

УДК 621.373.8

К. И. Рудик, кандидат физико-математических наук, доцент (БГТУ)

## ВЛИЯНИЕ АКТИВНОЙ СРЕДЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРОВ НА РАСТВОРАХ

В статье рассматривается эффект влияния вязкости и температуры раствора на спектральные характеристики стимулированного излучения. Проблемы влияния среды на характеристики излучения связаны с негомогенной шириной электронных уровней красителей в полярных растворах, которая определяется конфигурацией молекул в сольватной оболочке, окружающей молекулы красителя. Случаи статического и динамического негомогенного уширения зависят от частоты возбуждения. Существование прямой нерадиационной энергии между одинаковыми молекулами с различными сольватными оболочками проявляется в растворах сложных соединений. Спектры излучения лазеров на растворах красителей зависят от природы растворителя, температуры и энергии возбуждения.

The paper shows the effect of the solution viscosity and temperature on the ware-length of stimulation radiation. The problems related to inhomogeneous broadening of electronic levels in polar dye solutions caused by statistical variations of solvate shell configurations surrounding dye molecules have been presented in detail. The cases of static and dynamic inhomogeneous broadening have been considered, universal relationships describing spectral and kinetic behavior of solutions depending on the excitation frequency have been established. The existence of the directed nonradioactive energy transfer between identical molecules with different solvent configuration in solid concentrated dye solutions has been demonstrated by means of the straight experiments. Emission spectrum of the dye lasers on solvent nature, temperature and excitation energy.

**Введение.** Научное и техническое применение лазеров в основном зависит от спектральных характеристик их излучения. Чем шире диапазон длин волн, генерируемых лазерами, тем разнообразнее возможности его использования. Поэтому управление плавной перестройкой спектра излучения в широких пределах для квантовой электроники является весьма актуальной задачей. Эта проблема нашла свое решение в разработке и создании лазеров на растворах сложных органических соединений. Механизм генерации этих лазеров описывается на основе рассмотрения двух уширенных электронно-колебательных уровней. При этом лазерное излучение обусловлено переходами электронов с нижних колебательных подуровней возбужденного состояния на верхние колебательные подуровни основного состояния. Условия возникновения лазерного излучения и его характеристики определяются тремя факторами: оптическими свой-

ствами активной среды, резонатором и накачкой активной среды.

Для возникновения генерации необходимо образовать в среде достаточно высокое усиление света. Коэффициент усиления при этом равен:

$$K_{21}(v) = n_2 \sigma_{21}(v) - n_1 \sigma_{12}(v),$$

где  $n_2, n_1$  – населенности соответственно возбужденного и основного уровней;  $\sigma_{21}(v), \sigma_{12}(v)$  – сечения соответственно вынужденного испускания и поглощения.

Достаточно высокое усиление в принципе возможно создать в двухуровневой системе с уширенными энергетическими состояниями. Положение этих состояний определяется энергетическим расстоянием между подуровнями  $I^0$  и  $II^*$  (рис. 1, б), величина которого зависит от схемы электронных уровней красителя в результате ориентационных межмолекулярных взаимодействий. Теоретические основы лазеров на растворах красителей даны в работе [1].

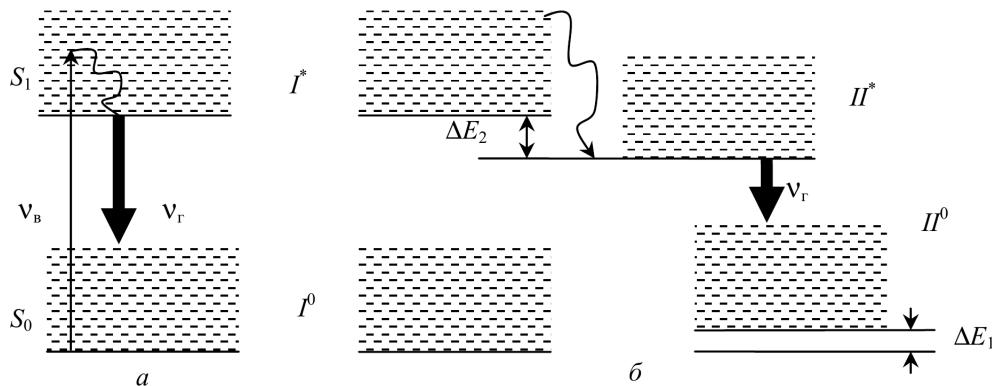


Рис. 1. Схема электронных уровней красителя в неполярном (а) и полярном (б) растворителях

В жидких полярных растворах, когда время релаксации  $\tau_p$  молекул растворителя на много меньше времени  $\tau^*$  возбужденного состояния активных молекул красителя, конечным для излучения является ориентационный подуровень  $I^0$ , который расположен выше равновесного подуровня  $I^0$  на величину  $\Delta E_1$ . Величина  $\Delta E_2$  зависит от соотношения  $\tau_p$  и  $\tau^*$ . Из сказанного следует, что частоту (длину волны) спектра излучения лазеров на растворах сложных соединений можно перестраивать, изменяя величины  $\Delta E_1$  и  $\Delta E_2$ . Настоящая работа посвящена всестороннему исследованию данного вопроса.

