале, причем пик уширен давлением. Ширина и форма провала характеризуют контур метана, который уже контура усиления. Генерация в двухчастотном режиме происходит на краях доплеровского контура усиления. До давления метана $3 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. мощность генерации на двух частотах ниже, чем в одночастотном режиме, а начиная с давления $5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст., — выше. Таким образом, пик в мощности излучения, соответствующий одночастотному режиму, не всегда находится в максимуме и его наличие в максимуме или минимуме определяется соотношением величин усиления и поглощения, а также величиной $c/2L$, что будет показано ниже.

В длинных резонаторах можно наблюдать также третий пик, представленный на осциллограммах рис. 1, в. Третий пик возникает при 2,1 мм рт. ст. и соотношении He-Ne=10:1. В этом режиме однородная ширина линии меньше, чем

бранным манометром ВГД-1. Регистрация частотного спектра производилась сканирующим интерферометром.

Осциллограммы мощности излучения лазера от перестройки частоты при изменении давления гелий-неоновой смеси в активном элементе в пределах 1,5—3 мм рт. ст. приведены на рис. 1, а. Использовалась 50%-ная смесь изотопов Ne^{22} и Ne^{20} . Соотношение He-Ne 17:1. Давление метана в ячейке составляло $2 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. Длина резонатора соответствовала $c/2L = 200$ МГц. При давлении смеси 2,7 мм рт. ст. наблюдается четко выраженный пик, который смещен относительно максимума зависимости мощности излучения от частоты. Начиная с 2,8 мм рт. ст. возникает второй пик, отстоящий от основного на $c/4L$. Появление второго пика вызвано присутствием в спектре второй частоты и соответствует симметричной настройке

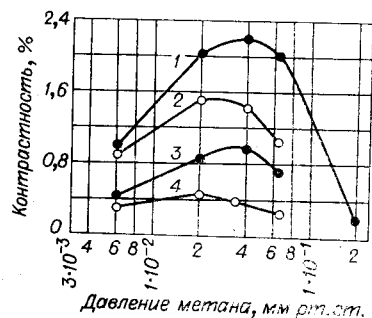


Рис. 2. Зависимость контрастности одночастотного и двухчастотного пиков от давления CH_4 в ячейке поглощения:

$P_{a.э.} = 2,8$ мм рт. ст.; $l_{погл.} = 400$ мм; 1-й пик, $l_{ус.}$: кривая 1—400 мм; 2—300 мм; 2-й пик, $l_{ус.}$: 3—400 мм; 4—300 мм.

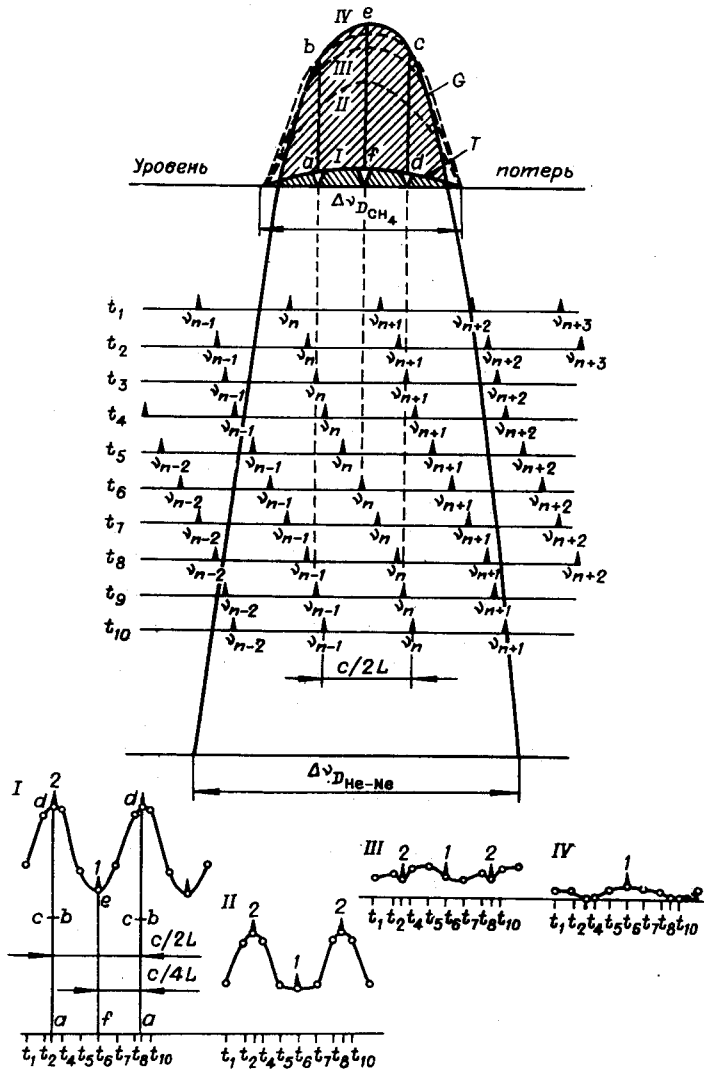


Рис. 3. Качественное представление механизма генерации лазера с поглощающей средой внутри резонатора (центры линий усиления и поглощения совпадают):

