

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Л. Н. Сеница, Внутррезонаторный лазерный спектрометр
на стекле с неодимом с дисперсионным резонатором,
Квантовая электроника, 1977, том 4, номер 1, 148–150

<https://www.mathnet.ru/qe8819>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.168

17 мая 2025 г., 12:25:12



Л. Н. Сеница

57
ВНУТРИРЕЗОНАТОРНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ СПЕКТРОМЕТР НА СТЕКЛЕ С НЕОДИМОМ С ДИСПЕРСИОННЫМ РЕЗОНАТОРОМ

Лазерный спектрометр на стекле с неодимом, основанный на методе селективных потерь [1], обладает высокой чувствительностью к малым коэффициентам поглощения, что особенно важно при исследовании переходов на высокие колебательные уровни молекул. Однако использование в спектрометре линейного резонатора ограничивает спектральную область работы прибора, так как генерация лазера с линейным резонатором происходит лишь вблизи максимума коэффициента усиления активной среды и при 4—5-кратном превышении накачки над порогом ширина спектра излучения стремится к насыщению и занимает участок $\sim 100 \text{ см}^{-1}$ [2]. Для увеличения спектральной области спектрометра в настоящей работе применялся дисперсионный резонатор, позволяющий получить перестройку длины волны генерации в пределах полосы люминесценции активной среды.

Резонатор лазера (рис. 1) образован плоским зеркалом 5 с коэффициентом отражения 70% и призмой полного внутреннего отражения (ПВО) 6, в качестве дисперсионных элементов используются две призмы 3 из стекла СТФ-3. Для увеличения длительности квазинепрерывной генерации (для повышения чувствительности спектрометра) и уменьшения межмодового расстояния в резонатор помещена многоходовая газовая кювета (МГК) 1, обеспечивающая длину хода лучей до 200 м [3]. Для исключения селекции мод торцы активного элемента 2 и призмы ПВО

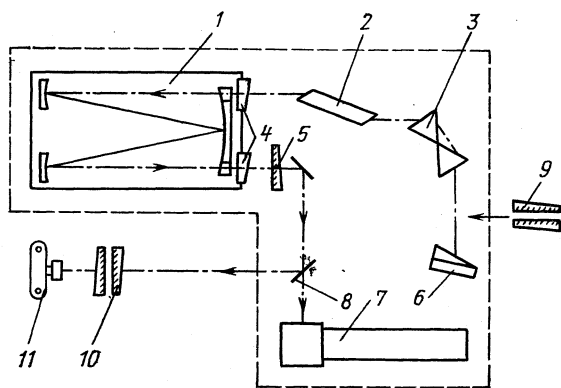


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Спектрометр с низким разрешением обведен штриховой линией.

срезаны под углом Брюстера, выходное зеркало и окна кюветы 4 имеют большой клин. Лазерное излучение с энергией 0,5 Дж и шириной спектра 5 см^{-1} проходило через делительное зеркало 8 и регистрировалось (при плавной перестройке длины волны генерации от импульса к импульсу) на спектрографе 7, собранном на базе автоколлимационной камеры УФ-90 и дифракционной решетки (600 штрих/мм). Высокая спектральная плотность позволила работать в третьем порядке спектрографа с обратной дисперсией 1 Å/мм и разрешением $0,1 \text{ см}^{-1}$.

Разрешающая способность спектрометра определяется спектральным прибором, на котором анализируется спектр излучения лазера, в данном случае — спектрографом. Увеличение разрешающей способности достигается при использовании в качестве анализатора спектра интерферометра Фабри — Перо, для чего необходимо, чтобы ширина спектра генерации была меньше области дисперсии интерферометра. Для сужения ширины спектра излучения до $0,5 \text{ см}^{-1}$ в дисперсионный резонатор был помещен интерферометр Фабри — Перо 9 с базой 0,1 мм и коэффициентом отражения зеркал 70%. Это позволило анализировать спектральный состав излучения с помощью интерферометра Фабри — Перо 10 с базой 8 мм, обеспечивающего разрешение $0,02 \text{ см}^{-1}$, и фотоаппарата 11. Предварительное измерение длины волны спектрометра с точностью $0,1 \text{ см}^{-1}$ осуществляется на спектрографе.

через вещество в процессе генерации [1]. Дисперсионный резонатор дает возможность перестраивать длину волны генерации в области $9230-9520 \text{ см}^{-1}$, что в три раза превышает область работы спектрометра с линейным резонатором.

