

УДК 535.37

Г.В. МАЙЕР, Т.Н. КОПЫЛОВА

ОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ¹

Исследованы фотофизические процессы, протекающие в замещенных пирана при мощном лазерном возбуждении. Показано, что исследованные молекулы перспективны для использования в качестве активных сред перестраиваемых лазеров (в том числе твердотельных), лимитеров оптического излучения с $\lambda = 532$ нм, излучающих слоев органических светодиодов.

Введение

В настоящее время исследования в области создания органических материалов различного назначения ведутся очень активно, особенно за рубежом. Созданы твердотельные активные среды перестраиваемых лазеров, не уступающие по своим генерационным характеристикам растворам, что позволяет значительно расширить область применения этих лазеров.

Исследуются возможности разработки и создания лимитеров мощного оптического излучения на основе органических соединений.

Созданы органические светодиоды, по своим параметрам близкие к светодиодам на неорганических материалах, излучающие в широком спектральном диапазоне. Открывается возможность создания на их основе дисплеев с большими размерами экранов. Существует мнение о начале эры «пластиковой» электроники, когда недорогие электронные компоненты на основе органических соединений станут широкодоступными.

Близка к реализации задача создания электрически накачиваемых лазеров на основе органических соединений.

Целью предлагаемой работы является комплексное (теоретическое и экспериментальное) исследование фотопроцессов в сложных органических молекулах различного строения с целью создания молекул с заданными свойствами, перспективных для разработки полифункциональных органических материалов.

Экспериментальная и теоретическая база, методики исследования

Спектрально-люминесцентные свойства органических молекул исследовались с использованием стандартных методик и оборудования (Specord M40, Hitachi 850).

Спектры вынужденного излучения и лазерноиндуцированной флуоресценции исследовались на установке, подробно описанной в [1]. В качестве источников возбуждения использовались эксимерные XeCl-лазеры с различными параметрами возбуждающего импульса (энергией импульса (10÷50) нс, частотой повторения (1÷5) Гц), а также 2-я гармоника АИГ:Nd³⁺-лазера с $\lambda = 532$ нм, длительностью импульса на полувысоте 6 нс, энергией импульса ~20 мДж, частотой повторения 1 Гц.

Спектры лазерно-индуцированной флуоресценции и вынужденного излучения регистрировались с помощью спектрометра фирмы «Реал» за один импульс. Временные характеристики излучения – с помощью осциллографа Tektronix TDS 224, энергетические характеристики излучения – измерителями энергии ИМО-2Н, КТП-2. Наведенное поглощение в канале триплетных состояний исследовалось на установке лазерного флеш-фотолиза, подробно описанного в [2]. В качестве источника возбуждения использовался мощный XeCl-лазер с энергией в импульсе до 500 мДж, длительностью импульса 40 нс, частотой повторения 0,5 Гц. В качестве зондирующего источника использовалась искра в ксеноне, имеющая микросекундную длительность и сплошной спектр излучения в видимом диапазоне спектра. Регистрация наведенного поглощения осуществлялась с ис-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ-инно № 02-02-08104, № 01-02-16901, гранта Президента РФ МК-416.203.02 и гранта Министерства обороны РФ № 04.01.051.

пользованием спектрографа ДФС 452, широкополосного фотоэлектрического приемника и осциллографа Tektronix TDS 224. Результаты обрабатывались с помощью компьютера.

Замена зондирующего излучения (флуоресценции органических молекул, возбуждаемой излучением того же ХеСl-лазера) и использование оптической линии задержки (1÷20 нс) позволяло регистрировать наведенное поглощение как в канале триплетных, так и синглетных состояний. Плотность зондирующего импульса не превышала 1 мкДж/см², регистрация спектров наведенного поглощения осуществлялась с помощью спектрометра «Реал». Наведенное поглощение оценивалось по формуле

$$D(\lambda) = \lg[(I_{\text{невозб}}(\lambda) / I_{\text{возб}}(\lambda))], \quad (1)$$

где $I_{\text{невозб}}(\lambda)$ и $I_{\text{возб}}(\lambda)$ – интенсивности зондирующего излучения с длиной волны λ , прошедшего через невозбужденный и возбужденный раствор органического соединения соответственно.

Исследовалась также молекулярная и генерационная фотостабильность органических молекул. Молекулярная фотостабильность характеризуется квантовым выходом фотопревращений

$$\gamma = N_{\text{фот}} / N^*, \quad (2)$$

где N^* – число возбужденных молекул; $N_{\text{фот}}$ – число молекул, претерпевших фотопревращения. Генерационная фотостабильность – ресурсом работы активной среды $P_{0,5}$, равным количеству энергии, либо числу импульсов, вкачанному в единицу объема активной среды до падения КПД в 2 раза.

