

07;12

Новый подход к созданию многочастотных лазеров

© Ю.Н. Пархоменко, Е.И. Капинус, В.Б. Андриенко

Институт сорбции и проблем эндоэкологии НАН Украины, Киев
E-mail: parkhomenko@ispe.kiev.ua

Поступило в Редакцию 24 мая 2000 г.

Предложен новый метод создания перестраиваемых лазеров с синтезом спектра на основе комплексных активных сред, устраняющий невоспроизводимость соотношений энергий спектральных компонентов при увеличении их числа. Впервые реализован четырехчастотный лазер на одной активной среде.

Многочастотные лазеры с возможностью экспрессного синтеза и перестройки спектра являются основой для развития новых эффективных методов спектроскопии, технологии, записи и передачи информации. Особенно это актуально в последнее время в связи с созданием новых активных сред и электронных методов перестройки [1].

Развитие этого направления сдерживает значительная нестабильность и невоспроизводимость соотношений интенсивностей при увеличении числа спектральных компонент (> 2) в таких источниках. Причина этого при генерации из общей активной среды связана с сильной связью (конкуренцией) в ней спектральных компонент, а в случаях, эквивалентных объединению излучения разных источников (генерация из разных участков активной среды и т.п.), — с независимыми флуктуациями энергии различных источников и невоспроизводимыми изменениями "коэффициентов связи" с ними, вызванных, например, временными изменениями пространственной структуры накачки.

В настоящем сообщении предлагается новый подход к решению этой проблемы и экспериментально демонстрируется его эффективность. Он состоит в целенаправленном формировании специальных комплексных активных сред для многочастотных лазеров. Такие среды должны содержать в общей матрице несколько групп различных активных лазерных центров со следующими особенностями их спектральных характеристик (рис. 1, а): существенным перекрытием спектров поглощения и наличи-

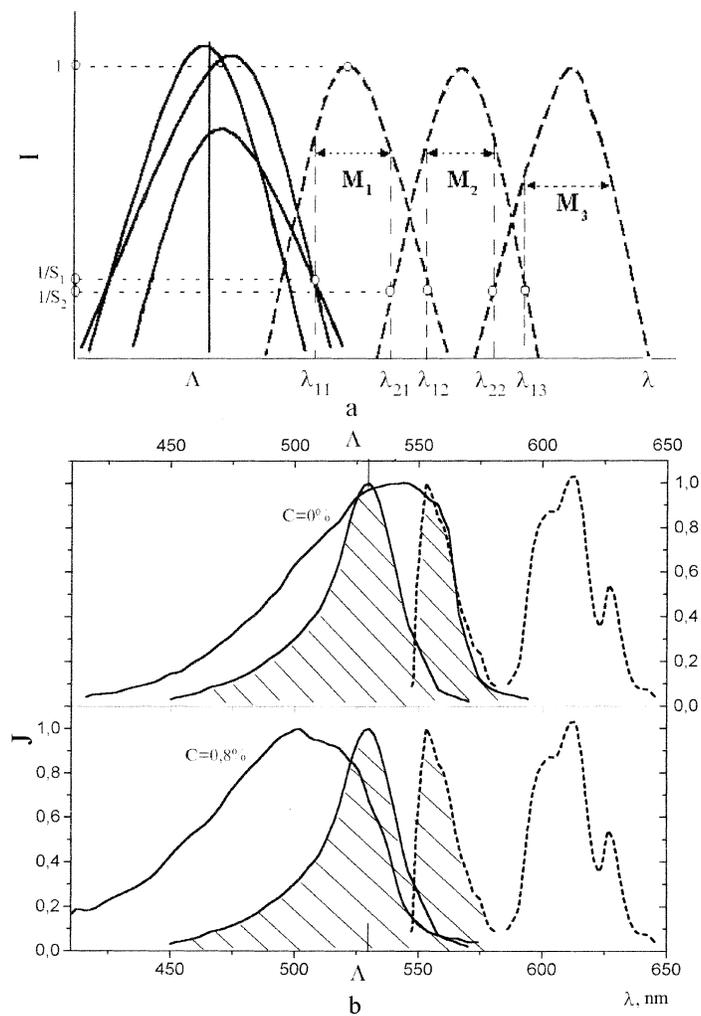


Рис. 1. Схема согласования спектров в комплексной активной среде (а) и ее реализация для смеси родамина 6Ж (заштрихованная область) с 6-аминофеноленом (b): сплошная линия — поглощение, пунктир — генерация, C — концентрация кислоты, J — нормированная интенсивность.

ем таких стоксовых сдвигов спектров люминесценции (усиления), чтобы в каждом из них присутствовал участок $M_j = [\lambda_{1j}; \lambda_{2j}]$, который не перекрывается с линиями поглощения и другими спектрами люминесценции (на некоторых эффективных уровнях s_1, s_2). При генерации многочастотного излучения такая среда должна быть подобной уширенной однородно для компонент спектра генерации, расположенных в пределах одного участка M_j , и уширенной неоднородно относительно компонент разных участков M_j .

Перестраивать соотношения интенсивностей компонент в таком лазере можно выбором соотношений между потерями, общими для групп линий генерации каждого из участков, и последующей подстройкой индивидуальных потерь линий каждого участка. Устанавливаемое на первом шаге соотношение между суммами энергий групп компонент различных участков будет автоматически воспроизводимым благодаря одинаковому влиянию на них сильных флуктуаций энергии накачки и ее пространственной структуры. Добиться воспроизводимости соотношений интенсивностей спектральных компонент одного участка M_j , конкурирующих между собой, можно, используя характерные для внутрирезонаторной спектроскопии закономерности влияния вида частотозависимых потерь на спектр лазера и его эволюцию. Гарантированно воспроизводимой будет генерация в каждом участке M_j двух компонент, закономерности которой изучены в [2].

