

$y(zz)x$, а в остальных, относящихся к А-типу, представлены полосы с меньшей интенсивностью, чем у ТГС. Этому можно дать следующее объяснение. Дейтерий, как более тяжелый элемент, по сравнению с водородом, при одинаковых внешних воздействиях должен иметь большее среднеквадратичное отклонение от положения равновесия. Следовательно, степень динамического разупорядочения у дейтерия будет меньше и нарушение правил отбора у ДТГС будет не такое сильное, как у ТГС. Таким образом, колебания, которые связаны со сравнительно небольшим искажением межмолекулярных Н-связей, при замене водорода на дейтерий становятся более поляризованными.

Сравнительный анализ низкочастотных спектров КР кристаллов ДТГС и ТГС позволил отнести ряд спектральных линий к колебаниям сульфатных или глициновых групп. Это позволяет более обоснованно интерпретировать температурную динамику колебаний решетки у кристаллов ряда ТГС.

Список литературы

1. Wood E. A., Holden A. H.//Acta Cryst. 1957. V. 10. P. 145.
2. Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. 1981. С. 367.
3. Галанов Е. К., Кисловский Л. Д., Шувалов Л. А., Ивнов Н. Р.//Изв. АН СССР. Сер. физ. 1969. Т. 33. С. 246.
4. Winterfeldt V., Schaack G.//Ferroel. 1977. V. 15. P. 21, 35.
5. Маляревич А. М., Последович М. Р., Тарасевич Е. В.//Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 1: Физ. Мат. Мех. 1988. № 1. С. 11.
6. Комяк А. И., Маляревич А. М., Последович М. Р.//ЖГ 1993. Т. 59. С. 202.
7. Кау М. I., Kleinberg R.//Ferroel. 1973. V. 5. P. 45.
8. Жуков С. Г., Гафеев В. А., Фетисов Г. В.//Журн. структ. химии. 1990. т. 31. С. 84.

Поступила в редакцию 31.05.93.

УДК 621.373.8

И. М. ГУЛИС, К. А. САЕЧНИКОВ, В. А. ЦВИРКО

УПРАВЛЕНИЕ СПЕКТРОМ ГЕНЕРАЦИИ КОРОТКОРЕЗОНАТОРНОГО ЛАЗЕРА ПУТЕМ ИНЖЕКЦИИ СУБФЕМТОДЖОУЛЬНЫХ ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Radiation spectrum control of a short-cavity dye laser has been experimentally implemented by injection of a narrow-band signal.

Короткорезонаторные лазеры на красителях (КРЛ) представляют собой простые и удобные источники перестраиваемого по спектру излучения [1–4]. Одним из важных свойств лазеров такого типа являются весьма низкие пороговые плотности энергии накачки, в особенности режиме накачки пикосекундными импульсами [4]. Предварительные оценки показывают, что пороговые плотности энергии для высокодобротных резонаторов могут быть ниже 10^{-4} Дж/см². В этом плане вполне реалистичной выглядит возможность создания на базе КРЛ (интерферометра Фабри – Перо, заполненного активной средой) многоэлементного лазерного транспаранта с оптической пикселляцией (энергия одиночного пикосекундного импульса в 10^{-3} Дж достаточна для накачки $\sim 10^7$ элементов – «микролазеров» с площадью 10^2 мкм² каждый). Более того, как показывает в настоящей работе, излучением такого «микролазера» можно эффективно управлять с помощью инъекции пикосекундных импульсов света с длиной волны, лежащей в пределах полосы усиления активной среды. Лазерам с инъекцией сигнала посвящено большое число работ (см. обзор в [5]). Наиболее существенной с практической точки зрения особенностью лазеров с инъекцией является высокая энергетическая эффективность преобразования запасенной в неселективном резонаторе энергии (которая в отсутствие инжектируемого сигнала излучается в широком спектральном диапазоне) в энергию, излучаемую на длине волны узкополосного инжектируемого излу-

чения. При этом имеет место практически полное «затягивание» спектра генерации и достигаются коэффициенты усиления входного сигнала до $10^7 - 10^9$ [5]. Существующие работы, однако, проводились на лазерах с достаточно длинными резонаторами. В настоящей же работе исследования велись с короткорезонаторным лазером, который может служить прототипом светоуправляемого многоэлементного лазерного транспаранта.