Для изучения нелинейных оптических свойств выбранных молекул исследовалась зависимость пропускания растворов этих молекул от плотности мощности возбуждающего излучения ХеСl-лазера и 2-й гармоники АИГ:Nd³⁺-лазера. Возбуждающий пучок фокусировался длиннофокусными линзами в середину кварцевой кюветы с исследуемыми растворами. Кювета находилась в сходящемся пучке, поперечный размер падающего пучка составлял 1 мм и на длине кюветы изменялся не более чем на 10%, площадь пучка составляла 0,8 мм². Для повышения однородности падающего излучения пучок диафрагмировался, толщина кюветы составляла 5 мм, начальное пропускание растворов исследованных молекул, как правило, составляло 70%. Интенсивность возбуждающего излучения изменялась от 2 до (250÷400) МВт/см². В качестве количественной характеристики нелинейного поглощения молекул выбран коэффициент ослабления

$$K = T_0 / T_W, \quad (3)$$

где T_0 – линейное пропускание; T_W – пропускание при мощности возбуждающего излучения W .

Квантово-химический расчет исследованных молекул проводился в рамках метода ЧПДП со спектроскопической параметризацией. Этот метод дает следующую информацию, используемую при анализе фотофизических процессов, протекающих в органических молекулах: энергии электронных состояний, соответствующие максимумам поглощения или люминесценции, силы осцилляторов электронных переходов, поляризацию переходов, природу электронных состояний, спектры наведенного $S_1 \rightarrow S_n$ - и $T_1 \rightarrow T_m$ -поглощения и т.п. Развитие методики численной оценки констант скоростей процессов дезактивации электронно-возбужденных состояний, констант скоростей радиационного распада k_r и синглет-триплетной конверсии k_{st} [3, 4] и ее реализация в наших работах позволили установить закономерности протекания фотофизических процессов в сложных органических молекулах различных классов [5–9].

Разработанный комплексный подход перспективен при решении задач, поставленных в данной работе.

Объекты исследования

В качестве объектов исследования выбраны органические молекулы, перспективные для создания:

- твердотельных активных сред перестраиваемых лазеров (паратерфенил и его замещенные, замещенные оксазола, кумарина, ксантеновые и феналеминные красители);
- ограничителей оптического излучения (замещенные пирана, цианиновые красители, порфирины, фталоцианины);

- люминесцирующих слоев органических светодиодов (замещенные кумарина, оксадиазола, пиридилоксазола, нафталимида).

Результаты проведенных исследований опубликованы в ряде работ [10–18].

В данной работе представляется интересным исследовать фотофизические процессы, протекающие в новых производных пирана, синтезированных в НПФ «Альфа Аконис» (А.В. Резниченко, О.В. Пономарева, С.М. Долотов, Е.П. Пономаренко) и изученных в отделе фотоники молекул с использованием комплексного подхода, сочетающего квантово-химические и экспериментальные исследования. Работа выполнена Л.Г. Самсоновой, В.А. Светличным, Н.Н. Светличной, В.А. Помогаевым и А.В. Помогаевой.

Замещенные пирана демонстрируют большие возможности органической химии в создании полифункциональных материалов: эти соединения эффективно люминесцируют в растворах, полимерных матрицах и пленках, являются эффективными активными средами перестраиваемых лазеров, ограничивают оптическое лазерное излучение 2-й гармоники неодимового лазера.

Структурные формулы исследованных соединений приведены на рис. 1.

