

В. Я. Гусейнова,
студент V курса физического факультета БГПУ;
В. М. Катаркевич,
кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник Института физики НАН Беларуси;
К. А. Саечников,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры общей физики БГПУ

ГЕНЕРАЦИЯ НА БИНАРНЫХ СМЕСЯХ КРАСИТЕЛЕЙ В ЛАЗЕРЕ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Для органических красителей характерно сильное поглощение света в ближней УФ и видимой областях спектра. Спектр поглощения лазерного красителя должен перекрываться со спектром излучения источника накачки. Если источником накачки служит лазер с монохроматическим излучением, краситель должен обладать сильным поглощением на этой длине волны. В принципе, малый коэффициент поглощения можно компенсировать высокой концентрацией красителя, однако это часто нежелательно, поскольку одновременно увеличивается поглощение в спектральной области генерации и, следовательно, возрастают потери в резонаторе.

Для осуществления перестройки частоты генерации в широкой спектральной области требуются красители с необычайно широкой полосой флуоресценции. В качестве активной среды РОС-лазеров, как правило, используются однокомпонентные растворы

красителей. В то же время для перекрытия некоторых областей спектра необходимо использовать их бинарные смеси [1–5].

Использование в РОС-лазере бинарной смеси растворов красителей представляет практический интерес с двух точек зрения. Во-первых, такие растворы позволяют повысить эффективность генерации тех красителей, которые слабо генерируют в однокомпонентном растворе или не генерируют вообще вследствие малого поглощения на длине волны лазера накачки. Во-вторых, такие смеси расширяют диапазон перестройки длины волны генерации, достигаемый на одном растворе.

Цель работы – получение генерации в РОС-лазере на бинарных смесях красителей и измерение ее характеристик.

В экспериментах по получению генерации в РОС-лазере на бинарной смеси красителей нами использовалась экспериментальная установка, приведенная на рисунке 1.

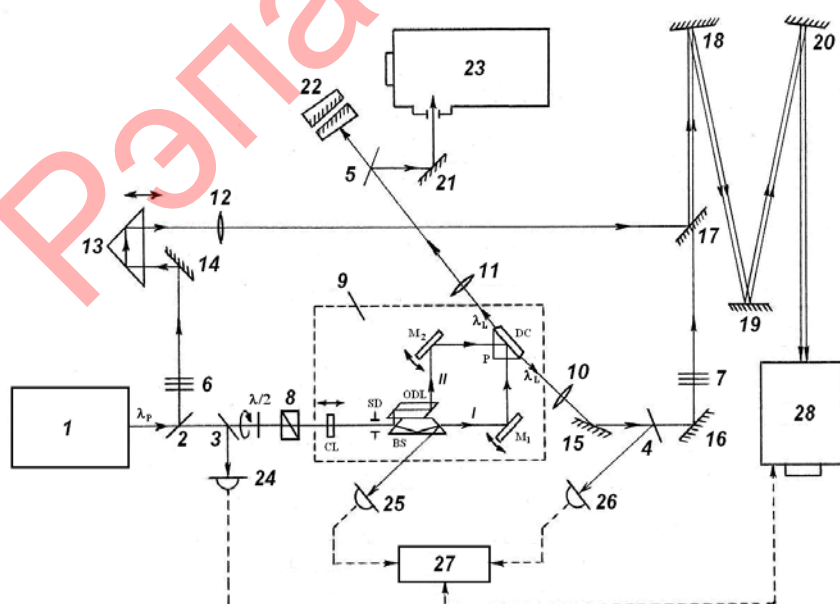


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для исследования генерационных характеристик РОС-лазера: 1 – АИГ:Nd³⁺-лазер; 2–5 – делительные пластинки; 6–7 – светофильтры; 8 – призма Глана; 9 – РОС-лазер (CL – цилиндрическая линза; SD – щелевая диафрагма; BS – призменный светоделитель; ODL – оптическая линия задержки; M₁, M₂ – диэлектрические зеркала; P – призма; DC – кювета с красителем); 10–12 – коллимирующие линзы; 13 – кварцевая призма; 14–21 – поворотные зеркала; 22 – интерферометр Фабри–Перо ИТ 51–30; 23 – автоматизированный дифракционный спектрограф S 3804; 24 – лавинный транзистор КТ-342; 25–26 – фотодиоды ФД-24К; 27 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП) ADC20M/10-2; 28 – электронно-оптическая камера «Агат-СФЗ»

В работе использовался лазер на красителях с динамической РОС оригинальной конструкции, в котором обеспечена возможность оперативного управления длиной волны генерируемого излучения в широких пределах (~540–900 нм) при автоматическом поддержании высокой точности совмещения (≤ 0.1 мм) и остроты фокусировки в активной среде двух интерферирующих пучков накачки.

В зависимости от используемого излучения накачки (вторая и третья гармоники АИГ: Nd^{+3} –лазера), применялись оптические элементы из стекла либо кварца. Призмный делитель пучка накачки BS и диэлектрические зеркала M_1 , M_2 имели соответствующее напыление.