При длине хода лучей в МГК 12 м на спектрометре с низким разрешением получены спектры поглощения свободной атмосферы, паров воды, углекислого газа. Поглощение углекислым газом в области работы неодимового лазера определяется в основном переходом $12^0_3+00^0_0$ с центром $\nu_0=9516,97 \text{ см}^{-1}$ и интегральной интенсивностью $S_p=5,64 \times 10^{-5} \text{ см}^{-2} \cdot \text{атм}^{-1}$ и переходом $04^0_3+00^0_0$ ($\nu_0=9388,99 \text{ см}^{-1}$, $S_p=1,02 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-2} \cdot \text{атм}^{-1}$) [4]. На спектрометре зарегистрированы линии $P(2)-P(60)$ полосы 12^0_3 и линии $R(2)-R(34)$, $P(2)-P(50)$ полосы 04^0_3 . Высокая чувствительность спектрометра позволила обнаружить линии с высоким значением вращательного квантового числа J и наблюдать слабый «горячий» переход $13'3+01'0$ ($\nu_0=9478,05 \text{ см}^{-1}$, $S_p=0,44 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-2} \cdot \text{атм}^{-1}$), не регистрируемые на дифракционном спектрометре с длиной оптического пути 5000 м [5]. На рис. 2, а, б представлен участок спектра $9470-9498 \text{ см}^{-1}$ углекислого газа при различных давлениях. В интервалах между линиями P -ветви полосы 12^0_3 наблюдаются слабые линии R -ветви «горячего» перехода. В качестве реперной длины волны сфотографирована линия излучения He-Ne-лазера $632,817 \text{ нм}$ в пятом порядке спектрографа. На рис. 2, в снята R -ветвь полосы 04^0_3 CO_2 при давлении 1 атм.

На спектрометре записан также спектр поглощения атмосферы ($p=1 \text{ атм}$) в этой области. Несмотря на высокую чувствительность метода, атмосферное поглощение углекислым газом не обнаружено из-за малой интенсивности линий CO_2 ($\sim 10^{-7} \text{ см}^{-2} \cdot \text{атм}^{-1}$) и малой концентрации газа в атмосфере. Для идентификации линий был снят спектр водяного пара при давлении $p=8 \text{ мм рт. ст.}$ Наблюдаемые линии в поглощении свободной атмосферы принадлежат полосам водяного пара 111 с центром $\nu_0=8807,00 \text{ см}^{-1}$ и 012 с центром $\nu_0=9000,13 \text{ см}^{-1}$ [4].

С высоким разрешением был записан кант R -ветви полосы 04^0_3 CO_2 в области $9405-9408 \text{ см}^{-1}$ при давлении газа 0,1 атм. Высокое разрешение и высокая чувствительность спектрометра позволили зарегистрировать ранее не наблюдаемые линии $R(36)-R(40)$ канта полосы. Расстояния между линиями измерены интерферометрически и приведены в таблице.

Измеренные расстояния согласуются в пределах точности измерений с расстояниями, рассчитанными по формуле для нежесткого волчка с использованием вращательных постоянных, полученных в работе [5].

Для определения чувствительности спектрометра, используя формулы работы [6], были рассчитаны интенсивности наиболее слабых зарегистрированных линий углекислого газа, которые для $P(60)$ полосы 12^0_3 и $P(50)$ полосы 04^0_3 составляют $0,11 \cdot 10^{-7}$ и $0,14 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-2} \cdot \text{атм}^{-1}$ соответственно. Чувствительность спектрометра (принимая лоренцеву полуширину линий равной $0,1 \text{ см}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$) равна $\sim 10^{-7} \text{ см}^{-1}$, что в 10^3 раз превышает чувствительность метода внешней спектроскопии с кюветой таких размеров.

Таким образом, использование дисперсионного резонатора позволяет получить спектрометр, в котором высокая чувствительность к малым коэффициентам поглощения сочетается с широким спектральным интервалом и высокой разрешающей способностью.

В заключение автор выражает благодарность В. П. Лопасову за постоянное внимание и интерес к работе, А. П. Годлевскому за полезные обсуждения.

1. Т. П. Беликова, Э. А. Свириденков, А. Ф. Сучков. «Оптика и спектроскопия», 37, 654 (1974).
 2. Методы расчета оптических квантовых генераторов. Под ред. Б. И. Степанова. Т. 2. Минск, «Наука и техника», 1968.

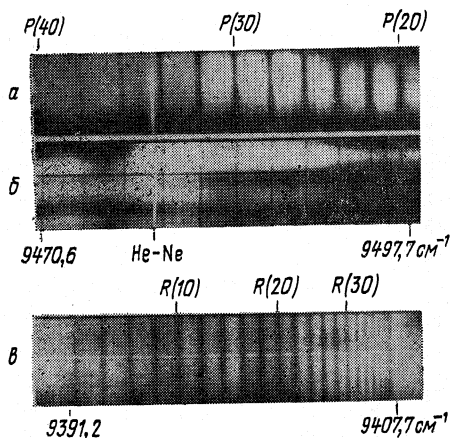


Рис. 2. Спектр поглощения углекислого газа при различных давлениях:

а) P -ветвь полосы 12^0_3 ($p=1 \text{ атм}$); б) P -ветвь полосы 12^0_3 ($p=0,1 \text{ атм}$); в) R -ветвь полосы 04^0_3 ($p=1 \text{ атм}$).