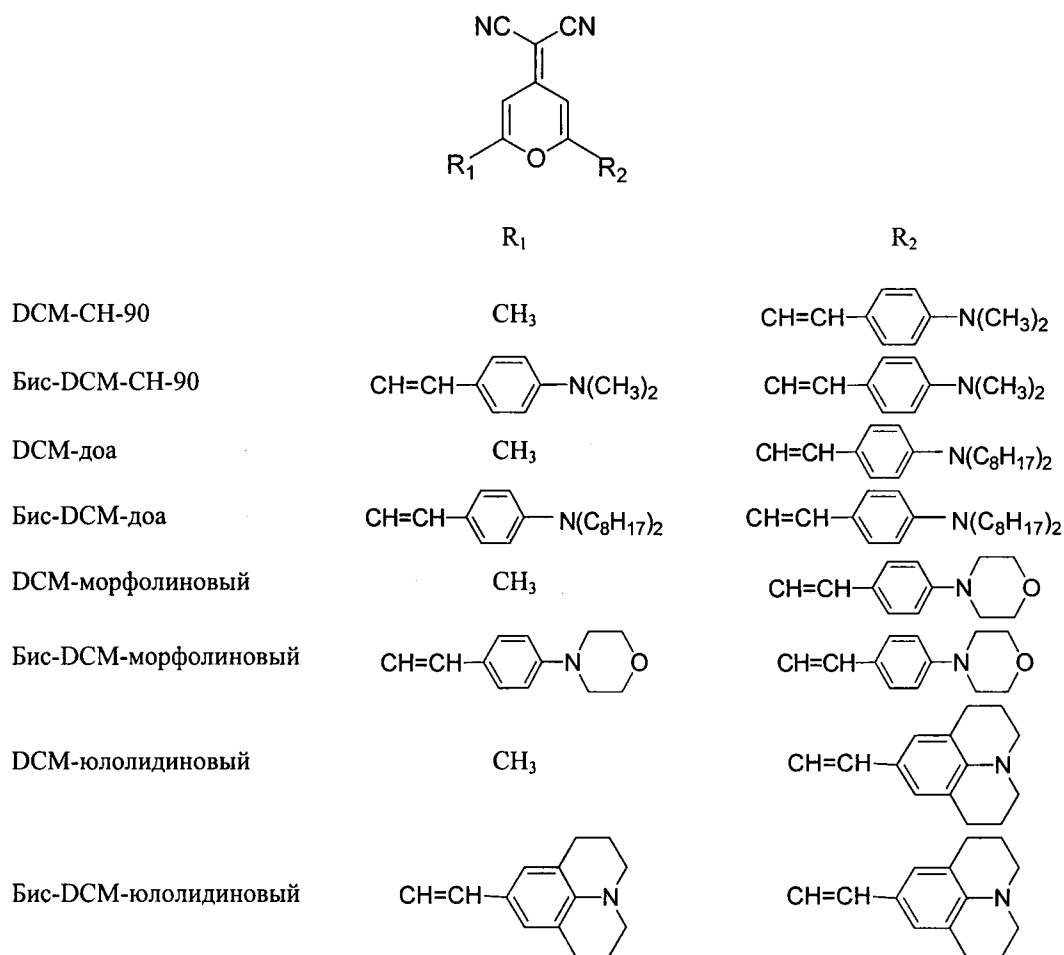


Рис. 1. Структурные формулы замещенных пирана

Спектрально-люминесцентные свойства замещенных пирана исследовались в этаноле, этилацетате и диметилсульфоксиде. Выбор в качестве растворителя этилацетата связан с исследованием возможности создания твердотельных материалов, допированных пиранами.

Генерационные свойства замещенных пирана исследовались при поперечной схеме возбуждения, использовался неселективный резонатор, образованный алюминиевым зеркалом и гранью кюветы или твердотельного образца.

Результаты и обсуждение

Спектрально-люминесцентные характеристики исследованных соединений приведены в табл. 1. Анализ приведенных данных показывает, что область длинноволнового поглощения за-

мещенных пирана в зависимости от растворителей несколько изменяется. Так, длинноволновая полоса поглощения всех исследованных замещенных пирана с уменьшением полярности растворителя сдвигается в коротковолновую область на (15±20) нм (при переходе от DMSO и этанола к этилацетату). Коэффициент экстинкции длинноволновых полос поглощения исследованных молекул достаточно высок: (40000÷50000) л/(моль·см).

Таблица 1

Спектрально-люминесцентные характеристики замещенных пирана

Соединение	Этилацетат				Этанол				Диметилсульфоксид			
	$\lambda_{\text{погл}}$ нм	$\lambda_{\text{фл}}$ нм	$\Delta\lambda_{\text{фл}}$ нм	η	$\lambda_{\text{погл}}$ нм	$\lambda_{\text{фл}}$ нм	$\Delta\lambda_{\text{фл}}$ нм	η	$\lambda_{\text{погл}}$ нм	$\lambda_{\text{фл}}$ нм	$\Delta\lambda_{\text{фл}}$ нм	η
DCM-CH-90	455	585	83	0,5±0,1	472	615	82	0,5±0,1	476	635	85	0,5±0,1
Бис-DCM-CH-90	476	625	100	0,10±0,05	481	620	85	0,10±0,03	488	650	99	0,010±0,005
DCM-доа	476	585	80	0,5±0,1	488	620	81	0,6±0,1	493	635	88	0,6±0,1
Бис-DCM-доа	490	625	93	0,2±0,1	498	650	115	0,04±0,02	500	660	88	0,013±0,005
DCM-морфолиновый	435	580	84	0,4±0,1	441	615	75	0,5±0,1	455	630	95	0,6±0,1
Бис-DCM-морфолиновый	453	630	102	0,10±0,05	455	620	86	0,04±0,02	472	650	95	0,011±0,005
DCM-юлолидиновый	490	585	100	0,10±0,02	512	650	74	0,12±0,02	515	665	83	0,12±0,02
Бис-DCM-юлолидиновый	500	585	101	0,10±0,02	512	650	85	0,10±0,02	515	665	108	0,11±0,02

Примечание. $\lambda_{\text{погл}}$, $\lambda_{\text{фл}}$ – положение максимумов полос поглощения и флуоресценции соответственно; $\Delta\lambda_{\text{фл}}$ – ширина полос флуоресценции на полувысоте; η – квантовые выходы флуоресценции при возбуждении в длинноволновую полосу поглощения.

