

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЖИДКОСТНЫХ ЛАЗЕРОВ

The paper shows the effect of the solution viscosity and temperature on the value of polarization of stimulation radiation. We have examined the effect of excitation light intensity and E-vector orientation on polarization of radiation. With reduction of the temperature and increase in solution viscosity, the degree of polarization of radiation increases and tends to the limiting value. The limiting value of the degree of polarization of induced radiation equals one. Increase in the excitation light intensity leads to decrease in the excited-state lifetime of the molecules and increase in the degree of polarization of radiation. The value of the degree of polarization of radiation also depends on the E-vector orientation of the excitation light. The maximum value occurs in case of the orthogonal orientation to the axis of the resonator. It is shown that in cavities of different qualities the polarization of forced radiation of phthalimide solutions is mainly by the solvent viscosity and excitation power.

Введение. Механизм генерации излучения растворов органических соединений 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 различных систем определяются тремя факторами: оптическими свойствами активной среды, резонатором и накачкой активной среды. Естественно, что основные свойства вынужденного излучения (энергетические, спектральные и векторные) характеризуются этими факторами [1].

В ранних работах [2, 3] по исследованию излучения лазеров на растворах сложных соединений было установлено, что при возбуждении плоско поляризованным светом рубинового оптического квантового генератора (ОКГ) степень поляризации близка к предельному значению. Проведенные впоследствии исследования данного вопроса носят разрозненный характер, так как в них использовались активные среды из различных классов молекул, а эксперимент проводился при различных условиях.

Настоящая работа посвящена систематическому исследованию поляризации лазерного излучения растворов сложных соединений из

класса фталимидов в зависимости от состояния активной среды и поляризации возбуждающего излучения.

Основная часть. Для исследования степени поляризации лазеров на растворах красителей применялся поперечный вариант, принципиальная схема которого приведена на рис. 1. Возбуждение растворов осуществлялось излучением второй гармоники ($\lambda = 347$ нм) рубинового лазера с модулированной добротностью или импульсами второй гармоники ($\lambda = 532$ нм) лазера на алюминий-иттриевом гранате, активированный ионами неодима (АИГ: Nd^{+3}), работающего с частотой от 1 до 100 Гц. Длина волны возбуждения для конкретных соединений выбиралась такой, чтобы она попадала в длинноволновую область поглощения раствора красителя. В этом случае осцилляторы поглощения и излучения параллельны между собой и степень поляризации излучения принимает максимальное положительное значение. Поворот плоскости поляризации излучения накачки проводился при помощи пластинки $\lambda/2$, а ослабление возбуждения осуществлялось нейтральными светофильтрами. Разделение исследуемого излучения на компоненты выполнялось при помощи призмы Волластона, а измерение интенсивности этих компонент проводилось фотоэлектрическим способом.

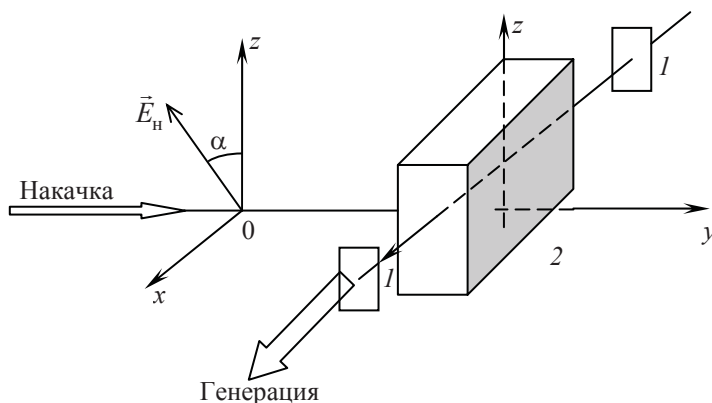


Рис. 1. Поперечный вариант накачки лазера на красителе с выбранной системой координат:
1 – зеркала, 2 – кювета с раствором красителя

При возбуждении изотропного раствора плоско поляризованным излучением распределение в пространстве возбужденных молекул, моделируемых линейными осцилляторами, является анизотропным. Состояние анизотропии распределения возбужденных молекул к моменту излучения генерации определяет степень поляризации лазерного излучения. Для изучения этого положения в работе проведено систематическое исследование степени поляризации лазерного излучения растворов фталимидов различной вязкости η в широком температурном интервале T . Вязкость и температура раствора влияют на интенсивность вращательной диффузии активных молекул, что в свою очередь определяет состояние анизотропии возбужденных молекул, а значит, величину степени поляризации излучения. Совместное влияние вязкости и температуры удобно характеризовать деполяризующим фактором T/η . Влияние этого фактора на степень поляризации излучения удобно представлять в виде $1/P = f(T/\eta)$.

