

С.Д. Бураков, А.П. Годлевский, Е.П. Гордов, Н.Е. Губайдуллин, А.И. Жилиба, С.А. Останин

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДА УЗКОПОЛОСНОЙ ВРЛС ЗА СЧЕТ ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ

Теоретически и экспериментально исследована схема узкополосной внутрирезонаторной спектроскопии, в которой зондирование слабого поглощения ведется на частоте лазерного излучения, а регистрация — на удвоенной. Показано, что в такой схеме достигается выигрыш в чувствительности по сравнению с традиционной методикой.

В методе внутрирезонаторной лазерной спектроскопии (ВРЛС) [1] для детектирования слабого поглощения наиболее часто применяется следующий общий подход: ослабление мощности определяется на частоте лазерного излучения (ЛИ). В данной работе исследуется эффективность другого подхода: регистрируется не непосредственно поглощение ЛИ на основной частоте, а его влияние, которое оно оказывает на относительные изменения мощности второй гармоники (ВГ). Связь волн ЛИ и ВГ осуществляется в процессе внутрирезонаторной генерации второй гармоники (ВГВГ), Возможность объединения метода ВРЛС с ВГВГ обсуждалась в [2, 3].

Процесс ВГВГ будем описывать следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{n}_1 &= -(C_1 + kn_1)n_1 + W N n_1, \\ \dot{N} &= v - \frac{N}{T_1} - W n_1 N, \end{aligned} \quad (1)$$

где n_1 — плотность числа фотонов на частоте ЛИ ω ; N — инверсная населенность; C_1 — ширина полосы резонатора без потерь на ВГВГ; $k = g^2/C_2$, где g — характеризует нелинейную связь волн ЛИ и ВГ, C_2 — ширина полосы резонатора на 2ω ; W — величина, пропорциональная сечению усиления активной среды; v — скорость накачки; T_1 — время релаксации инверсной населенности.

При получении (1) мы воспользовались уравнениями, описывающими динамику лазера, такого как YAG:Nd³⁺, CO₂ [4] в предположении, что атомы активной среды не взаимодействуют с полем ВГ. Процесс ВГВГ описывался на основе уравнений, полученных в [5]. Уравнение для ВГ адиабатически исключено ($C_2 \gg C_1, T_1^{-1}$). В случае, когда инверсия населенности «следит» за полем ($T_1^{-1} \gg C_1$), динамика лазера в системе внутрирезонаторного лазерного спектрометра, объединенного с ВГВГ, описывается моделью Лэмба [3]. Из (1) следует, что средняя мощность излучения P_1 , генерируемого активной средой на частоте ω , и преобразованного во ВГ P_2 имеет вид:

$$P_1 = (C_1 + kn_1)n_1; \quad (2)$$

$$P_2 = kn_1^2. \quad (3)$$

Оценим чувствительность регистрации $P_{1,2}$, рассмотрев отношение $\delta P_{1,2}/P_{1,2}$, где $\delta P_{1,2}(C_1 + \delta C_1) - P_{1,2}(C_1)$:

$$\delta P_1/P_1 = \delta n_1/n_1; \quad (4)$$

$$\frac{\delta P_2}{P_2} = 2 \frac{1 - \alpha}{1 + 2\alpha} \cdot \frac{\delta P_1}{P_1}, \quad (5)$$

где $\alpha \equiv kn_1/C_1$ характеризует долю нелинейной нагрузки резонатора по отношению к линейной. В случае $\alpha < 1$

$$\delta P_2/P_2 = 2(1 - \alpha)(\delta P_1/P_1). \quad (6)$$

Отметим, что чувствительность определения поглощения на ω не ухудшается по сравнению с вариантом ВРЛС без ВГВГ [3]. Таким образом, в этих условиях ВГВГ чувствительность детектирования малых изменений сигнала на частоте ω путем регистрации $\delta P_2/P_2$ почти в два раза выше по сравнению с традиционным способом. Случай ВГВГ, когда $\alpha > 1$, неблагоприятен с точки зрения повышения чувствительности.

В лабораторном эксперименте исследовалась зависимость изменения мощности на длине волны 0,53 мкм при изменении потерь в резонаторе лазера, генерирующем на длине волны 1,0641 мкм. Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Резонатор излучателя образован тремя зеркалами с многослойными диэлектрическими покрытиями на основе окислов циркония: глухим плоским зеркалом 7 с коэффициентом пропускания не более 0,024%, параметрическим зеркалом 3 с коэффициентом пропускания на длине волны 0,532 мкм 92,4% и 0,2% на длине волны 1,0641 мкм (радиус кривизны 251 мм) и плоским зеркалом 5 с коэффициентом отражения на длине волны 0,532 мкм – 99,2% и длине волны 1,0641 мкм – 99,84%.

Излучение на основной длине волны (1,0641 мкм) осуществлялось квантроном 6, активной средой в котором служит имеющий диаметр 5 мм и длину 100 мм кристалл YAG:Nd³⁺. Лазер генерировал в непрерывном режиме. Преобразование во вторую гармонику осуществлялось преобразователем частоты 4 (МЧ-109), в качестве которого использовался нелинейный кристалл йодата лития.