При переходе к бис-структурам наблюдается длинноволновый сдвиг полос поглощения и флуоресценции, что говорит об увеличении цепи сопряжения в этих молекулах. Следует отметить, что для этого класса соединений характерен большой Стоксов сдвиг (4000÷6000) см⁻¹ и широкие полосы флуоресценции молекул (75÷115) нм, что говорит о значительном изменении геометрии молекул в возбужденном состоянии. Эффективность излучения исследованных замещенных пирана зависит от их строения и растворителя. Так, если для первой группы соединений (DCM-CH-90, DCM-доа и DCM-морфолиновый) квантовый выход флуоресценции $\eta = (0,40\pm0,60)$ и при переходе к их бис-структурам он падает до 0,10, то для DCM-юлолидинового и его бис-структуры $\eta = (0,10\pm0,12)$. Для первой группы соединений характерно большое влияние растворителя на излучательную способность – при увеличении полярности растворителя квантовый выход флуоресценции падает на порядок (этилацетат и DMSO). Например, для бис-DCM-CH-90 в этилацетате $\eta = 0,10$, в то время как в DMSO $\eta = 0,01$. Для DCM-юлолидинового и его бис-структуры смена растворителя не приводит к падению их излучательной способности. Так, для DCM-юлолидинового и его бис-структуры в этилацетате $\eta = 0,10$, в DMSO $\eta = 0,12$ и 0,11 соответственно.

Результаты квантово-химического исследования замещенных пирана согласуются с полученными экспериментальными данными (рис. 2). Так, например, для DCM-морфолинового максимум длинноволновой полосы поглощения в этаноле – 440 нм, в этилацетате – 434 нм, расчетное значение – 441 нм, максимум флуоресценции в толуоле – 540 нм, расчетный максимум флуоресценции 530 нм. На рис. 3 приведена схема электронных уровней DCM-морфолинового и бис-DCM-морфолинового (S_1 – флуоресцентное состояние). Оценены константы фотофизических процессов, протекающих в этих молекулах. Так, для DCM-морфолинового вероятность радиационного перехода из S_1 -состояния $k_r = 1,61 \cdot 10^8$ с⁻¹, в то время как константа скорости внутренней конверсии – $k_{ic} = 2,39 \cdot 10^7$ с⁻¹. При переходе к бис-структуре схема уровней изменяется, нижним становится новое синглетное состояние, константа радиационного распада которого составляет $k_r = 1,8 \cdot 10^7$ с⁻¹, а константа внутренней конверсии увеличивается до $k_{ic} = 2,77 \cdot 10^8$ с⁻¹, что, по-видимому, является причиной падения квантового выхода флуоресценции, что согласуется с экспериментальными

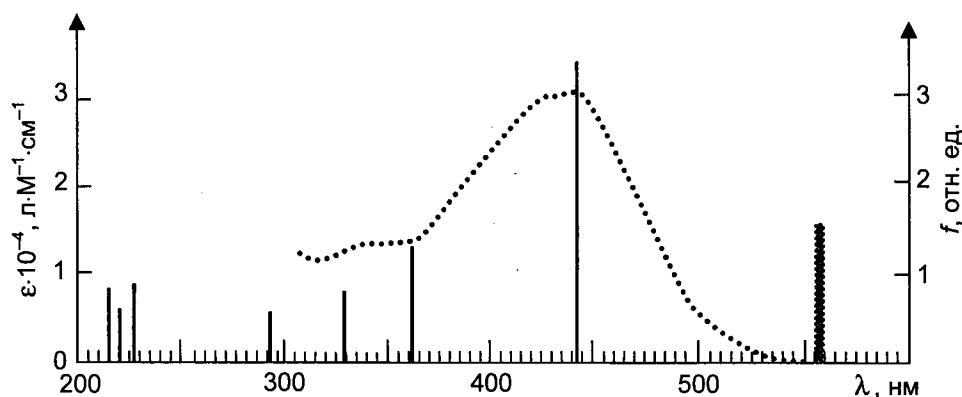


Рис. 2. Спектры поглощения DCM-юлолидинового. Экспериментальный спектр поглощения в этилацетате при комнатной температуре изображен прерывистой кривой, расчетные максимумы спектров поглощения – вертикальными линиями. В области 557 нм показан расчетный максимум полосы наведенного поглощения в канале синглетных состояний

данными. Константы скорости интерсистемной конверсии для DCM-морфолинового и его бис-структуры составляют $k_{st} = 5,28 \cdot 10^8$ и $2,08 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$ соответственно.

Генерационные свойства замещенных пирана в растворах этилацетата и ДМСО экспериментально исследовались при накачке излучением XeCl-лазера и второй гармоники АИГ:Nd³⁺-лазера.

