

Ф. А. КОРОЛЕВ, С. М. МАМЕДЗАДЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ РУБИНОВОГО ЛАЗЕРА И ЕГО СВЯЗИ СО СВОЙСТВАМИ РЕЗОНАТОРА

Сложный эталон Фабри—Перо (мультиплекс) в клинообразном и скрещенном режиме был применен для исследования видов резонансных колебаний излучения рубинового лазера при комнатной температуре. Внешние диэлектрические зеркала и торцевые грани рубинового кристалла составляли сложный резонатор, в котором возникали разные виды колебаний, соответствующие разным компонентам резонатора. Мультиплекс—эталон, работающий в клинообразном и скрещенном режиме с разными толщинами распорных колец, позволил разрешить компоненты сверхтонкой структуры спектра рубинового лазера со сложным резонатором.

Введение

В настоящее время интерферометр Фабри—Перо как резонатор для возбуждения резонансных видов колебаний на оптических частотах имеет важное значение. Природа и характеристики типов колебаний оптического резонатора рассматривались в ряде работ [1—8]. В работах Фокса и Ли [1—2] приводятся результаты теоретических исследований возможных типов колебаний в резонаторе оптических квантовых генераторов, образованном двумя отражающими плоскостями.

В работе [3] изучались типы резонансных частот в излучении рубина на волне 6934 Å с помощью интерферометра Фабри—Перо и спектрографа, а также зависимость числа видов колебаний от входной мощности. Подробное изучение типов колебаний оптического резонатора и результаты спектроскопического анализа стимулированного излучения рубина описаны в работах [4—5]. Для изучения характеристик типов колебаний оптического резонатора в работе [4] проводились экспериментальные исследования распределения интенсивности света по сечению пучка рубинового лазера. В работе [6] показано, что излучение рубина обнаруживает пиковую структуру: электромагнитные колебания затухают за время порядка микросекунды и повторяются в виде случайной во времени последовательности до тех пор, пока не прекратится накачка.

Шавловым и Таунсом было показано [7], что оптический резонатор является устройством с большим числом видов колебаний. Методами возможности подавления излишних видов колебаний занимались авторы работы [8].

Настоящая работа имела целью исследовать спектр излучения рубинового лазера в зависимости от свойств резонатора.

§ 1. Описание эксперимента

Оптическая схема установки дана на рис. 1. Для полного освещения лазерным излучением рабочей площади зеркал интерферометра Фабри—Перо была использована телескопическая система T , состоящая из двух линз с фокусными расстояниями $f_1=45$ мм и $f_2=210$ мм. Два простых эталона Фабри—Перо I и II применялись в системе мульти-

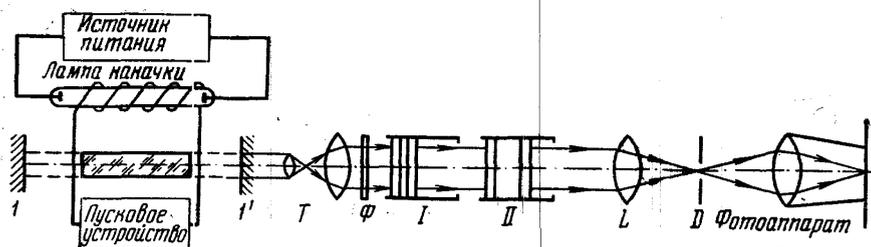


Рис. 1. Оптическая схема установки для исследования излучения рубинового лазера мультиплекс—эталон в клинообразном режиме

плекс в скрещенном [9] клинообразном режиме. Для ослабления лазерного излучения были использованы серые фильтры разной плотности. При определенном положении объектива L ($f=300$ мм) получается система интерференционных точек, образующихся в местах пересечения систем интерференционных полос, даваемых обоими эталонами. В случае исследования рубинового излучения в местах пересечения интерференционных полос наблюдаем сверхтонкую структуру излучения рубинового лазера, соответствующую разным компонентам резонатора.

Съемка производилась при помощи аппарата «Зенит 3М» на астрономической киноплёнке А—700. Кристалл рубина имеет диаметр 11,8 мм и длину 120 мм. В качестве резонатора были использованы внешние диэлектрические зеркала, установленные в специальных держателях; одно из зеркал имело коэффициент пропускания света около 17%, а другое было полностью непрозрачно для излучения рубина. Юстировка эталонов производилась по ртутной лампе специальной конструкции, описанной в работе [10]. Были использованы следующие толщины эталонов I и II: 2,3 мм и 4 мм; 2,3 мм и 10 мм; 2,3 мм и 30 мм. Коэффициент отражения зеркал в эталонах составлял 93—95% для исследуемой длины волны. Линии ртутного спектра фотографировались через эталоны с применением желтого светофильтра из «набора светофильтров для выделения линий ртутного спектра».