G — контур линии усиления; T — контур линии поглощения; $\Delta\nu_{DCH_4}$ — ширина доплеровского контура линии поглощения; $\Delta\nu_{DHe-Ne}$ — ширина доплеровского контура линии усиления $\lambda=3,39$ мкм; ν_n ; $\nu_{n\pm 1}$ — собственные частоты резонатора; t_1 , t_2 — моменты времени наблюдения; 1 — пик, соответствующий центральной настройке одной частоты относительно линии поглощения; 2 — пик при симметричной настройке двух частот относительно центра линии поглощения; I—IV — диаграммы мощности излучения при различных уровнях резонансного поглощения $T_I, < T_{II}, < T_{III}, < T_{IV}$; a , b , d , c , e — точки построения.

при 3 мм рт. ст. и соотношении He-Ne=20:1, а усиление выше. Этот пик возникает в области между пиками, вызванными одночастотным и двухчастотным режимами. При 2,2 мм рт. ст. он пропадает и с дальнейшим увеличением давления до 3 мм рт. ст. в контуре содержится два пика, а затем один пик (одночастотный режим). С ростом давления контрастность пиков увеличивается, а кривая мощности становится более симметричной. По-видимому, возникновение третьего пика связано с генерацией на моде TEM_{01} , продольные частоты которой отстают от

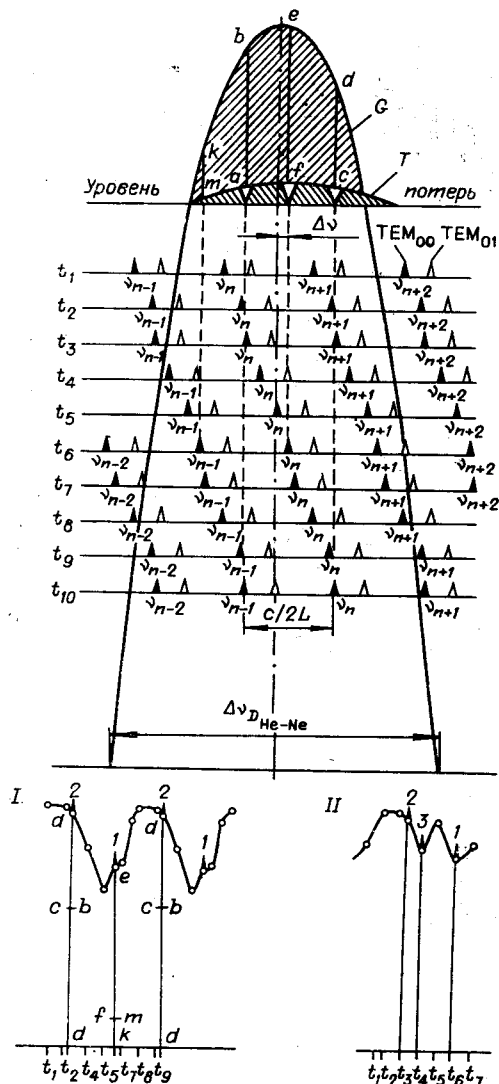


Рис. 4. Качественное представление механизма генерации лазера с поглощающей средой внутри резонатора (центры линий усиления и поглощения не совпадают):

1 и 2 — то же, что на рис. 3; 3 — пик, образующийся за счет насыщения частоты моды TEM_{01} ; I — диаграмма мощности излучения (с учетом моды TEM_{01}); II — диаграмма мощности излучения (без учета моды TEM_{01}).

