

06,3

© 1990

ВНУТРИЛАЗЕРНЫЙ ГЕТЕРОДИННЫЙ ПРИЕМ
ОТРАЖЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯГ.И. К о з и н, В.В. П е т р о в,
Е.Д. П р о ц е н к о

В работе [1] теоретически было рассмотрено влияние отраженного излучения на мощность и частоту генерации газового лазера. Было также показано экспериментально в [2], что модуляция мощности генерации при приеме на лазер отраженной волны может использоваться для высокочувствительной регистрации слабых отраженных сигналов. Модуляция частоты регистрируется, как правило, с более высокой чувствительностью, однако детектирование отраженного излучения по девиации частоты генерации до сих пор не реализовано. В данной работе предложен и экспериментально реализован метод детектирования слабого отраженного излучения по девиации частоты биений двухмодового лазера.

Для расчета частотных характеристик трехзеркального резонатора, образованного зеркалами R_1, R_2 и слабым дополнительным зеркалом R_3 (рис. 1), воспользуемся уравнениями самосогласования для комплексных амплитуд $A_{1,2}$ бегущих из резонатора волн на поверхностях выходных зеркал [3]:

$$\rho_1 \rho_2 G_1^2 \exp[-i\omega 2L_1/c] A_1 - \epsilon_2 \rho_3 G_1 G_2 \exp[-i\omega(L_1+L_2)/c] A_2 = A_1,$$

$$-\epsilon_2 \rho_1 G_1 G_2 \exp[-i\omega(L_1+L_2)/c] A_1 - \rho_2 \rho_3 G_2^2 \exp[-i\omega 2L_2/c] A_2 = A_2. \quad (1)$$

Здесь ρ_i - амплитудный коэффициент отражения зеркала $R_i, i = 1, 2, 3$; ϵ_2 - коэффициент пропускания среднего зеркала R_2 по амплитуде; G_1, G_2 - комплексные коэффициенты пропускания, определяющие усиление либо поглощение излучения в отсеках R_1, R_2 и R_2, R_3 ; L_1, L_2 - оптические длины отсеков. Выражая A_2 через A_1 , можно получить уравнение:

$$\rho_1 G_1^2 \exp[-i\omega 2L_1/c] \cdot \left\{ \rho_2 + \epsilon_2^2 \rho_3 G_2^2 \exp[-i\omega 2L_2/c] \right\} \times$$

$$\times \left[1 + \rho_2 \rho_3 G_2^2 \exp[-i\omega 2L_2/c] \right]^{-1} = 1.$$

Разделяя действительные и мнимые части, для случая $\epsilon_2^2 \rho_3 \ll \rho_2$ можно получить уравнение для определения спектра мод такого резонатора;

$$2\omega L_1/c + \epsilon_2^2 \rho_2^{-1} \rho_3 G_2^2 \sin[2\omega L_2/c] = 2\pi q, \quad q \in N. \quad (2)$$

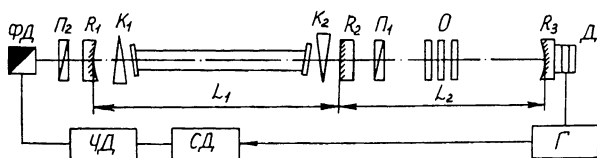


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Анализ (2) показывает, что наличие слабого дополнительного зеркала R_3 приводит к малому возмущению спектра резонатора R_1, R_2 . Величина возмущения в общем случае L_1 , не равного L_2 , периодически меняется с ростом частоты. При этом максимальное изменение частоты ν трехзеркального резонатора относительно частоты ν_0 резонатора R_1, R_2 ($\rho_3 = 0$), как видно из (2), не превышает $(c/4\pi L_1) G_2^2 \rho_2^{-1} \rho_3 G_2^2$.