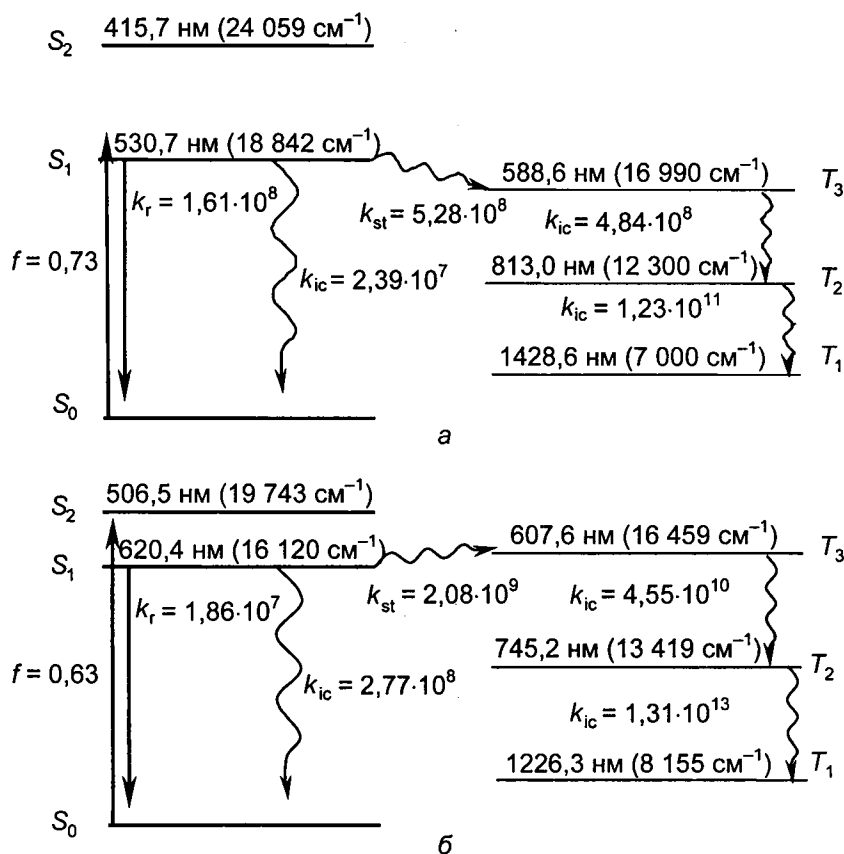


Рис. 3. Схема энергетических уровней молекул: а) DCM-морфолинового; б) бис-DCM-морфолинового

Следует отметить, что все изученные соединения генерируют лазерное излучение в выше-описанных условиях и при накачке излучением с $\lambda = 308 \text{ нм}$, и при накачке излучением с $\lambda = 532 \text{ нм}$. Пороги генерации составляют $\sim (1+40) \text{ МВт/см}^2$, КПД при накачке излучением с $\lambda = 308 \text{ нм}$ достигают $\sim 24 \%$ (табл. 2), при $\lambda = 532 \text{ нм}$ – 45%. Полоса генерации этих соединений в этаноле лежит в области 607 и 672 нм соответственно. Замещенные пирана имеют высокую эф-

фektivность генерации в этилацетате, что, как уже упоминалось выше, очень важно для прогнозирования генерационной способности соединений в матрице полиметилметакрилата (ПММА).

Обращает на себя внимание факт получения вынужденного излучения на бис-структурах, имеющих квантовый выход флуоресценции (0,10÷0,01). Экспериментальные и теоретические исследования наведенного поглощения этих соединений показали, что причиной этого может быть отсутствие поглощения $S_1 \rightarrow S_n$ и $T_1 \rightarrow T_m$ в области генерации.

В этаноле растворимость некоторых замещенных пирана (DCM-морфолинового и DCM-юлолидинового), а также бис-структур значительно хуже, чем в этилацетате, что отражается и на их генерационных характеристиках. При $\lambda = 532$ нм лучшие результаты в этаноле получены для DCM-CH-90 и DCM-доа: $\lambda_{\text{ген}} = 635$ нм и КПД = 39,5% и $\lambda_{\text{ген}} = 635$ нм и КПД = 45% соответственно. При $\lambda = 308$ нм для DCM-CH-90 и DCM-доа КПД генерации составляет 18 и 24% с $\lambda_{\text{ген}} = 635$ нм, что сравнимо с эффективностью излучения родамина 6Ж при таком же возбуждении (КПД = 25%).