Оптическая схема излучателя РОС-лазера приведена на рисунке 2.

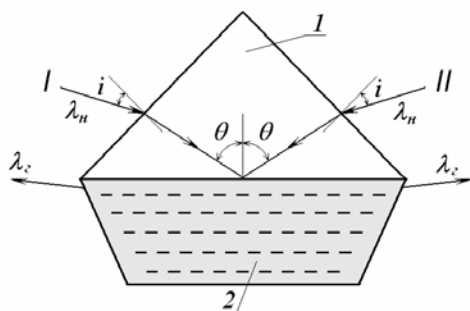


Рисунок 2 – Оптическая схема излучателя РОС-лазера:

1 – прямоугольная равнобедренная призма; 2 – кювета с раствором красителя; i – угол падения пучков накачки I и II на катетные грани призмы 1; θ – угол падения пучков накачки I и II на границу раздела «призма–раствор»

Длина волны генерации РОС-лазера λ_L определяется выражением:

$$\lambda_L = \frac{n_s \lambda_p}{n_{pr} \sin \theta}, \quad (1)$$

где

n_s и n_{pr} – показатели преломления раствора красителя на длине волны генерации λ_L и материала призмы на длине волны накачки λ_p , соответственно;

θ – угол падения пучка накачки на границу раздела «призма–раствор». Перестройка длины волны генерации осуществляется за счет изменения угла падения θ пучков накачки.

Нами использовались две пары бинарной смеси этанольных растворов красителей:

1-я пара – ксантеновый краситель родамин 4С (донор) и полиметиновый краситель 1,1'-дифенил, 3,3'-диэтил, 5,5'-дикарбоэтокси-2,2'-имидикарбоцианин йодид (№ 2636У) (акцептор);

2-я пара – кумариновые красители: кумарин 1 (донор) и кумарин 7 (акцептор).

На рисунке 3 приведены структурные формулы использованных красителей, а на рисунках 4, 5 – их спектры поглощения и люминесценции.

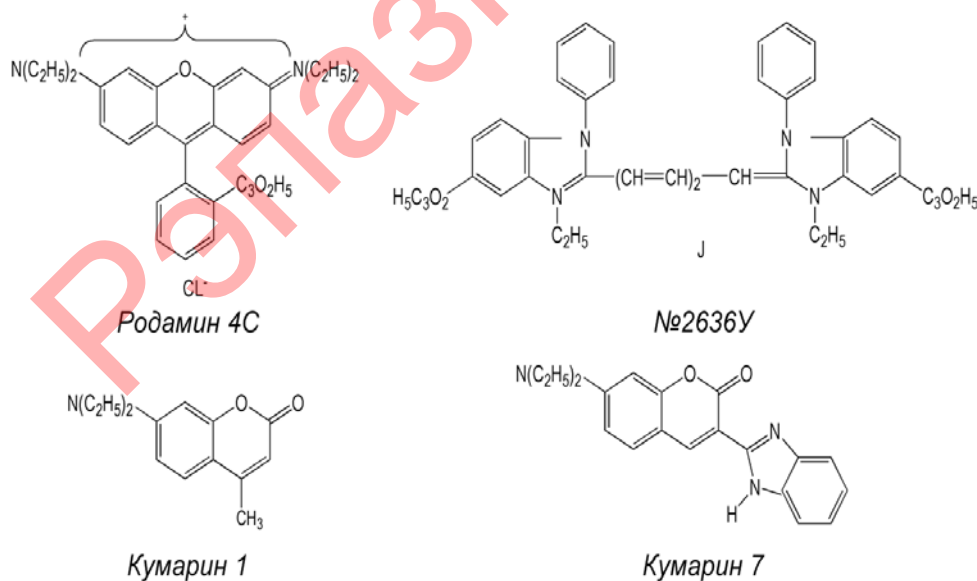


Рисунок 3 – Структурные формулы красителей

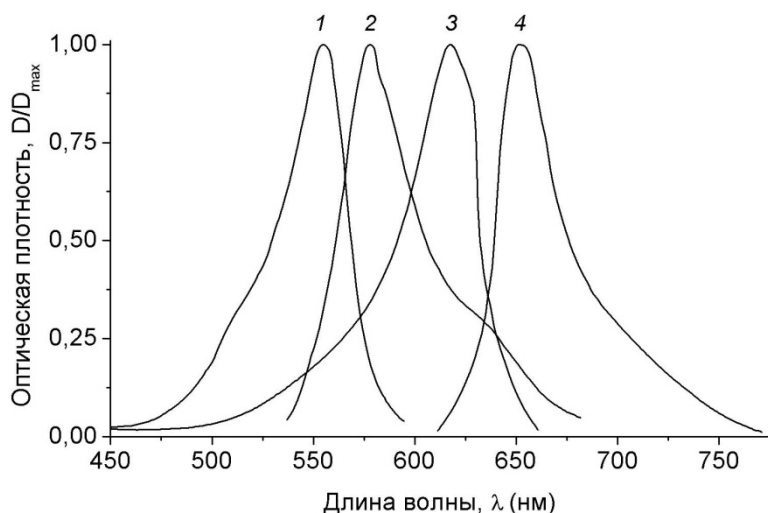


Рисунок 4 – Спектры поглощения (1, 3) и люминесценции (2, 4): 1, 2 – родамин 4С; 3, 4 – полиметиновый краситель № 2636У