Линии	$\Delta\nu_{\text{изм}}, \text{ см}^{-1}$	$\Delta\nu_{\text{выч}}, \text{ см}^{-1}$
$R(34)-R(32)$	0,50	0,49
$R(36)-R(34)$	0,40	0,40
$R(38)-R(36)$	0,35	0,35
$R(40)-R(38)$	0,30	0,28

3. А. П. Годлевский, В. П. Лопасов, С. Ф. Лукьяненко. «Квантовая электроника», 2, 701 (1975).
4. R. A. McClatchey, W. S. Benedict, S. A. Clough, D. E. Burch, R. F. Calfee, K. Fox, L. S. Rothman, J. S. Garing. Air Force Cambridge Res. Labs., Environ. Res. Paper No 434, 1973.
5. G. Herzberg, L. Herzberg. *J. Opt. Soc. Amer.*, 43, 1037 (1953).
6. R. W. Boese, J. Miller, E. Inn. *J. Quant. Spectr. Rad. Transfer*, 6, 717 (1966).

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступило в редакцию
24 ноября 1975 г.

L. N. Sinit'sa. Intracavity Neodymium-Glass Laser Spectrometer With a Dispersing Resonator.

A neodymium-glass laser spectrometer is considered with a dispersing resonator operating within the range of 9230—9520 cm^{-1} with the resolution of 0.1 and 0.02 cm^{-1} and sensitivity to absorption coefficients of 10^{-7} cm^{-1} . The P branch of the 12^3P band, the 04^3P band and the «hot» 13^3P — 01^1D transition in carbon dioxide, as well as the absorption spectra of free atmosphere and water vapors have been recorded by the low-resolution spectrometer. The edge of the 04^3P band has been recorded with high resolution, and the intervals between the lines have been measured.

«Квантовая электроника», 4, № 1 (1977)

УДК 621.378.342+535.36

В. К. Орлов, В. Б. Герасимов, С. А. Герасимова, Е. М. Земсков

О ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ЯРКОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОМБИНАЦИОННОМ ЛАЗЕРЕ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕМ ШИРОКОПОЛОСНУЮ НАКАЧКУ

В последнее время появился ряд работ [1—3], в которых теоретически и экспериментально показана возможность высокоэффективного преобразования широкополосного лазерного излучения в первую стоксову компоненту в комбинационном лазере, работающем как в режиме усиления, так и в режиме генерации. Было обнаружено, что при выполнении ряда условий на параметры накачки, среды и резонатора (если лазер работает в режиме генерации) эффективность преобразования излучения накачки в первую стоксову компоненту не зависит от ширины спектра накачки.

Настоящее сообщение посвящено выяснению вопроса о том, возможно ли эффективное преобразование широкополосного излучения с одновременным значительным увеличением яркости (уменьшением расходимости) преобразованного излучения.

Обычно предполагают, что накачка и стоксово излучение подобны плоским волнам, фронты которых перпендикулярны оси Z, вдоль которой они распространяются по активной среде, т. е. в процессе преобразования расходимость не изменяется. В работе [4] впервые был рассмотрен вопрос об эффективности преобразования в резонаторе широкополосного пространственно-некогерентного излучения накачки в первую стоксову компоненту с одновременным значительным увеличением яркости преобразованного излучения. Было обнаружено, что эффективность такого рода преобразования существенно ниже, чем для случая монохроматической накачки, поскольку порог преобразования возрастает, а КПД преобразования падает в $\Delta\omega_{\text{н}}/\Delta\omega_{\text{скр}}$ раз. Здесь $\Delta\omega_{\text{н}}$ — ширина спектра накачки; $\Delta\omega_{\text{скр}}$ — ширина спектра спонтанного комбинационного рассеяния; для них выполняется условие широкополосности накачки $\Delta\omega_{\text{н}} \gg \Delta\omega_{\text{скр}}$. Как показывают результаты многочисленных теоретических исследований [1], вопрос об эффективности преобразования широкополосного излучения в первую стоксову компоненту неразрывно связан с вопросом о соотношении фаз между полем накачки $\varphi_{\text{н}}(t, \mathbf{r})$ и полем стоксовой компоненты $\varphi_{\text{с}}(t, \mathbf{r})$.

Для ответа на вопрос, будет ли преобразование широкополосной накачки в первую стоксову компоненту столь же эффективным, как и в случае монохроматической накачки, достаточно, не решая уравнений, описывающих процесс взаимодействия излучения и среды, проверить, имеются ли необходимые условия для выполнения соотношения

$$\varphi_{\text{с}}(t, \mathbf{r}) = \varphi_{\text{н}}(t, \mathbf{r}) + \varphi_0(\mathbf{r}), \quad (1)$$

где $\varphi_0(\mathbf{r})$ — произвольная функция координат.

Рассмотрим, например, усиление монохроматической плоской волны на стоксовой частоте, распространяющейся коллинеарно с плоской волной широкополосной накачки в бездисперсионной активной среде. В этом случае нет причин, обусловленных граничными или начальными условиями, в силу которых соотношение (1) не могло бы выполняться.