Легко показать, что при выполнении условия $G_2^2 \rho_2^{-1} \rho_3 G_2^2 \ll \pi L_1 / 2L_2$ зависимость ν от L_2 хорошо описывается выражением:

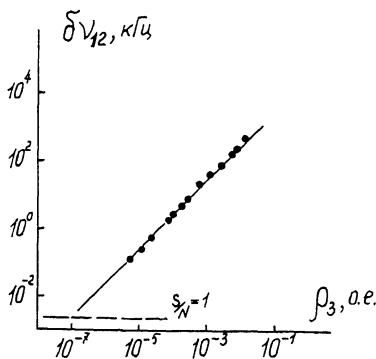
$$\nu = \nu_0 - (c/4\pi L_1) \cdot G_2^2 \rho_2^{-1} \rho_3 G_2^2 \cdot \sin(4\pi L_2 / \lambda), \quad (3)$$

где λ — длина волны излучения. При диффузном отражении эффективный коэффициент отражения равен $\rho_3 = \rho_3^0 d / 2\sqrt{2} \cdot L_2$, где ρ_3^0 — коэффициент отражения поверхности в телесный угол 2π , d — диаметр активного элемента. В этом случае условие применимости (3) имеет вид: $G_2^2 \rho_2^{-1} \rho_3^0 G_2^2 \cdot d \ll \pi \sqrt{2} L_1$. Для газовых лазеров характерно: $d \sim 10^{-2} - 10^{-3}$ м, $L_1 \approx 0.1 \div 1$ м. Поэтому (3) применимо как для лазеров на слабых переходах, когда $G_2^2 \rho_2^{-1} \sim 10^{-1} - 10^{-2}$, так и для лазеров с большим усилением активной среды, когда возможно использование слабоотражающего зеркала $R_2: G_2^2 \rho_2^{-1} \sim 1$.

При изменении L_2 частота ν , согласно (3), периодически меняется относительно ν_0 с амплитудой $\Delta\nu_{max} = (c/4\pi L_1) G_2^2 \rho_2^{-1} \rho_3 G_2^2$, которая растет при увеличении коэффициента отражения зеркала R_3 и увеличении пропускания зеркала R_2 . Девияция частоты оптического диапазона регистрируется с высокой чувствительностью при использовании измерений девиации частоты биений ν_{12} соседних продольных ортогонально-поляризованных мод фазоанизотропного резонатора. Селективное воздействие отражателя на одну из мод можно обеспечить выделением с помощью поляризатора этой моды в выходном излучении через зеркало R_2 .

Предложенный метод регистрации слабого отраженного излучения был реализован экспериментально на примере $He-Ne$ ($\lambda = 3.39$ мкм) лазера. Резонатор лазера был образован сферическим зеркалом и плоским зеркалом R_2 (рис. 1). Для генерации лазера на двух ортогонально-поляризованных модах использовалась оптическая схема резонатора с двумя фазоанизотропными клиновидными пластинками $K_{1,2}$ [4]. Излучение одной из мод, выходящее

Рис. 2. Экспериментальная зависимость амплитуды девиации частоты биений $\delta\nu_{12}$ от эффективного амплитудного коэффициента отражения зеркала R_3 ($\nu_{12}^0 \approx 6$ МГц, $R_2 = 0.195$).



через плоское зеркало, отражалось в обратном направлении сферическим зеркалом R_3 , установленным на расстоянии $L_2 \approx 55$ см от R_2 . Излучение

другой моды поглощалось поляризатором P_1 . Для управления оптической длиной L_2 зеркало R_3 крепилось на пьезокерамическом движителе A , на который подавалось синусоидальное напряжение частотой 13.7 кГц с регулируемым постоянным смещением. Источником переменного напряжения служил звуковой генератор G . Биения мод регистрировались с помощью второго поляризатора P_2 и фотодиода ФД. Частотно-модулированный сигнал детектировался частотным детектором ЧД, а сигнал на частоте модуляции L_2 измерялся синхронным детектором СД. Эффективный коэффициент отражения ρ_3 регулировался с помощью стеклянных ослабителей U . Мощность каждой из мод, излучаемая через R_2 , измеренная термокалориметром ИМО-2, составляла ≈ 0.5 мВт.