На рис. 2 приведена данная зависимость для двух растворов исследуемых соединений. Представленная зависимость носит линейный характер, что позволяет непосредственно оценить время возбужденного состояния активных молекул, а также определить предельное значение степени поляризации излучения для жестких растворов при генерации излучения.

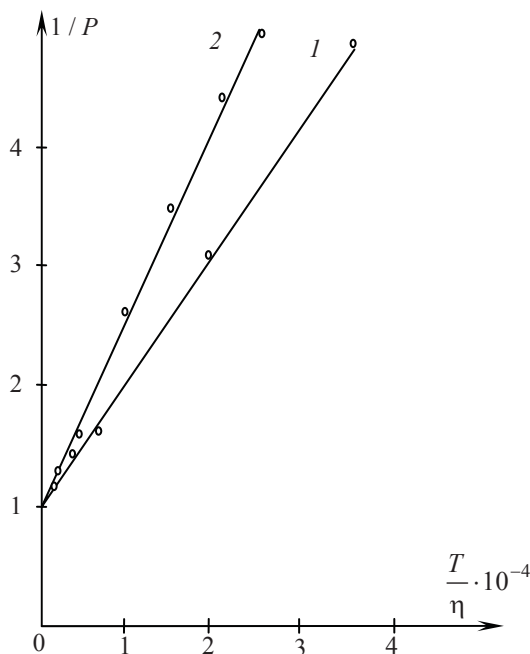


Рис. 2. Зависимость $1/P = f(T/\eta)$ для 3,6-диамино-N-метилфталимида (1) и 3-амино-N-метилфталимида (2) в глицерине

Рассчитанные численные значения τ_r для растворов фталимидов лежат в интервале $(1,5-3,0) \cdot 10^{-9}$ с (что на порядок ниже времени

возбужденного состояния при спонтанном излучении), а предельное значение $P_0 = 1$.

Таким образом, анализ полученных результатов показывает, что поляризация излучения генерации растворов сложных соединений, имея ряд специфических особенностей, во многом коррелирует с поляризацией флуоресценции и в значительной степени определяется интенсивностью броуновского вращательного движения активных молекул.

Степень поляризации вынужденного излучения растворов сложных соединений зависит от времени жизни возбужденного состояния активных молекул. С другой стороны, при вынужденном излучении время возбужденного состояния определяется развиваемой в резонаторе плотностью мощности излучения. Поэтому τ_r уменьшается с повышением интенсивности накачки, что должно приводить к увеличению степени поляризации излучения. В литературе даются единичные и не систематизированные сообщения об исследовании данного вопроса. Кроме того, имеющиеся результаты в некоторой мере противоречивы и объясняются неоднозначно.

Нами проведено систематическое исследование влияния плотности мощности возбуждающего света на поляризацию вынужденного излучения растворов фталимидов. На рис. 3 представлены типичные результаты исследуемой зависимости.

Для глицеринового раствора при $T = 293$ К (рис. 3, кривая 1) вынужденное излучение практически полностью поляризовано и не зависит от плотности мощности возбуждения. Этот факт связан с тем, что при большой вязкости раствора изменение времени возбужденного состояния активных молекул не оказывает влияния на состояние анизотропии распределения их и степень поляризации излучения не изменяется.

В изобутиловом спирте, вязкость которого на два порядка меньше глицеринового раствора, степень поляризации излучения (рис. 3, кривая 3) при пороговых уровнях накачки составляет 0,15. Превышение интенсивности накачки в 33 раза приводит к увеличению степени поляризации до величины 0,35. Кривая 2 (рис. 3) иллюстрирует зависимость P от интенсивности возбуждения глицеринового раствора при температуре 358 К, когда вращательное движение активных молекул становится достаточно интенсивным.

В заключение проанализируем закономерности поляризации вынужденного излучения растворов красителей в зависимости от ориентации вектора электрического поля E световой волны возбуждающего излучения. Отметим, что если отсутствуют другие анизотропные элементы, то при интенсивном возбуждении

раствор можно рассматривать в оптическом отношении как одноосный кристалл [4]. В этом случае излучение представляет собой сумму двух независимых мод, линейно поляризованных по осям Z и Y . При этом коэффициенты усиления связаны соотношением $k_z = 3k_y$ при $\alpha = 0^\circ$ и $k_z = k_y$ при $\alpha = 90^\circ$. Величина степени поляризации излучения при этом определяется углом α и кратностью превышения накачки M над пороговым значением.