**Основная часть.** Принципиальная схема установки поперечного варианта возбуждения жидкостных лазеров приведена на рис. 2.

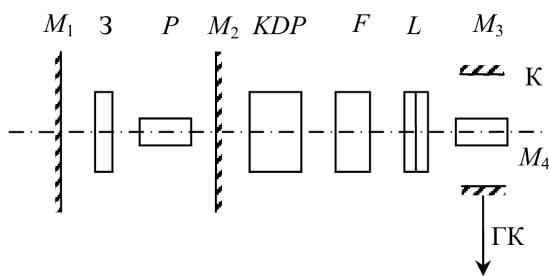


Рис. 2. Принципиальная схема поперечного варианта лазера на красителе

Возбуждение активного раствора осуществлялось излучением второй гармоники рубинового лазера с селективными диэлектрическими зеркалами  $M_1$  и  $M_2$  ( $\lambda_b = 347$  нм). Максимальная энергия возбуждающего излучения составляла 0,1 Дж. Модуляция добротности рубинового ОКГ осуществлялась пассивным затвором 3 на растворе GaCl – фталоцианина в хлорбензоле. Для получения второй гармоники применялся нелинейный кристалл дигидрофосфата калия (KDP). Для более эффективного использования излучения накачки после фильтра  $F$  ставилась цилиндрическая кварцевая линза  $L$ . Кювета  $K$  с исследуемым раствором помещалась в резонатор с широкополосными диэлектрическими зеркалами  $M_3$  и  $M_4$ . Охлаждение раствора проводилось парами жидкого азота, что позволяло выполнять измерения в температурном интервале от 293 до 163 К. Спектры излучения фиксировались при помощи спектрометра ИСП-51 с автоколлимационной камерой УФ-90.

Использование растворителя с различной полярностью его молекул смещает спектр излучения флуоресценции, и поэтому спектр лазерного излучения также должен зависеть от природы растворителя. Существенно отметить, что смещение спектра генерации идет параллельно смещению спектра флуоресцен-

ции. Проведенные исследования, которые представлены в таблице, подтверждают высказанное утверждение. Анализ полученных результатов показывает, что спектр генерации так же, как и спектр флуоресценции, смещается в коротковолновую область при переходе от более полярных растворителей к менее полярным. Необходимо отметить, что в растворителях малой полярности имеет место срыв генерации, обусловленный влиянием триплет-триплетного поглощения, спектр которого перекрывает с полосой флуоресценции раствора. Результаты (таблица) указывают на возможность управления спектрами излучения лазеров на растворах красителей.

#### Длины волн максимумов генерации и квантовые выходы $\gamma$ флуоресценции растворов фталимидов

Растворители	3-АНМФ		4-АНМФ	
	$\lambda_g$ , нм	$\gamma$ , %	$\lambda_g$ , нм	$\gamma$ , %
Вода	525	50	–	2
Глицерин	522	40	576	7
Этиленгликоль	516		576	
Этанол	512	60	576, 539	23
Изобутанол	508	62	536	23
Октиловый спирт	510		533	
Циклогексанол	510		527	39
Пиридин	–	57	517	61
Диоксан	–	54	509	59

В спектроскопии сложных молекул для синглет-синглетных переходов в полярных растворах используется 4-уровневая схема, приведенная на рис. 1, б. Согласно имеющимся представлениям, как для возбужденных, так и для невозбужденных молекул существует некоторое определенное состояние раствора, являющееся наиболее устойчивым. В этом состоянии электрические дипольные моменты молекул растворителя в сольватной оболочке выстроены определенным образом относительно дипольного момента красителя так, что энергия электрического взаимодействия всех молекул в сольвате оказывается минимальной. Конфигурация устойчивого сольвата для основного ( $I^0$ ) и возбужденного ( $I^*$ ) состояний молекулы различны, так как дипольный момент молекулы красителя при электронном переходе изменяется в общем случае как по величине, так и по направлению. Если за время жизни  $\tau^*$  возбужденного состояния конфигурация молекул раствора остается неизменной, то излучение генерации определяется состоянием  $I^*$ . Такая си-

туация реализуется для вязких (охлажденных) растворов, когда время релаксации молекул растворителя  $\tau_p$  больше  $\tau^*$ . В жидкостных растворах релаксация происходит очень быстро и справедливо обратное соотношение между  $\tau_p$  и  $\tau^*$ . Спектральные характеристики в этом случае определяются состоянием  $\Pi^*$  и генерацией в канале  $\Pi^* \Pi^0$ . Сказанное выше позволяет изменять длину волн центра генерации путем изменения соотношения  $\tau_p$  и  $\tau^*$ , варьируя температуру раствора. Соотношение между  $\tau_p$  и  $\tau^*$  в свою очередь определяет особенности поляризации излучения жидкостных лазеров [2]. На рис. 3 представлены результаты зависимости длины волны излучения генерации 3-амино-N-метилфталимида в изобутаноле.

