

гетерогенности хл«а», по-видимому, недостаточно. Необходимо учитывать еще и гетерогенность пространственного распределения молекул разных спектральных форм, а также ориентацию этих молекул. Решению этих задач будет посвящена следующая работа.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Фадеев В. В., Демидов А. А. // ДАН СССР. 1980. 254, № 5. С. 1262.  
[2] Кукушкин А. К., Тихонов А. Н. Лекции по биофизике фотосинтеза растений. М., 1988. [3] Биофизика фотосинтеза. Под ред. А. Б. Рубина. М., 1975.  
[4] Kauppinen J. K., Moffatt D. J., Mantsch H. H., Cameron D. G. // Appl. Spectr. 1981. 35, N 3. P. 271. [5] Brown J. S. // Ann. Rev. Plant. Physiol. 1972. 23. P. 73. [6] Борисов А. Ю. // Журн. Всес. хим. о-ва. 1986. 31, № 6. С. 508. [7] Пашенко В. А. // ДАН СССР. 1980. 251, № 4. С. 995. [8] Литвин Ф. Ф., Шубин В. В. // Биофизика. 1976. 21, № 4. С. 669. [9] Lutz M. // Biochim. et Biophys. Acta. 1977. 460. P. 408. [10] Schirmer T., Bode W., Huber R. // J. Mol. Biol. 1987. 196. P. 677. [11] Фотосинтез/Под ред. Говинджи. М., 1987. Т. 1. [12] Förster Th. // Modern quantum chemistry. Acad. Press. N. Y. 1965. Part 3. P. 93. [13] Shipman L. L., Housman D. L. // Photochem. Photobiol. 1979. 26, N 6. P. 1163. [14] Иванов И. Г. // Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М. (МГУ), 1987. [15] Пашенко В. З. // Квант. электроника. 1981. 8, № 12. С. 2569.

Поступила в редакцию  
26.10.89

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1990. Т. 31. № 4

УДК 621.373.826

## ДВУХВОЛНОВОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ЛАЗЕР С МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ

В. Е. Надточев, О. Е. Наний

(НИИЯФ)

Исследованы характеристики двухволнового твердотельного лазера на  $\text{YAG:Nd}^{3+}$  с монохроматической накачкой. Получена высокостабильная двухволновая генерация на длинах волн  $\lambda_1=1,064$  мкм и  $\lambda_2=1,318$  мкм при введении в резонатор элемента с нелинейными потерями. Показана возможность управления интенсивностями генерируемых волн путем изменения температуры активного элемента.

Исследования лазеров, генерирующих одновременно на нескольких длинах волн, представляют большой практический интерес, объясняемый широкими возможностями применения таких лазеров в лазерной спектроскопии, в резонансной голографической интерферометрии, в частности для диагностики плазмы, в различных измерительных устройствах и в других областях. В работе [1] была экспериментально осуществлена двухволновая генерация в непрерывном твердотельном лазере на  $\text{YAG:Nd}^{3+}$  с ламповой накачкой. Лазер генерировал на двух линиях с  $\lambda_1=1,064$  мкм и  $\lambda_2=1,318$  мкм, соответствующих переходам иона  $\text{Nd}^{3+}$  с уровня  $4F_{3/2}$  на уровни  $4I_{11/2}$  и  $4I_{13/2}$  соответственно.

Использование двухволновых твердотельных лазеров для точных измерений накладывает высокие требования на стабильность их параметров, которая недостижима в лазерах с ламповой накачкой из-за большого тепловыделения. Перспективным способом повышения стабильности твердотельных лазеров является использование монохроматической накачки на длине волны, совпадающей с одной из линий поглощения активного вещества [2, 3].

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований двухволнового твердотельного лазера на  $\text{YAG:Nd}^{3+}$  с мо-

нохроматической накачкой, генерирующего на переходах с длинами волн  $\lambda_1=1,064$  мкм и  $\lambda_2=1,318$  мкм. Продемонстрирована возможность управления интенсивностями генерируемых волн путем изменения температуры активного элемента (АЭ).