В эксперименте для оценки чувствительности предложенного метода была получена зависимость амплитуды девиации частоты биений $\delta\nu_{12}$ от эффективного коэффициента отражения ρ_3 (рис. 2). Для достижения максимальной величины $S\nu_{12}$ амплитуда колебания зеркала R_3 составляла $\approx \lambda/8$. Зависимость линейна при используемых в эксперименте значениях ρ_3 , что согласуется с (3). Наклон экспериментальной зависимости меньше по сравнению с расчетной на величину $\approx 50\%$. Как было выяснено, несовпадение связано в основном с эффектом сильного линейного затягивания к центру линии усиления, который характерен для $He-Ne$ ($\lambda = 3.39$ мкм) лазера. Экстраполяция полученной прямолинейной зависимости до уровня шумов экспериментальной аппаратуры позволяет оценить минимально регистрируемый амплитудный коэффициент отражения дополнительного зеркала R_3 . При времени усреднения СД, равном 1 с, он составил $\rho_3^{min} \approx 8 \cdot 10^{-8}$.

Предложенный метод был также опробован при регистрации отраженного излучения от диффузного рефлектора. Длина трассы составляла 56 м, отражателем служил или неполированный люр-алюминий, или наждачная бумага, хорошо моделирующая рассеивающие свойства естественных диффузных отражателей. Модуляция оптической длины трассы осуществлялась колебаниями отражателя с амплитудой $\approx \lambda/8$. Трасса прерывалась дополнительно обтуратором с частотой 60–70 Гц, что позволяло использовать фазовое детектирование при обработке сигнала. Тракт электронной

обработки сигнала состоял из ЧД, селективного усилителя с полой пропускания 200 Гц, настроенного на частоту модуляции оптической длины трассы, детектора огибающей и СД, измеряющего сигнал на частоте прерывания. При времени интегрирования 10 с отношение сигнала к шуму составило $(7-12) 10^3$ и 300-500 для отражателя из дюралюминия и наждачной бумаги соответственно.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Берштейн И.Л. Изв. вузов. Сер. Радиофизика. 1973. Т. 16. № 4. С. 526-530.
- [2] Берштейн И.Л., Степанов Д.П. Изв. вузов. Сер. Радиофизика. 1973. Т. 16. № 4. С. 531-535.
- [3] Желтухин А.А., Козин Г.И., Коновалов И.П., Петров В.В. В сб.: Газовые лазеры / Под ред. Проценко Е.Д. М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 47-57.
- [4] Козин Г.И., Коновалов И.П., Петровский В.Н. и др. Квантовая электрон. 1980. Т. 7. № 11. С. 2405-2414.

Поступило в Редакцию
18 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 23

12 декабря 1990 г.

06.3

© 1990

ЗЕЛЕННЫЕ SiC-6H СВЕТОДИОДЫ

Б.И. Вишневская, В.А. Дмитриев,
Л.М. Коган, Я.В. Морозенко,
В.Е. Челноков, А.Е. Черенков

Спектры излучения светодиодов, выпускаемых современной промышленностью, перекрывают почти весь видимый диапазон. Зеленые, желтые и красные промышленные светодиоды изготавливаются на основе соединений A_3B_5 . Их коротковолновая граница определяется GaP-светодиодами (длина волны максимума электролюминесценции $\lambda_{max} = 555$ нм), что соответствует границе зеленого и желто-зеленого цветов (рис. 1, г). Синие и фиолетовые светодиоды изготавливаются на основе карбида кремния: использование SiC политипа 6H позволило разработать промышленные синие светодиоды с $\lambda_{max} = 470-480$ нм [1, 2] (рис. 1, б), использование SiC политипа 4H - создать первые фиолетовые