Таблица 2

Генерационные характеристики замещенных пирана

Соединение	$\lambda_{\text{возб}} = 532$ нм						$\lambda_{\text{возб}} = 308$ нм					
	Этилацетат		Этанол		Диметил-сульфоксид		Этилацетат		Этанол		Диметил-сульфоксид	
	$\lambda_{\text{ген}}$, нм	КПД, %	$\lambda_{\text{ген}}$, нм	КПД, %	$\lambda_{\text{ген}}$, нм	КПД, %	$\lambda_{\text{ген}}$, нм	КПД, %	$\lambda_{\text{ген}}$, нм	КПД, %	$\lambda_{\text{ген}}$, нм	КПД, %
DCM-CH-90	607	35,2	635	39,5	658	44	604	16,5	631	18	655	18
Бис-DCM-CH-90	682	25,8	Не растворяется		755	12	672	7,6	Не растворяется		745	0,5
DCM-доа	611	34,3	635	45,0	656	45	606	18,5	635	24	656	6
Бис-DCM-доа	670	13,5	Не растворяется		Не растворяется		657	9,6	Не растворяется		Не растворяется	
DCM-морфолиновый	Не генерирует		639	13,7	654	36	607	5,2	635	10	654	11,5
Бис-DCM-морфолиновый	684	6	Не растворяется		755	7	675	6,3	Не растворяется		748	1,2
DCM-юлолидиновый	635	44,5	675	9	695	43,5	635	19,2	675	0,5	694	10
Бис-DCM-юлолидиновый	635	43,5	675	16	695	43,0	635	14,5	675	1,0	693	15

Использование DMSO в качестве растворителя позволяет продвинуться в длинноволновую область спектра (655÷755) нм. Максимальный КПД генерации в этом диапазоне спектра при $\lambda = 532$ нм наблюдается для DCM-юлолидинового и его бис-структуры: $\lambda_{\text{ген}} = 695$ нм, КПД = 43,5 и 43% соответственно. Наиболее длинноволновое излучение для бис-DCM-CH-90 и бис-DCM-морфолинового лежит в области с максимумом $\lambda_{\text{ген}} = 755$ нм, КПД генерации составляет 12 и 7% соответственно.

Как уже упоминалось выше, замещенные пирана имеют широкие полосы флуоресценции – до 100 нм. В неселективном резонаторе ширина полосы генерации на полувысоте достигает 20 нм, а по основанию 100 нм. Это обеспечивает возможность широкой перестройки длины волны генерации (до 100 нм).

Оценен квантовый выход фотопревращений исследованных замещенных пирана. Так, для соединений DCM-морфолинового, DCM-доа и DCM-CH-90 при возбуждении $\lambda = 308$ нм он составляет $(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$, а при $\lambda = 532$ нм – $(1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$. Это значение сравнимо с квантовым выходом фотопревращений известного ксантенового красителя – родамина 6 Ж при таком же возбуждении. Исследование спектров поглощения растворов замещенных DCM показало, что при облучении не образуются фотопродукты, поглощающие в области генерации этих соединений, и падение КПД генерации активной среды при фотодеградациии красителя связано только с уменьшением концентрации активных молекул. Так как органические красители обычно эффективно генерируют в дос-

таточно широком диапазоне концентраций, незначительное уменьшение концентрации за счет фотораспада не приведет к падению КПД, что обеспечит высокий ресурс работы активной среды. Оцененная генерационная фотостабильность DCM-морфолинового, DCM-доа и DCM-CH-90 при возбуждении излучением XeCl-лазера с концентрацией активных молекул $C_0 = 10^{-3}$ моль/л составляет $P_{0,8} = (150+200)$ Дж/см³, что в несколько раз лучше генерационной фотостабильности эффективно генерирующих в красной области спектра родамина 6Ж и феналемина 512. Несколько хуже генерационная фотостабильность DCM-юлолидинового – $P_{0,8} = 50$ Дж/см³.

В табл. 3 приведены генерационные характеристики замещенных пирана в ПММА в сравнении с этилацетатом. Видно, что максимальный КПД получен для DCM-доа 33% при $\lambda = 532$ нм. При УФ-возбуждении длиной волны $\lambda = 308$ нм КПД достигает 11,3% для бис-DCM-юлолидинового, ресурс работы элементов при возбуждении неподвижного образца достаточен для их практического применения.

Таблица 3

Генерационные характеристики замещенных пирана

Соединение	$\lambda_{\text{возб}}=532$ нм				$\lambda_{\text{возб}}=308$ нм				
	Этилацетат		ПММА		Этилацетат		ПММА		
	$\lambda_{\text{ген}}$, нм	КПД, %	$\lambda_{\text{ген}}$, нм	КПД, %	$\lambda_{\text{ген}}$, нм	КПД, %	$\lambda_{\text{ген}}$, нм	КПД, %	Ресурс, $P_{0,5}$, имп.
DCM-CH-90	607	35,2	604	26	604	16,5	606	6,2	45
Бис-DCM-CH-90	682	25,8	635	19	672	7,6	640	7,8	40
DCM-доа	611	34,3	607	33	606	18,5	614	8,2	100
Бис-DCM-доа	670	13,5	638	9	657	9,6	640	2,1	15
DCM-юлолидиновый	635	44,5	623	26,5	635	19,2	627	9,6	60
Бис-DCM-юлолидиновый	635	43,5	627	26	635	14,5	631	11,3	60

Вышеприведенные результаты позволяют прогнозировать перспективность использования твердотельных материалов, допированных замещенными пирана, в качестве люминесцирующих слоев органических светодиодов. Нами получена генерация замещенного пирана DCM-CH-90 в тонкой пленке полиметилметакрилата до 1 мкм.