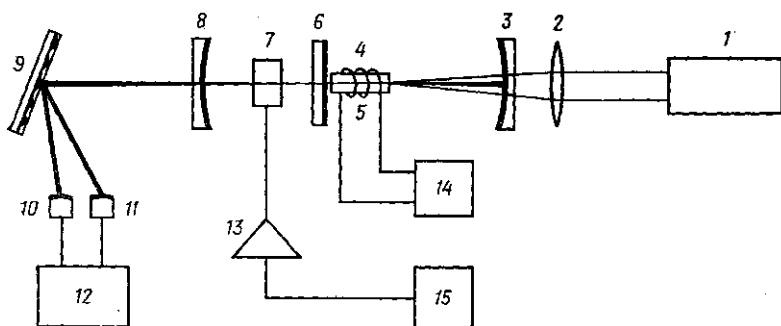


Рис. 1

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Для получения двухволновой генерации АЭ 4 — кристалл  $\text{YAG:Nd}^{3+}$  диаметром 3 мм и длиной  $15 \div 40$  мм был помещен в трехзеркальный резонатор, образованный зеркалом 3 с высокими коэффициентами отражения ( $r \geq 99\%$ ) на двух длинах волн, зеркалом 6 с высоким коэффициентом отражения ( $r \geq 99\%$ ) на  $\lambda_2$  и пропусканием  $\tau \geq 70\%$  на  $\lambda_1$ , и зеркалом 8 с коэффициентом отражения  $r \approx 80 \div 90\%$  на  $\lambda_1$ . Таким образом, трехзеркальный резонатор представлял собой совокупность резонатора на длину волны  $\lambda_2$ , образованного зеркалами 3 и 6, и резонатора на длину волны  $\lambda_1$ , образованного зеркалами 3 и 8. Для обеспечения минимальных порогов генерации резонатор на  $\lambda_1$  был выполнен близким к концентрическому с радиусами зеркал  $R=200$  мм, а резонатор на  $\lambda_2$  — близким к полуконцентрическому. В качестве источника накачки 1 использовался аргоновый лазер ЛГН-402, в излучении которого с помощью интерференционного фильтра выделялась линия  $\lambda_p=0,5145$  мкм, лежащая в полосе поглощения ионов  $\text{Nd}^{3+}$  в матрице  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ . Максимальная мощность пучка накачки после прохождения интерференционного фильтра составляла около 2 Вт. Для обеспечения прохождения излучения накачки в АЭ зеркало 3 имело коэффициент пропускания  $\tau \geq 80\%$  на  $\lambda_p$ . Луч аргонового лазера фокусировался линзой 2 с фокусным расстоянием  $f=180$  мм на передний торец АЭ. Управление параметрами генерации осуществлялось при помощи акустооптического модулятора 7 бегущей волны МЗ-301, на который подавалось высокочастотное напряжение с генератора 15 через усилитель 13, а также при помощи изменения температуры активного элемента — кристалла  $\text{YAG:Nd}^{3+}$  термостатом 5, подключенным к блоку питания 14. Для пространственного разделения генерируемых волн вне лазера использовалась дифракционная решетка 9, установленная на пути излучения, выходящего через зеркало 8. Временные зависимости мощностей излучения на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  исследовались с помощью широкополосных фотоприемников 10, 11 и многоканального осциллографа 12.

Для компенсации различия в сечениях взаимодействия  $\sigma_1, \sigma_2$  излучения с длинами волн соответственно  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  с АЭ ( $\sigma_1/\sigma_2 \approx 5$  [4]) зеркало 8 имело коэффициент отражения на длине волны  $\lambda_1$   $r \approx 80 \div 90\%$ . В этом случае пороги генерации на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  были примерно одинаковы.