Исследования проводились при мощности накачки, в 2 раза превышающей пороговую.

§ 2. Экспериментальные результаты

Для выбора подходящего значения распорного кольца для разрешения полос и компонентов в интерферограмме излучения рубинового лазера были испробованы распорные кольца с разными толщинами. Интерферограмма при распорном кольце 2,3 мм (рис. 2) имеет 10 линий, отстоящих друг от друга на $0,16$ см⁻¹. Но такая величина области дисперсии не соответствовала никаким компонентам в резонаторе лазера (рис. 3). Можно предположить, что эти линии вызваны взаимодействием различных компонентов резонатора.

Для выявления сверхтонкой структуры спектра лазерного излучения были проведены измерения со скрещенным мультиплекс—эталон

в клинообразном режиме, при разных значениях толщины распорного кольца второго эталона (и с постоянной толщиной первоначального эталона $h=2,3$ мм).

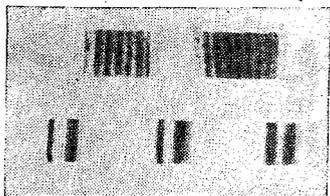


Рис. 2. Интерферограмма лазерного излучения, снятая с простым эталоном $h=2,3$ мм. Снизу интерферограмма ртутного излучения для $\lambda=5780$ Å

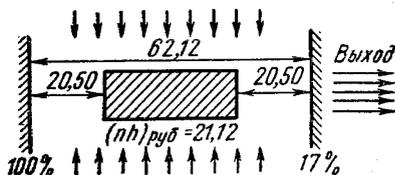


Рис. 3. Компоненты оптического резонатора в рубиновом лазере

Как известно [11], скрещенные пластинки позволяют увеличить область дисперсии. Клинообразные пластинки в свою очередь обладают большей разрешающей силой, нежели плоскопараллельные пластинки при тех же толщинах и коэффициентах отражения зеркальных слоев [12]. Благодаря таким качествам скрещенного мультиплекс—эталона в клинообразном режиме нам удалось выявить сверхтонкую структуру в интерферограммах.

Для промера интерферограмм излучения рубинового лазера, снятых через мультиплекс—эталон по принципу скрещения в клинообразном режиме, через каждый эталон в отдельности были сфотографированы при тех же условиях в эталонах линии ртутного спектра. По результатам работы [13] была сделана полная расшифровка компонентов ртутных линий и определена величина линейной дисперсии для интерферограмм лазерного излучения.

Для вычисления величин линейной дисперсии интерферограмм лазерного излучения была использована формула, определяющая величину линейной дисперсии

$$\frac{dx}{d\tilde{\nu}} = \frac{h}{\varphi} \frac{1}{\tilde{\nu}},$$

где h — толщина клинообразной пластинки, φ — угол клина, $\tilde{\nu}$ — волновое число.

В процессе измерения угол клина φ и толщина клинообразной пластинки h не изменяются. Тогда, составляя пропорцию, получим:

$$\left(\frac{dx}{d\tilde{\nu}}\right)_2 = \frac{\tilde{\nu}_1}{\tilde{\nu}_2} \left(\frac{dx}{d\tilde{\nu}}\right)_1,$$

где $\tilde{\nu}_1$, $\tilde{\nu}_2$ и $\left(\frac{dx}{d\tilde{\nu}}\right)_1$, $\left(\frac{dx}{d\tilde{\nu}}\right)_2$ — волновые числа и линейные дисперсии соответственно для интерферограмм ртутного и лазерного излучения. Величина линейной дисперсии интерферограмм ртутного излучения определяется по схеме расположения компонентов сверхтонкой структуры ртутных линий, приведенных в работе [13]. Расстояние между отдельными линиями (dx)

в интерферограммах измерялось на компараторе Мир-12 с точностью до 10^{-2} мм. При помощи вышеуказанной формулы можно определить величину линейной дисперсии $\left(\frac{dx}{d\nu}\right)_2$ для интерферограмм лазерного излучения.