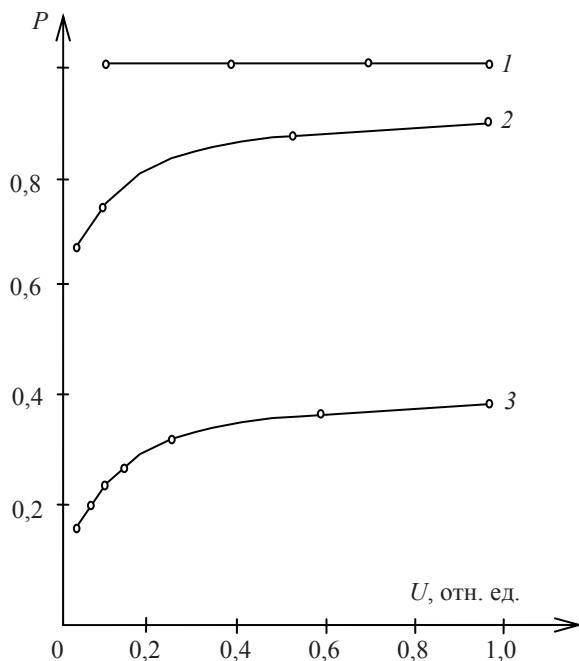


Рис. 3. Зависимость $P = f(U)$ для 4-амино-N-метилфталимида в глицерине (1) и 3-амино-N-метилфталимида в глицерине и изобутаноле (2, 3) при $T = 293$ К (1, 3) и $T = 358$ К (2)

На рис. 4 приведены результаты зависимости $P = f(\alpha)$ для 3,6-тетрамethylфталимида в глицерине и изобутаноле. Полученные данные показывают, что для вязких растворов степень поляризации определяется только анизотропией распределения возбужденных молекул в рассматриваемой системе координат. Для маловязких растворов изучаемая величина характеризуется двумя факторами: анизотропией распределения и вращательной диффузией возбужденных молекул. В пределе при $\alpha = 90^\circ$ степень поляризации генерируемого излучения стремится к нулю.

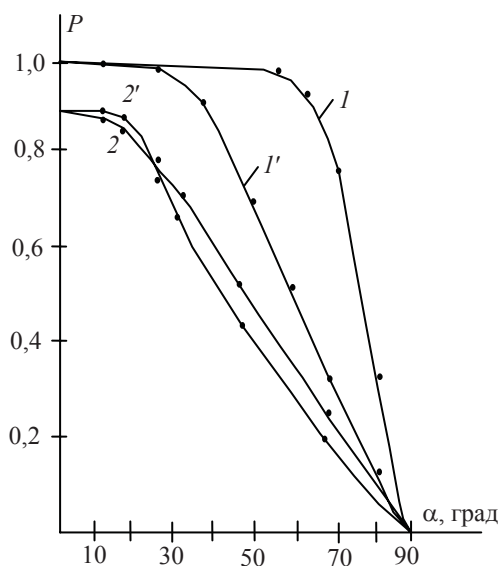


Рис. 4. Зависимость $P = f(\alpha)$ для раствора 3,6-тетрамethylфталимида в циклогексаноле (1, 1') и изобутаноле (2, 2'): 1, 2 – накачка в пороге генерации; 1', 2' – $M = 10$

Заключение. Анализ полученных экспериментальных результатов показывает, что степень поляризации лазерного излучения растворов сложных молекул хорошо описывается осцилляторной моделью этих соединений. Значение степени поляризации определяется анизотропией распределения возбужденных молекул к моменту излучения. Полученные данные могут быть использованы для управления величиной степени поляризации лазерного излучения.

Литература

1. Рубинов, А. Н. Оптические квантовые генераторы на красителях и их применение / А. Н. Рубинов, В. И. Томин // Итоги науки и техники. – 1976. – Т. 9. – С. 5–127.
2. Laser-pumped stimulated emission from organic dye. Experimental studies and analytical comparisons / P. Sorokin [et al.] // IBM J. Res. and Dev. – 1967. – Vol. 11. – P. 130–148.
3. McFarland, V. Laser stimulated emission or organic dye / V. McFarland // Appl. Phys. Let. – 1967. – Vol. 10. – P. 208–209.
4. Пикулик, Л. Г. Поляризация излучения и оптическая анизотропия растворов органических соединений / Л. Г. Пикулик, В. А. Чернявский, К. И. Рудик // Спектроскопия и люминесценция молекулярных систем. – Минск: БГУ, 2002. – С. 245–255.