Управление интенсивностями волн на  $\lambda_1, \lambda_2$  в процессе генерации осуществлялось акустооптическим модулятором 7, работающим в режиме дифракции Брэгга на бегущей акустической волне. Максимальная величина потерь на длине волны  $\lambda_1$ , вносимая модулятором 7, составляла  $\sim 8\%$ . Генерация осуществлялась на основной моде  $TEM_{00q}$ , на которой достигалось оптимальное согласование объема генерируемой моды с накачиваемой областью; дополнительной селекции поперечных мод, в отличие от лазера с ламповой накачкой, не требовалось. Как показали проведенные исследования, введение дополнительных потерь  $\Pi_1$  на длине волны  $\lambda_1$  позволяет осуществить в некоторой области значений  $\Pi_1$  одновременную непрерывную генерацию на двух длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Однако высокая чувствительность двухволновой генерации к потерям на одной из двух волн не позволила получить стабильность, близкую к стабильности излучения одноволнового лазера с монохроматической накачкой. Так, относительная нестабильность генерации на  $\lambda_1$  в отсутствие  $\lambda_2$  составляла  $\Delta P/P \leq 0,1\%$  и определялась в основном нестабильностью источника накачки. В двухволновом режиме амплитудная нестабильность  $\Delta P/P \approx 10\%$ . Поскольку нами использовались высокостабилизированные источники оптической накачки и применялась жесткая конструкция лазера, можно предположить, что одним из факторов, ограничивающих стабильность двухволновой генерации, является дестабилизирующее воздействие квантовых флуктуаций излучения. Отметим, что в кольцевых лазерах с однородно уширенной линией люминесценции квантовые флуктуации приводят к переключению направления генерации и 100%-ной модуляции излучения [5]. Для дополнительной стабилизации мощности излучения на двух длинах волн в резонатор помещался нелинейный кристалл  $LiIO_3$ , вырезанный вдоль направления синхронизма для генерации второй гармоники на  $\lambda_1 = 1,064$  мкм, который вносил дополнительные нелинейные потери на длине волны генерации  $\lambda_1$ . В результате использования такой оптической системы стабилизации была получена двухволновая генерация с амплитудной стабильностью мощности излучения на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  не хуже  $1\%$ , что на порядок лучше аналогичных результатов для лазера с ламповой накачкой.

Проведенные нами исследования показали возможность управления потерями на длине волны  $\lambda_1$  путем изменения температуры кристалла АЭ. Для эффективного управления интенсивностью излучения двухволнового лазера необходимо, чтобы при внешнем воздействии изменялись потери для излучения только одной волны, а потери для излучения другой волны не изменялись либо их изменение имело бы противоположный знак [6]. Проведенные нами теоретические оценки показывают, что при нормальных условиях ( $t \approx 10-20^\circ C$ ) потери на длине волны  $\lambda_1$  значительно сильнее зависят от температуры, чем потери на длине волны  $\lambda_2$ , что связано с относительно небольшим энергетическим зазором между нижним лазерным уровнем  $4I_{11/2}$  и основным состоянием иона  $Nd^{3+}$  в матрице  $Y_3Al_5O_{12}$ .

В эксперименте было исследовано влияние нагрева АЭ на пороговую мощность накачки в одноволновых лазерах на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Исследования проводились в лазере с полуконцентрическим резонатором с зеркалами, имеющими коэффициент отражения  $r \approx 99\%$  на длине волны генерации. Из приведенных на рис. 3 зависимостей пороговой мощности накачки от температуры видно, что порог на длине волны  $\lambda_1$  (кривая 1) растет при нагреве кристалла значительно быстрее, чем порог на длине волны  $\lambda_2$  (кривая 2). Это позволяет использовать изменение температуры АЭ для управления мощностями излу-

чения на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  и для осуществления двухволновой генерации с примерно равными мощностями в лазерах с близкими порогами независимой генерации на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Стабильная двухволновая генерация в лазере с трехзеркальным резонатором, изображенным на рис. 1, была получена при нагреве АЭ в отсутствие модулятора 7. Типичные зависимости мощности излучения на длинах волн  $\lambda_1$  (кривая 1) и  $\lambda_2$  (кривая 2) от температуры АЭ при мощности накачки  $W_p \approx 1$  Вт приведены на рис. 2, а. Изменение соотношения интенсивностей генерируемых волн происходило также при изменении мощности накачки, по-видимому, в связи с изменением температуры рабочей области АЭ. Зависимость мощности излучения на длинах волн  $\lambda_1$  (кривая 1) и  $\lambda_2$  (кривая 2) от мощности накачки при температуре кристалла  $t \approx 120^\circ\text{C}$  приведена на рис. 2, б.