Нелинейные оптические свойства изученных замещенных пирана приведены в табл. 4, из которой видно, что наилучшими нелинейными свойствами обладают DCM-морфолиновый и бис-

Таблица 4

Нелинейные оптические свойства замещенных пирана (при $T_0 = 70\%$, $\lambda_{\text{возб}} = 532$ нм)

Соединение		K_1 ($W_{\text{возб}} = 100$ МВт/см ²)		K_{max} ($W_{\text{возб}} = 250$ МВт/см ²)	
		Этанол	Этилацетат	Этанол	Этилацетат
I	DCM-юлолидиновый	0,9	1,0	0,9	1,0
II	Бис-DCM-юлолидиновый	0,9	1,3	0,9	1,4
III	CH-90	1,5	2,8	1,6	5,0
IV	Бис-CH-90	1,1	1,8	1,1	2,5
V	DCM-морфолиновый	4,0	2,4	6,5	4,0
VI	Бис-DCM-морфолиновый	4,2	4,5	6,3	7,0
VII	DCM-доа	1,1	1,6	1,1	2,2
VIII	Бис-DCM-доа	1,1	1,0	1,1	1,2

DCM-морфолиновый, причем смена растворителя с этанола на этилацетат не ухудшает этих свойств. На рис. 4 приведены зависимости пропускания от плотности мощности возбуждающего излучения с $\lambda = 532$ нм для DCM-морфолинового и бис-DCM-морфолинового. Начальное пропускание растворов составляло $T_0 = 70\%$. Коэффициент ослабления K_1 при плотности мощности воз-

буждающего излучения 100 МВт/см^2 достигал для DCM-морфолинового в этаноле 4,0, в этилацетате – 2,4, максимальный коэффициент ослабления при плотности мощности $(200 \div 400) \text{ МВт/см}^2$ составлял 6,5 и 4,0 соответственно. Для бис-DCM-морфолинового K_1 в этаноле – 4,2, в этилацетате – 4,5, K_{max} – 6,3 и 7,0 соответственно.

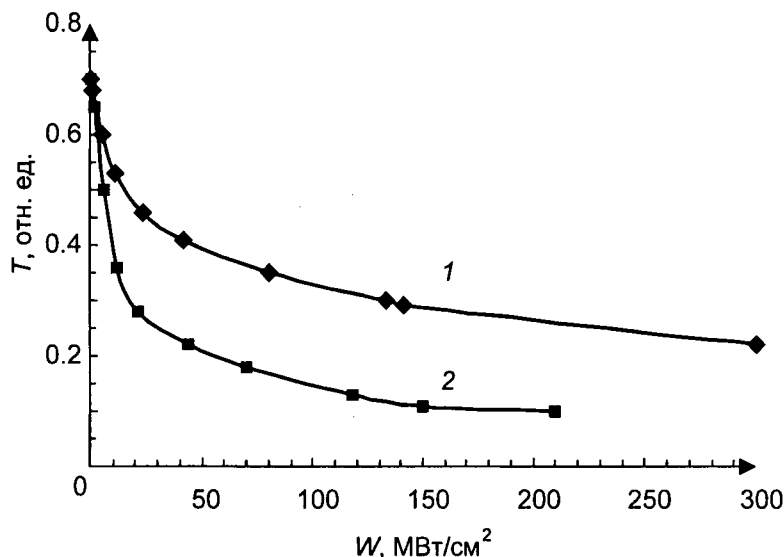


Рис. 4. Зависимость пропускания T замещенных пирана в этилацетате от плотности мощности падающего излучения W 2-й гармоники АИГ: Nd^{3+} -лазера: кр. 1 – бис-DCM-морфолиновый; кр. 2 – DCM-морфолиновый

На рис. 5 приведено нормированное пропускание излучения 2-й гармоники АИГ: Nd^{3+} -растворами органических молекул как функция расстояния до фокальной плоскости линзы (метод z -скан с открытой диафрагмой).