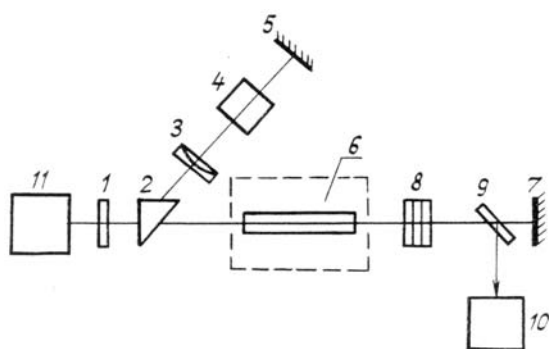


Рис. 1. Схема установки: 1 – выходное окно; 2 – призма; 3, 5, 7 – зеркала резонатора; 4 – преобразователь МЧ-109; 6 – квантрон К-301Б; 8 – ослабители; 9 – стеклянная пластинка для вывода излучения; 10, 11 – измерители мощности LM2

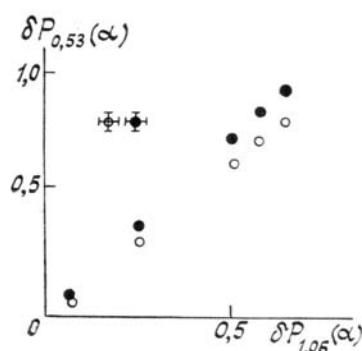


Рис. 2. Зависимость относительного изменения мощности генерации YAG: Nd³⁺-лазера на $\lambda = 0,53$ мкм от относительного изменения мощности генерации на $\lambda = 1,0641$ мкм: ● – $t = 10^\circ\text{C}$; ○ – $t = 30^\circ\text{C}$

Излучение с длиной волны 1,0641 мкм выводилось из резонатора полупрозрачной пластинкой 9 и регистрировалось измерителем мощности M2 (производство фирмы «Карл Цейс Йена»). Излучение с длиной волны 0,53 мкм поворачивалось призмой 2 и через выходное окно 1 попадало на аналогичный измеритель мощности 11.

Для изменения величины потерь на длине волны 1,0641 мкм в резонатор последовательно вводились ослабители излучения 8, представляющие собой стеклянные пластинки малой толщины.

На рис. 2 представлены экспериментальные данные зависимости изменения мощности генерации лазера на второй гармонике ($\lambda = 0,53$ мкм) от изменения мощности генерации, путем введения ослабителей в резонатор, на длине волны 1,0641. По осям откладывалось относительное изменение мощности $\delta P(\delta C_1)/P$, где P – мощность на соответствующей длине волны в отсутствие ослабителей в резонаторе; δC_1 – оптическая толщина ослабителя.

Из графика видно, что любому изменению мощности генерации на $\lambda = 1,0641$ соответствует большее изменение мощности генерации на $\lambda = 0,53$ мкм, что можно трактовать как повышение чувствительности. Количественно выигрыш в чувствительности можно выразить отношением

$$\Delta \equiv (\delta P_{0,53}/P_{0,53})/(\delta P_{1,06}/P_{1,06}).$$

В экспериментах было зарегистрировано $\Delta = 1,2$ при температуре кристалла YAG: Nd³⁺ $t_{кр} = 10^\circ\text{C}$ и $\Delta = 1,1$ при $t_{кр} = 30^\circ\text{C}$.

Таким образом показано, что существует принципиальная возможность проводить эффективную регистрацию сигнала на удвоенной частоте. В случае относительных измерений вариаций ЛИ, например из-за селективного поглощения, регистрация сигнала на удвоенной частоте приводит к дополнительному (по отношению к традиционному способу регистрации) выигрышу в чувствительности. При проведении абсолютных измерений ослабления на частоте ЛИ существенно, что абсолютная чувствительность фотоприемных устройств в более коротковолновой области спектра (до 1 мкм), по крайней мере, на порядок выше, чем в дальней и средней ИК области.

1. Пахомичева Л.А., Свириденков Э.А., Сучков А.Ф., Титова Л.В., Чурилов С.С. // Письма в ЖЭТФ. 1970. Т. 12. 60 с.
2. Лукьяненко С.Ф., Макогон М.М. // 6 Всес. симпозиум по молек. спектр. высокого и сверхвысокого разрешения. Томск: ТФ СО АН СССР. 1982. С. 208–209.
3. Гордов Е.П., Жилиба А.И., Макогон М.М. // Материалы VIII Всес. симпозиума по спектр. высокого разрешения. Ч. 1. Томск: ТФ СО АН СССР. 1988. С. 50–53.
4. Хакен Г. Лазерная светодинамика. М.: Мир. 1988. 350 с.
5. Mandel L., Wu Xiago-Guang. // JOSA B. 1986. V. 3. P. 940.

СКВ научного приборостроения «Оптика»
Институт оптики атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступило в редакцию
20 марта 1989 г.

S.D. Burakov, A.P. Godlevskii, E.P. Gordov, N.E. Gubaidullin, A.I. Zhiliba, S.A. Ostanin. **Increase of Sensitivity of Narrow Band Intracavity Laser Spectroscopy due to the Intracavity Generation of the Second Harmonic.**

The paper presents the results of theoretical and experimental studies of the intracavity laser spectroscopy scheme in which sensing of weak absorption is carried out at the basic laser line, while recording is made at the second harmonic. It is shown in the paper that this scheme provides higher sensitivity compared to that of the traditional scheme.