Использовавшийся в работе КРЛ на красителе представляет собой высокочастотный интерферометр Фабри – Перо (ИФП) с базой 50 мкм, образованный двумя плоскими зеркалами с диэлектрическими покрытиями и коэффициентами отражения порядка 99 % для всей области генерации активной среды раствора родамина 6Ж в этаноле с концентрацией $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Конструкция ИФП герметична, обеспечивает возможность быстрой замены активной среды, прецизионную юстировку резонатора.

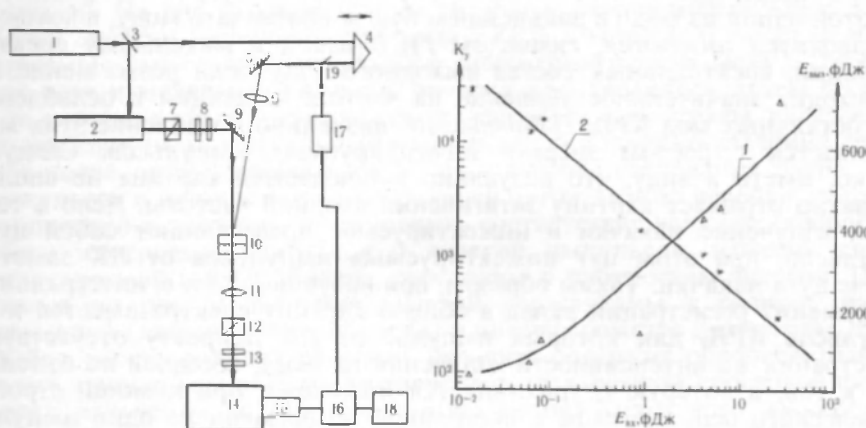


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – лазер накачки; 2 – лазер на красителе с синхронной накачкой; 3, 5, 9, 19 – зеркала; 4 – оптическая линия задержки; 6, 11 – линзы; 7, 12 – поляризаторы; 8, 13 – нейтральные ослабители; 10 – короткорезонаторный лазер; 14 – монохроматор МДР-6У; 15 – ФЭУ-87; 16 – стробоскопический осциллограф С7-13; 17 – фотодиод ФК-19; 18 – ПЭВМ

Рис. 2. Зависимости выходной энергии в режиме J (1) и коэффициента усиления (2) от энергии инжектируемого импульса

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В качестве источника накачки использована вторая гармоника пикосекундного лазера на АИГ: Nd^{3+} с непрерывной накачкой, акустооптической модуляцией добротности и пассивной синхронизацией мод [6]. Рабочие характеристики источника накачки: длительность одиночного импульса – 35 ± 5 пс, интервал между импульсами в цуге – 15 пс, число импульсов в цуге – 50, частота следования цугов не превышала 100 Гц (для исключения термооптических искажений в накачиваемой области КРЛ). Основная часть излучения твердотельного лазера (80 %), отражаемая зеркалом 3, используется для синхронной накачки узкополосного перестраиваемого струйного лазера на красителе (ЛК) [7], являющегося источником инжектируемого в КРЛ излучения, а 20 % мощности направляется для накачки КРЛ. Инжектируемое излучение посылалось на КРЛ без дополнительной фокусировки, чем обеспечивалось уверенное перекрытие инжектируемого пучка с областью накачки. Для варьирования энергии инжектируемых импульсов служит набор калиброванных нейтральных светофильтров 8. Оптическая линия задержки 4 обеспечивает согласование времен прихода накачивающих и инжектируемых импульсов в КРЛ.