пределах линии усиления над пороговым уровнем. Результаты построения показывают, что пик, образованный одной частотой, может находиться либо на вершине кривой, либо в провале. Его расположение определяется межмодовым расстоянием и отношением усиления к потерям. Эти же факторы определяют появление второго и третьего пиков. В случае IV (см. рис. 3) в максимуме контура наблюдается пик; в случаях I—III на контуре наблюдается два пика с расстоянием между ними $c/4L$. Пик, образованный одной частотой, при этом находится в минимуме, а образованный двумя частотами, — в максимуме. В припороговом режиме и при межмодовом расстоянии $c/2L$, близком по величине к ширине доплеровского контура на уровне нерезонансных потерь, наблюдается

частот основной моды для данной геометрии резонатора на 35 МГц. Из зависимостей контрастности одночастотного и двухчастотного пиков от давления метана в ячейке для усиливающихся сред с $l=400$ и 300 мм (рис. 2) видно, что амплитуды пиков возрастают с увеличением длины активного элемента l_a . Ход кривых немонотонный. Необходимо отметить, что кривые зависимости контрастности пиков в одночастотном и двухчастотном режимах генерации подобны.

Анализ экспериментальных данных. Схематично были рассмотрены возможные режимы генерации лазера с поглощающей средой внутри резонатора (рис. 3, 4). На рис. 3 рассмотрен случай, когда центры линий усиления и поглощения совпадают, на рис. 4 — при расстройке между центрами линий усиления и поглощения. Приведенные рисунки позволяют проследить характер изменения мощности излучения при различных настройках частот по отношению к центру линии поглощения и показать, что симметрия этой кривой возможна при точном совмещении центров линий усиления и поглощения. Для построения указанных зависимостей интегральной мощности излучения от времени наблюдения было рассмотрено положение «гребенки» собственных частот резонатора в различные моменты времени. Было принято, что интегральная мощность пропорциональна суммарному вкладу всех частот, находящихся в данный момент времени в

обратная картина (пик, образованный одной частотой, находится в максимуме, а образованный двумя частотами,— в минимуме), что согласуется с работой [6]. Рис. 4 позволяет проиллюстрировать деформацию контура мощности излучения при расстройке контуров усиления и поглощения. В рассматриваемом случае пики наблюдаются на склонах. Если учесть возможность генерации частоты моды TEM_{01} , то возможно появление третьего пика (см. рис. 4, II).

Заключение. Полученные данные могут быть использованы для прецизионной стабилизации спектра газового лазера с излучением на $\lambda=3,39$ мкм не только в одночастотном, но и в двух- и трехчастотном режимах, что важно для получения высокостабильного сигнала в радиочастотном диапазоне. Кроме того, по зависимости мощности излучения от частоты в двухчастотном режиме возможно более точное совмещение центров линии поглощения метана и линии усиления неона. Это позволяет улучшить предельные значения стабильности и воспроизводимости лазера в режиме генерации на одной частоте.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Летохов. Частотный эффект в лазере с нелинейно-поглощающим газом.— «ЖЭТФ», 1968, т. 54, вып. 4, с. 1244—1253.
2. И. М. Бетеров, Ю. А. Матюгин, Г. А. Милушкин, Б. И. Трошкин, В. П. Чеботаев. Высокостабильный газовый лазер на основе поглощения ($\lambda=0,63$ мкм). ч. I. Методы стабилизации частоты мощных газовых лазеров.— «Автометрия», 1972, № 5, с. 71—85.
3. С. Н. Багаев, А. К. Дмитриев, В. П. Чеботаев. Узкие резонансы в газовом лазере в режиме генерации двух частот.— «Опт. и спектр.», 1974, т. XXXVI, вып. 3, с. 531—538.
4. С. Н. Багаев, А. К. Дмитриев, В. П. Чеботаев. Двухчастотный оптический стандарт.— «Письма в ЖЭТФ», 1972, т. 15, вып. 2, с. 91—94.
5. Toshihisa Tako, Tadshi Akahane, Tashiuyuki Hara.— "Jap. J. Appl. Phys.", 1974, vol. 13, № 2, p. 389—390.

*Поступила в редакцию 14 июля 1975 г.;
окончательный вариант — 30 декабря 1975 г.*

УДК 532.57

В. М. ЛАТЫШЕВ

(Москва)

ОПТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Оптический спектральный метод измерения скорости течения жидкости, основанный на пространственной фильтрации и фотоэлектрической регистрации движения изображений различного рода оптических неоднородностей, успешно применяется при гидродинамических исследованиях [1—3].

Достоинства оптических измерителей скорости течения (ИСТ) на основе этого метода: сравнительная простота оптической схемы измерений; определенная универсальность, связанная с возможностью использования в качестве меток потока оптических неоднородностей самого различного характера (взвешенных частиц, естественных флуктуаций плотности, температуры, собственной светимости и т. п.); отсутствие требований монохроматичности, когерентности, поляризации пуч-