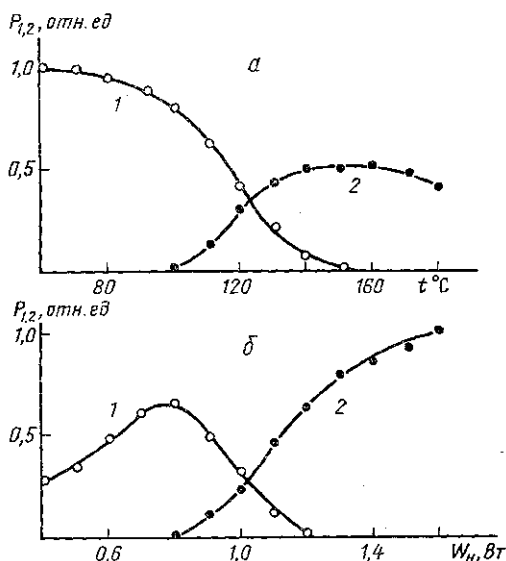


Рис. 2

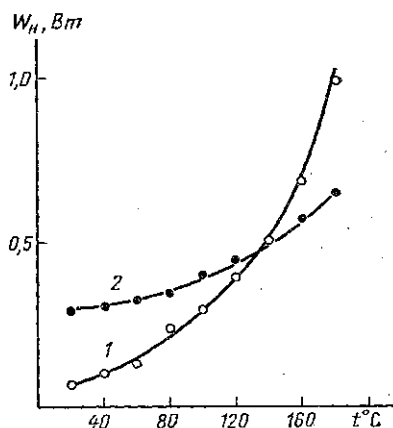


Рис. 3

Подбор оптимального соотношения потерь на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  путем соответствующего выбора коэффициентов отражения зеркал позволил получить двухволновую генерацию в двухзеркальном лазере. Лазер имел полуконцентрический резонатор, образованный плоским зеркалом с коэффициентом отражения  $r \geq 99\%$  на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  и пропусканием  $\tau \geq 80\%$  на длине волны накачки и сферическим зеркалом с коэффициентами отражения  $r_1 = 82\%$  и  $r_2 \approx 99\%$  соответственно на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Подстройка мощности излучения на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  проводилась путем изменения температуры АЭ в пределах 20–50 $^\circ\text{C}$ . Отсутствие в данной схеме специальных внутрирезонаторных элементов для управления интенсивностью генерации позволяет осуществить двухволновую генерацию в лазере с моноблочной конструкцией резонатора.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Надточеев В. Е., Наний О. Е. // Квант. электроника. 1989. 16. С. 680.  
 [2] Белозеров С. А. и др. // Письма в ЖТФ. 1984. 10. С. 44. [3] Zhou B. et al. // Opt. Lett. 1985. 10. P. 62. [4] Каминский А. А. Лазерные кристаллы. М., 1975.

УДК 621.382.85

## **О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СПЕКТРОВ В МОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ**

**А. С. Михайлов, И. Ю. Потеряйко**

*(кафедра физики низких температур)*

Предложен возможный механизм детектирования спектров в молекулярных вычислительных устройствах, основанный на туннелировании частиц вдоль молекулярной цепи, в которой профиль потенциала зависит от спектра падающего излучения. Выполнен расчет коэффициента туннелирования в простейшем случае потенциального профиля с конечным числом барьеров и провалов между ними.

В настоящее время нет единой концепции построения молекулярных вычислительных устройств. Предполагается, что элементарной базой для конструирования таких устройств будут макромолекулы, причем их использование в качестве блоков, обрабатывающих информацию, может быть самым разнообразным. Наряду с логическим принципом обработки информации в создаваемых вычислительных устройствах большую роль могут играть аналоговые механизмы обработки информации.

При аналоговом подходе задачи детектирования и распознавания спектров могут возникать довольно часто. Так, например, в работе [1] отмечалось, что каждой семантической структуре, представимой определенным топологическим графом, можно поставить в соответствие временной сигнал с характерным спектром. Поэтому с помощью зависящих от времени периодических сигналов может быть осуществлена передача информации на уровне семантических структур. Таким образом, блок детектирования спектра может входить существенной составной частью в устройство, осуществляющее аналоговые операции с графами (семантическими структурами).

В качестве элементов молекулярных вычислительных устройств [2] предполагается использовать цепочки макромолекул, которые можно изготавливать, например, с помощью метода Ленгмюра—Блоджет. Для обработки информации может быть использовано туннелирование вдоль таких полимерных цепей как реальных частиц (электронов), так и квазичастиц — солитонов (квантов коллективных колебаний атомов цепочки).

Предлагаемый ниже возможный механизм детектирования спектров в молекулярных вычислительных устройствах основан на использовании туннелирования частиц вдоль цепочки элементов, свойства которых зависят от спектра падающего на них излучения. Подчеркнем, что в данной заметке мы лишь обсуждаем принципиальную возможность применения данного механизма в качестве детектора спектра, не рассматривая конкретных примеров его реализации.

Представим себе совокупность полимерных цепей, находящуюся между двумя поверхностями. Частицы могут распространяться вдоль