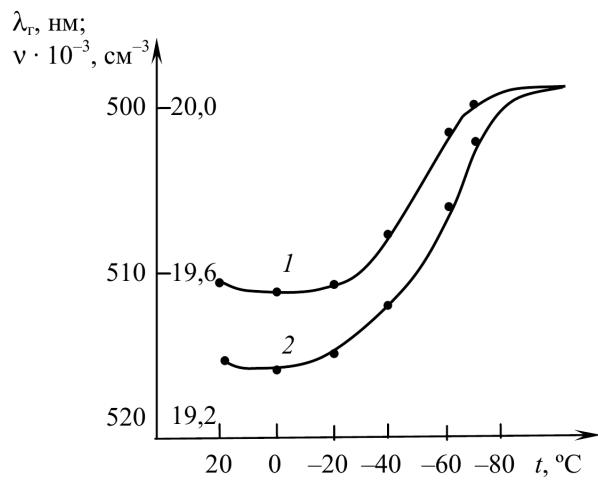


Рис. 3. Зависимость длины волны центра генерации от температуры для 3-АНМФ в изобутаноле при пороговом уровне накачки (1) и превышении над пороговым уровнем в 10 раз (2)

При исследовании влияния релаксационных эффектов на спектральные характеристики стимулированного излучения рассматриваемое соотношение  $\tau_p$  и  $\tau^*$  можно изменять путем возбуждения генерации различными уровнями энергии накачки. С увеличением энергии накачки повышается плотность энергии в резонаторе, что вызывает сокращение времени возбужденного состояния активных молекул. На рис. 4 показаны зависимости смещения полос излучения генерации от энергии накачки. Максимальная длина волны генерации соответствует пороговому уровню энергии накачки. Кроме того, положение полосы генерации при этом зависит от природы растворителя, что подтверждают данные таблицы. Наибольшее смещение полосы генерации испытывают активные системы, генерация которых лежит в более

длинноволновой области. В нейтральном растворителе (диоксан) спектр излучения занимает наиболее коротковолновое положение и не зависит от энергии накачки.

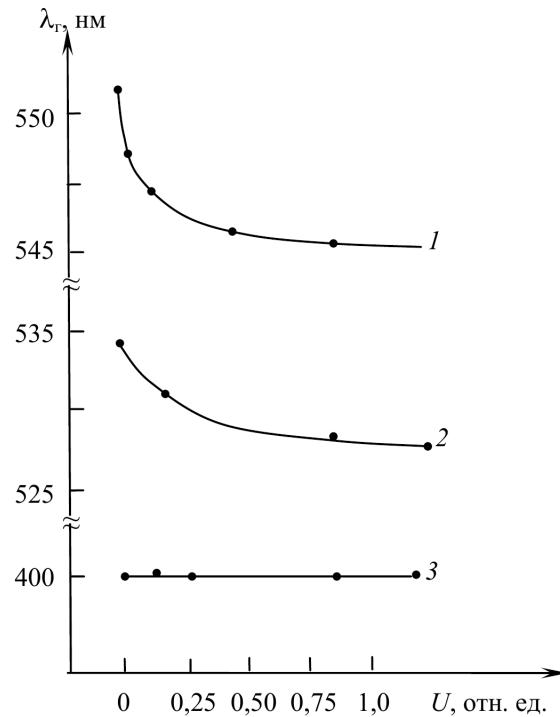


Рис. 4. Зависимость  $\lambda_g$  от мощности возбуждающего света для 4-АНМФ в глицерине (1), октиловом спирте (2) и диоксане (3)

Приведенные в данной работе результаты позволяют выработать методы управления спектральными характеристиками лазеров на растворах сложных соединений.

**Заключение.** Анализ полученных результатов показывает, что спектральные характеристики лазеров на красителях зависят от природы растворителя, температуры раствора и энергии накачки среды. Управление спектральными характеристиками лазерного излучения может осуществляться сменой растворителя, температурой раствора или энергией накачки.

## Литература

1. Рубинов, А. Н. Оптические квантовые генераторы на красителях и их применение / А. Н. Рубинов, В. И. Томин // Итоги науки и техники. – 1976. – Е. 9. – С. 5–127.
2. Рудик, К. И. Особенности поляризации излучения жидкостных лазеров / К. И. Рудик // Труды БГТУ. Сер VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2009. – Вып. XVII. – С. 57–59.

Поступила 28.02.2011