Анализ спектрального состава выходного излучения КРЛ проводился на монохроматоре МДР-6У (линейная дисперсия – 1,3 нм/мм) как визуально, в режиме одинарного монохроматора, так и фотометрически – в этом случае отдельные пикосекундные импульсы регистрирова-

лись фотоумножителем ФЭУ-87 с последующим выводом сигнала стробоскопический осциллограф С7-13, запуск которого осуществлялся от коаксиального фотоэлемента 17. Введение нейтральных ослабителей 13 предотвращало выход за пределы динамического диапазона фотодетектора. Измерения средних мощностей накачивающего и инжектируемого излучений проводились на болометрическом измерителе мощности ИМО-2М.

При отсутствии инжектируемого излучения спектр генерации И представляет собой набор узких ($\Delta\nu_{1,2} \approx 1,5$ см) линий, соответствующих собственным модам ИФП с межмодовым расстоянием $\approx 2,5$ нм. Каждому мод, присутствующим в спектре генерации, соответствует определенная энергия накачки и составляет 7–12. Поляризация генерации КРЛ совпадает с поляризацией накачивающего излучения. Длительность и амплитуда пикосекундных импульсов генерации КРЛ сокращаются примерно вдвое по сравнению с длительностью цуга накачки.

При инжекции в КРЛ излучения, частота которого совпадает с частотой одной из мод (в дальнейшем будем обозначать моду, в которой производится инжекция, символом J), близкой к максимуму спектра генерации, спектральный состав выходного излучения резко меняется. Происходит значительное усиление на частоте инжекции и ослабление всех остальных мод КРЛ. Наблюдаемое визуально подавление этих мод усиливается с ростом энергии инжектируемых импульсов. Следует отметить, что визуально наблюдаемая картина не вполне адекватно отражает картину затягивания входной частоты. Дело в том, что и излучение накачки и инжектируемое представляют собой цуг импульсов, при этом цуг инжектируемых импульсов от ЛК заметно короче цуга накачки. Таким образом, при визуальной (т. е. интегральной по времени) регистрации вклад в общую картину спектра имеет вклад и импульсы КРЛ, для которых импульс от ЛК попросту отсутствует. Регистрация же интенсивности излучения на моде, соседней по отношению к той, в которую осуществляется инжекция, при помощи стробоскопического осциллографа с настройкой по времени на один импульс из середины цуга генерации ЛК показала, что соседняя мода подавляется полностью при инжекции сигнала с плотностью энергии порядка $2 \cdot 10^{-10}$ Дж/см². Эффект затягивания частоты весьма чувствителен к временной синхронизации моментов прихода в КРЛ инжектируемых накачивающих импульсов и максимален при задержке импульса накачки на время порядка полуширины импульсов (~ 30 пс).

КРЛ с инжекцией может рассматриваться как устройство, выполняющее логические функции, например функцию «И». Наличие выходного сигнала (излучение на частоте моды J) при одновременном воздействии импульса накачки и инжектируемого импульса (входные сигналы) может отождествляться с логической «1», а при отсутствии инжектируемого импульса или импульса накачки, или обоих входных сигналов идеальном варианте должен быть равен нулю. Присутствие отличия от нуля сигнала на выходе («пьедестала») в трех последних случаях нежелательно. (Нетрудно убедиться, что возможности реализации логических функций расширяются при включении в рассмотрение эффекты подавления генерации на других модах). Рассмотрим возможности устранения обсуждавшихся выше «пьедесталов».

Вне зависимости от поляризации инжектируемого излучения, выходное излучение КРЛ имеет поляризацию, совпадающую с поляризацией накачки. Поэтому в наших экспериментах плоскость поляризации инжектируемого излучения, задаваемая поляризатором 7, составляла угол 45° с плоскостью поляризации накачки, а поляризатор 12 был скрещен с поляризатором 7. В таких условиях при отсутствии импульса накачки входной импульс от ЛК не пройдет через систему. Кроме того, эта схема позволяет избежать «пьедестала» в выходном сигнале, обусловленном тем, что часть инжектируемого излучения пространственно не совпадает в активном слое КРЛ с накачиваемой областью.