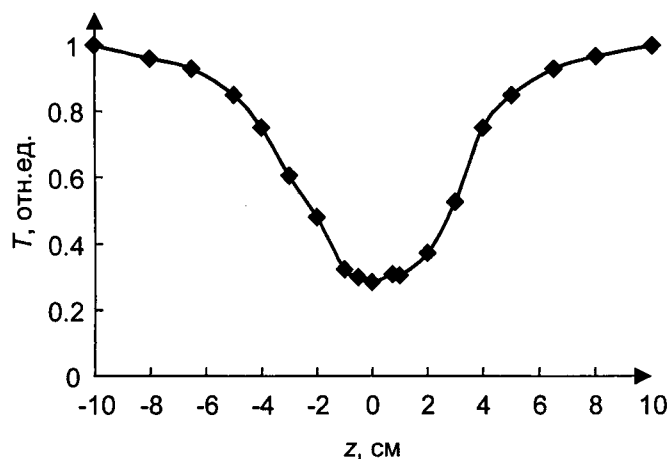


Рис. 5. Нормированное пропускание 2-й гармоники АИГ: Nd^{3+} -лазера раствором DCM-морфолинового в диметилсульфоксиде как функция расстояния до фокальной плоскости линзы (метод z -скан с открытой диафрагмой): $E_{\text{возб}} = 12 \text{ мДж}$, длительность $\tau_{1/2} = 6 \text{ нс}$, фокусное расстояние линзы $F = 10 \text{ см}$, линейное пропускание раствора $T_0 = 70\%$

Заключение

Проведенное комплексное исследование фотопроцессов, протекающих в производных пирана, показало, что эти соединения являются эффективными лазерноактивными средами, излучающими в диапазоне $(600 \div 780) \text{ нм}$ с высоким КПД до 45% в растворах и до 33% в матрице ПММА.

Проанализированы возможные причины генерации замещенных пирана (бис-DCM-CH-90 и бис-DCM-морфолиновый в диметилсульфоксиде), имеющих квантовый выход флуоресценции

0,01 (отсутствие наведенного поглощения в канале синглетных и триплетных состояний на длине волны генерации).

Установлено, что замещенные пирана могут ограничивать мощное оптическое излучение 2-й гармоники неодимового лазера. Данные квантово-химических и экспериментальных исследований позволили установить механизм ограничения оптического излучения: обратное насыщенное поглощение в канале синглетных состояний.

Получена генерация замещенного пирана DCM-CH-90 в тонкой пленке полиметилметакрилата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылова Т.Н., Кузнецова Р.Т., Майер Г.В. и др. // Оптика атмосферы и океана.– 2001.– Т. 14.– № 5.– С. 367–373.
2. Kuznetsova R.T., Kopylova T.N., Mayer G.V., et al. // Proc. SPIE.– 1998.– V. 3403.– P. 186–193.
3. Плотников В.Г. Дис. ... докт. физ.-мат. наук.– Обнинск, 1980.– 305 с.
4. Майер Г.В., Данилова В.И. Квантовая химия, строение и фотоника молекул.– Томск: Изд-во Том. ун-та, 1984.– 250 с.
5. Базыль О.К., Грузинский В.В., Данилова В.И. и др. // Опт. и спектр.– 1980.– Т. 48.– С. 262–265.
6. Данилова В.И., Дегтяренко К.М., Грузинский В.В. и др. // Квантовая электроника.– 1980.– Т. 7.– С. 1103–1105.
7. Грузинский В.В., Данилова В.И., Копылова Т.Н., Майер Г.В. // Журн. прикл. спектр.– 1980.– Т. 33.– С. 931–937.
8. Базыль О.К., Майер Г.В., Копылова Т.Н. и др. // Журн. прикл. спектр.– 1981.– Т. 35.– С. 259–264.
9. Данилова В.И., Копылова Т.Н., Майер Г.В. и др. // Изв. вузов. Физика.– 1980.– Т. 10.– С. 44–48.
10. Самсонова Л.Г., Копылова Т.Н., Васильев А.В. и др. // Журн. прикл. спектр.– 2001.– Т. 68.– № 3.– С. 328–331.
11. Копылова Т.Н., Майер Г.В., Резниченко А.В. и др. // Квантовая электроника.– 2000.– Т. 30.– № 5.– С. 387–392.
12. Кузнецова Р.Т., Копылова Т.Н., Светличный В.А. и др. // Квантовая электроника.– 2000.– Т. 30.– № 6.– С. 489–494.
13. Кузнецова Р.Т., Светличный В.А., Копылова Т.Н., Тельминов Е.Н. // Опт. и спектр.– 2000.– Т. 89.– № 2.– С. 261–268.
14. Кузнецова Р.Т., Копылова Т.Н., Самсонова Л.Г. и др. // Опт. и спектр.– 2000.– Т. 89.– № 4.– С. 564–569.
15. Кузнецова Р.Т., Копылова Т.Н., Светличный В.А. // Оптика атмосферы и океана.– 2001.– Т. 14.– № 5.– С. 373–379.
16. Kopylova T.N., Mayer G.V., Reznichenko A.V., et al. // Applied Physics B.– 2001.– V. 73.– P. 25–29.
17. Майер Г.В., Артюхов В.Я., Базыль О.К. и др. Электронно-возбужденные состояния и фотохимия органических соединений.– Новосибирск: Наука, 1998.– 226 с.
18. Kopylova T.N., Sukhanov V.B., Mayer G.V., et al. // Appl. Phys. B.– 2002.– V. 74.– P. 545–547.

Сибирский физико-технический институт
им. В.Д. Кузнецова при Томском госуниверситете