Номенклатура активных лазерных центров, которые пригодны для предлагаемых сред, включает применяемые в перестраиваемых лазерах молекулы, ионы, комплексы и т.п. Причем их матрицы также могут варьироваться (кристаллы, жидкости, стекла и т.д.). Для первой экспериментальной реализации мы выбрали молекулы красителей, накачиваемые излучением с $\lambda = 0.53 \mu\text{m}$, учитывая особый интерес к системам, которые могут прямо или косвенно накачиваться решетками мощных полупроводниковых диодов. Анализ лазерных красителей этого диапазона показал, что решить такую задачу простым комбинированием достаточно сложно из-за существенного перекрытия их спектров. Поэтому в имеющихся работах (например, [3,4]) используют каскадное возбуждение одного красителя другим с одновременной их генерацией (трудности управления спектром и возбуждения промежуточным красителем более одной компоненты здесь очевидны).

Для реализации предлагаемых сред можно синтезировать специальные красители с нужными свойствами, а также выбирать в различные

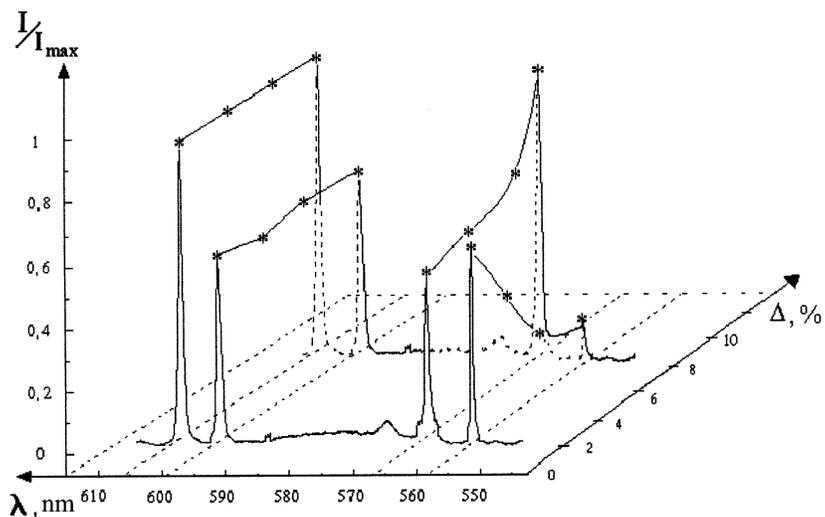


Рис. 2. Четырехчастотный спектр лазера и его зависимость от Δ .

группы молекулы, на которые по-разному влияют свойства матрицы (растворителя). В настоящем сообщении мы использовали второй метод, выбрав родамин 6Ж и 6-аминофеноленон, спектры которых в обычных условиях не удовлетворяют поставленным условиям (рис. 1, *b*). Но, учитывая, что в силу своего химического строения первая молекула непротонируема, а вторая, наоборот, активно присоединяет ядро атома водорода, положение линии поглощения только последней зависит от водородного показателя растворителя. Добавление $\sim 0.8\%$ кислоты в спиртовой растворитель при соотношении концентраций родамина 6Ж и 6-аминофеноленона 2/3 обеспечило как выполнение поставленных условий (рис. 1, *a*), так и максимальный КПД лазера.

Мы впервые реализовали четырехчастотный лазер с одной активной средой (в участках M_j размещались по две спектральные компоненты), используя традиционные методы создания частотно-зависимых потерь [1], и исследовали его экспериментально, подтвердив эффективность предложенного подхода. Детальное сравнение среднего спектра (рис. 2) со спектрами отдельных импульсов показало, что отличия, характеризующие разброс их формы, не превышают 12% (без допол-

нительных средств стабилизации и при разбросе энергии и структуры накачки $\sim 100\%$). Рис. 2 демонстрирует возможности управления спектром, в частности влияние на соотношение интенсивностей спектральных компонент введения в одну из них дополнительных потерь Λ . Перераспределяется энергия между компонентами одного участка, а соотношения двух других и их общая энергия не изменяются, что подтверждает предположение о свойствах такой активной среды и иллюстрирует простоту алгоритма перестройки. Эффективность подхода подкрепляет и расширение диапазона многочастотной перестройки до 555–640 nm.

Создание комплексных сред из 3 групп активных центров в сочетании с методом однократного пространственного разделения позволит как генерировать спектры из 12 линий, которые просто и воспроизводимо перестраиваются по интенсивности и длине волны, так и расширить частотный диапазон. Природа лазерных центров и матрицы при этом ничем не ограничены. В заключение отметим актуальность подобных лазеров для многих приложений, в частности в селективной фотодинамической терапии и многочастотной спектроскопии (в особенности для оптохимической сенсорики), где необходимый разнос длин волн должен превышать диапазон одного красителя.

Список литературы

- [1] *Кравченко В.И., Пархоменко Ю.Н.* // Изв. АН СССР. Сер. физики. 1990. Т. 54. № 8. С. 1543–1551.
- [2] *Кравченко В.И., Пархоменко Ю.Н., Ющук О.И.* // Опт. и спектр. 1989. Т. 67. В. 3. С. 704–709.
- [3] *Рубинов А.Н., Афанасьев А.А., Волий В.М., Эфендиев Т.Ш.* // Докл. НАН Беларуси. 1999. Т. 43. № 2. С. 33–36.
- [4] *Красовицкий Б.М., Болотин Б.М.* Органические люминофоры. М.: Химия, 1984. 336 с.