Собственная генерация КРЛ без инжекции в моде J также может рассматриваться как «пьедестал» в контексте обсуждавшихся выше логических функций устройства. Однако совсем не обязательно осуществлять инжекцию в одну из центральных мод из спектра генера-

КРЛ. Контраст (отношение усиленного сигнала к интенсивности генерации КРЛ на моде J без инъекции) может быть улучшен, если в качестве J выбрать одну из мод на краю спектра генерации, обладающих заметно меньшими интенсивностями. Более того, в качестве J может быть выбрана мода, на которой при отсутствии инъекции генерация в КРЛ не наблюдается. Действительно, свободная (без инъекции) генерация КРЛ снижает инверсию населенности до уровня ниже порогового для некоторых мод, находящихся на краях спектра усиления; в этом случае при отсутствии свободной генерации уровень инверсии для этих мод мог бы превышать пороговый. Инъекция внешнего сигнала в одну из таких мод не позволяет развиваться генерации на модах вблизи максимума полосы усиления, в результате чего наблюдается усиление инжектируемого сигнала. Таким образом, соответствующим выбором моды J полностью устраняется «пьедестал», обусловленный свободной генерацией.

Перейдем к рассмотрению энергетических характеристик КРЛ с инъекцией. На рис. 2 представлены типичные экспериментальные зависимости энергии импульсов генерации КРЛ в моде J от энергии инжектируемых импульсов (инъекция в «негенерирующую» моду). Определение всех измеряемых значений энергии производилось путем регистрации сигнала с помощью стробоскопического осциллографа, настроенного по времени на максимальный импульс цуга. Измерив значения средней мощности лазера накачки и ЛК, зная частоту следования цугов, число импульсов в цугах и форму огибающей цугов, можно перейти от средних мощностей к энергиям и установить соответствие величин стробоскопически измеряемых сигналов и энергий импульсов; измерив диаметр накачиваемой в КРЛ области, переходим к плотностям энергии. Приводимые на рис. 2 значения энергий пересчитаны к размеру рабочей площадки (накачиваемой области) в интерферометре диаметром 20 мкм. Выбор такого размера рабочего элемента содержит определенный произвол, однако может быть мотивирован технической простотой фокусировки излучения до такого диаметра пятна. Кроме того, «микрولазер» с длиной резонатора 50 мкм и диаметром активной среды 20 мкм может, по-видимому, с хорошей степенью приближения рассматриваться как лазер с малыми дифракционными потерями. Энергия накачки в расчете на элемент составляла $1,2 \cdot 10^{-9}$ Дж.

Из рис. 2 следует, что КРЛ откликается выходным сигналом на входной сигнал с энергией (в расчете на обсуждавшийся выше размер элемента) порядка 10^{-17} Дж, причем отклик является уверенным по причине отсутствия сколь-нибудь заметного уровня «пьедестала» в сигнале (при отсутствии накачки инжектируемое излучение блокируется поляризаторами, собственная генерация КРЛ без инъекции в выбранной моде J отсутствует). При этом для низких интенсивностей входных сигналов коэффициент усиления лежит в области $3 \cdot 10^4 - 10^4$. Таким образом, можно констатировать, что рассматриваемое устройство может управляться рекордно низкими по энергии импульсами, по крайней мере на 2 порядка выше достигнутого к настоящему времени уровня [8 - 10]. Низкие энергии накачки (питания) и инъекции (сигнала) в расчете на элемент и технологическая простота реализации КРЛ с рабочей площадью в единицы квадратных сантиметров позволяют рассматривать такое устройство как прототип сверхмногоэлементного (многоканального) усилителя с достижимым числом каналов более $10^6 - 10^7$, обладающего низким уровнем шумов и тем самым реагирующего на входные сигналы субфемтоджоульного диапазона. Высокие коэффициенты усиления, идентичность «рабочей» длины волны на входе и выходе позволяют реализовывать многокаскадность и/или циклическое прохождение сигнала по оптической цепи даже при наличии больших потерь. В частности, представляется вполне реальной возможность организации разветвленной системы связей между элементами одного или нескольких устройств такого типа. В оптическую цепь могут быть дополнительно введены устройства с пороговым откликом на входной сигнал. В настоящее время исследуются возможности реализации порогового отклика непосредственно в КРЛ.