Были получены следующие результаты:

1) при толщинах 2,3 мм и 4 мм (рис. 4) линии сверхтонкой структуры разделены интервалом в $0,024 \text{ см}^{-1}$. Такая область дисперсии соответствует резонатору, длина которого равна 20,5 см, т. е. резонатору, который образуется отражающими поверхностями диэлектрических зеркал с торцевыми гранями кристалла;

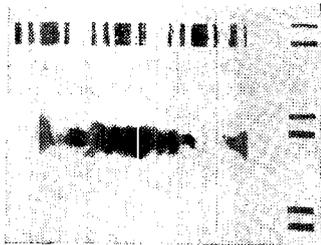


Рис. 4. Интерферограмма лазерного излучения, снятая со скрещенным мультиплекс — эталоном (2,3 и 4 мм). Сверху и справа интерферограммы ртутного излучения, полученные через простые эталоны с толщинами 4 и 2,3 мм

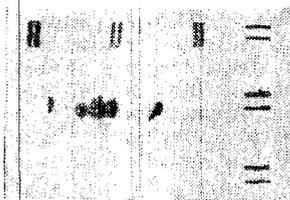


Рис. 5. Интерферограмма лазерного излучения, снятая со скрещенным мультиплекс — эталоном (2,3 и 10 мм). Сверху и справа интерферограммы ртутного излучения, полученные через простые эталоны с толщинами 10 и 2,3 мм

2) при толщинах 2,3 мм и 10 мм (рис. 5) интервал между линиями сверхтонкой структуры равен $0,023 \text{ см}^{-1}$. Такая дисперсия соответствует резонатору, длина которого равна эффективной длине рубинового кристалла: $(nh)_{\text{руб.}} = 1,76 \cdot 12 \text{ см} = 21,12 \text{ см}$;

3) наконец, при толщинах 2,3 мм и 30 мм (рис. 6) расстояние между линиями сверхтонкой структуры равно $0,008 \text{ см}^{-1}$, что соответствует величине дисперсии резонатора длиной 62,12 см, образованного отражающими поверхностями диэлектрических зеркал.



Рис. 6. Интерферограмма лазерного излучения, снятая со скрещенным мультиплекс — эталоном (2,3 и 30 мм)

Все результаты эксперимента соответствуют расчетным величинам дисперсии, вычисленным для разных компонентов резонатора.

Компоненты излучения укладываются в пределах линии флуоресцентного излучения с длиной волны 6943 Å.

Выводы

1. В работе показано, что спектральный состав стимулированного излучения рубина зависит от свойств резонатора: имеется тесная связь между структурой спектра и структурой резонатора. Компоненты спектра, полученные при разных толщинах скрещенного мультиплекс—эталона, в клинообразном режиме полностью соответствуют компонентам резонатора.

2. Показано, что скрещенный мультиплекс—эталон в клинообразном режиме может эффективно применяться для разрешения сверхтонкой структуры в лазерном излучении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fox A. G., Li T. Proc. IRE, 48, No. 11, 1904—1905, 1960.
2. Fox A. G., Li T. Bell. Syst. Techn. J., v. 40, No. 2, 453—488, 1961.
3. Ciftan M. Proc. IRE, 50, No. 1, 84—85, 1962.
4. Evtuhov V., Neeland J. K. J. Appl. Optics, 1. No. 4, 517, 1962.
5. Dhaenens J., Asawa C. K. J. Appl. Phys., 33, No. 11, 3201, 1962.
6. Stoicheff B. P. Proceedings of the Xth Colloquium Spectroscopicum Internationale Washington, 1963, 399.
7. Schawlow A. L., and Townes C. H. Phys. Rev., 112, 1940, 1958.
8. Kleinman D. A., Kisliuk P. P. Bell. System. Techn. J., 41, No. 2, 453—462, 1962.
9. Королев Ф. А. «Вестн. Моск. ун-та», сер. мех., мат., астроном., физ., химии, № 1, 89, 1956.
10. Королев Ф. А. «Вестн. Моск. ун-та», сер. мех., мат., астроном., физ., химии, № 3, 101, 1953.
11. Королев Ф. А. Спектроскопия высокой разрешающей силы. ГИТТЛ, М., 1953.
12. Королев Ф. А. «Вестн. Моск. ун-та», сер. мех., мат., астроном., физ., химии, № 8, 101, 1953.
13. Королев Ф. А., Одинцов В. И. «Оптика и спектроскопия», 1, вып. 1, 17, 1956.

Поступила в редакцию
21. 2 1964 г.

Кафедра
оптики