Список литературы

1. Бушук Б. А., Корда И. М., Ступак А. П., Рубинов А. И. // ЖПС 1978. Т. 29. № 5. С. 807.
2. Фап В., Gustafson Т. К. // Appl. Phys. Lett. 1976. V. 28. № 4. P. 207.
3. Сох А. J., Scott G. W. // Rev. Scient. Instr. 1984. V. 55. № 3. P. 358.
4. Гулис И. М., Саечников К. А., Цвирко В. А. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. Физ. Мат. Мех. 1987. № 3. С. 26.
5. Nair L. G. // Prog. Quant. Electr. 1982. V. 7. № 3, 4. P. 153.
6. Гулис И. М., Саечников К. А., Комяк А. И., Цвирко В. А. // ЖПС. 1987. Т. 47. № 3. С. 489.
7. Саечников К. А., Гулис И. М. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 1: Физ. Мат. Мех. 1989. № 1. С. 3.
8. Гиббс Х. Оптическая бистабильность: Управление светом с помощью свет. М., 1988.
9. Ersen A., Krishnakumar S., Ozgur V. et al. // Appl. Opt. 1997. V. 31. № 20. P. 3950.
10. Yamataka Y., Joshihara K., Ogura I. et al. // Appl. Opt. 1997. V. 31. P. 4676.

Поступила в редакцию 28.12.92.

УДК 535.338.42

И. П. ЗЯТЬКОВ, Г. А. ПИЦЕВИЧ,
Н. Д. КНЯЖЕВИЧ, В. И. ГОГОЛИНСКИЙ

АНАЛИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ПЕРОКСИДОВ МЕТОДАМИ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Characteristic bands and lines in IR and Raman spectra were indicated for five classes of organic peroxides. The scheme of spectral data analysis was proposed for organic peroxide

Пероксиды играют важную роль не только в процессе формирования полимерных молекул, где выступают в качестве инициаторов реакции полимеризации, но и при их старении, фотоокислительной деструкции [1]. В обоих случаях актуальным является вопрос качественного анализа органических пероксидов в полимерных средах. Разработанные же на сегодняшний день химические методы анализа не обладают свойством универсальности по отношению к пероксидам различных классов различного типа полимерной матрицы [2]. Количественный анализ карбонилсодержащих пероксидов может быть проведен при помощи ИК спектроскопии [3]. Спектральная идентификация гидропероксидов пероксидов алкилов возможна лишь по полосам ИК поглощения в спектральном интервале $700 - 1300 \text{ см}^{-1}$, обусловленным колебаниями с участием O-O связи. В этом же интервале частот с большой относительной интенсивностью поглощают практически все органические соединения, ввиду чего использование ИК спектроскопии для количественного анализа пероксидов этих классов практически невозможно. В работах [2, 4, 5] указывается, что эффективным методом идентификации органических пероксидов является спектроскопия КР. Однако до настоящего времени не установлены закономерности проявления $\nu_{\text{O-O}}$ для каждого класса пероксидов, недостаточно строго обосновано отнесение полос и линий в ИК и КР спектрах.

Таблица

Силовое поле пероксидного остова

Силовая константа	Значение $\times 10^6 \text{ см}^{-2}$	Силовая константа	Значение $\times 10^6 \text{ см}^{-2}$	Силовая константа	Значение $\times 10^6 \text{ см}^{-2}$
$K_{\text{O-O}}$	5,5	$K_{\text{C-O}}$	0,5	$K_{\text{O-C-O}}$	0,9
$K_{\text{C-O}}$	8,2	$K_{\text{O-O-C}}$	0,2	$K_{\text{O-C-O-C}}$	0,6
$K_{\text{C-O}}$	17,5	$K_{\text{C-O-C}}$	1,2	$K_{\text{C-O-C-O}}$	0,5
$K_{\text{C=O}}$	1,7	$K_{\text{C-O-C=O}}$	0,7	$K_{\text{C=O-C=O}}$	0,25
$K_{\text{O=C-O}}$	2,2	$K_{\text{C=O-O}}$	0,7		
$K_{\text{C=O}}$	0,1	$K_{\text{C=O-C}}$	0,7		