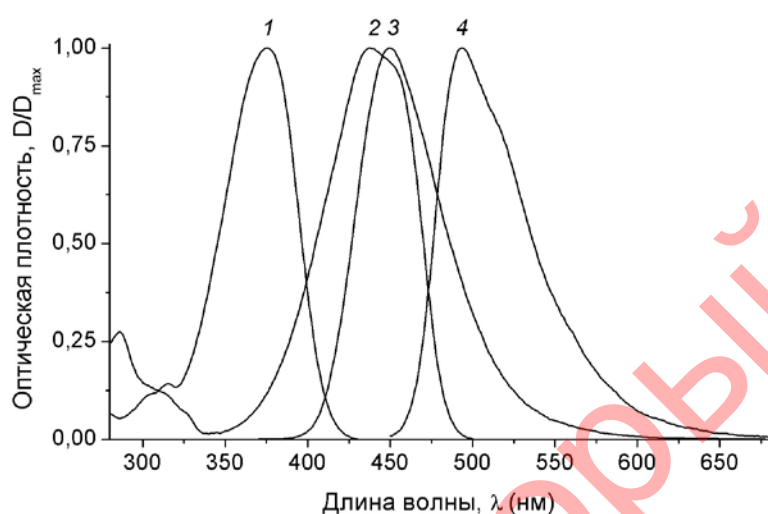


Рисунок 5 – Спектры поглощения (1, 2) и люминесценции (3, 4) этанольных растворов кумарина 1 (1, 3) и кумарина 7 (2, 4)

Родамин 4С:

длина волны максимума поглощения – 555 нм;
длина волны максимума люминесценции – 578 нм.

Полиметиновый краситель № 2636У:

длина волны максимума поглощения – 618 нм;
длина волны максимума люминесценции – 652 нм.

Кумарин 1:

длина волны максимума поглощения – 375 нм;
длина волны максимума люминесценции – 450 нм.

Кумарин 7:

длина волны максимума поглощения – 438 нм;
длина волны максимума люминесценции – 493 нм.

Возбуждение бинарной смеси родамин 4С и полиметинового красителя № 2636У осуществлялось вертикально поляризованным излучением второй гармоники ($\lambda_{p1} = 532$ нм; $\Delta\lambda_{0.5} \sim 8 \cdot 10^{-3}$ нм) наносекундного ($\tau_{0.5} \approx 17$ нс)

АИГ:Nd³⁺-лазера с энергией импульсов $E_{532} \sim 3$ мДж при частоте их следования f до 50 Гц. Спектральные характеристики измерялись с помощью автоматизированного спектрографа S3804 (спектральное разрешение ~ 0.1 нм) и интерферометра Фабри-Перо. Энергетические характеристики регистрировались с помощью откалиброванных по спектральной чувствительности фотодиодов ФД-24К и платы двухканального АЦП ADC20M/10-2.

Длина зоны возбуждения раствора красителя (то есть формируемой в активной среде РОС-структуры) составляла $L_{DFB} = 10\text{--}12$ мм при высоте $h \approx 0.1$ мм.

Из приведенных на рисунке 4 спектров видно, что излучение второй гармоники ($\lambda = 532$ нм) АИГ:Nd³⁺-лазера слабо поглощается полиметиновым красителем № 2636У. По указанной причине при прямом возбуждении данным источником излучения получить на нем генерацию не удалось. В то же время излучение второй гармоники АИГ:Nd³⁺-лазера приходится на область вблизи максимума спектра поглощения родамин 4С. Это позволило получить на данном красителе эффек-

тивную генерацию узкой линии излучения ($\Delta\lambda_{0.5} \sim 0.03$ нм), перестраиваемой в спектральном диапазоне 595–644 нм. Концентрация этанольного раствора родамина 4С составляла $C_{P4C} \sim 7 \times 10^{-4}$ моль/л. КПД преобразования излучения накачки в генерацию красителя достигал ~ 25 %.

Полиметиновый краситель № 2636У эффективно поглощает в области генерации родамина 4С. В бинарной смеси использованных красителей при возбуждении раствора излучением второй гармоники происходит перенос энергии электронного возбуждения от молекул донора к молекулам акцептора. В результате этого создается населенность полиметинового красителя, достаточная для возбуждения генерации. В этих условиях при использовании оптимального состава бинарной смеси ($C_{P4C} \sim 7 \times 10^{-4}$ моль/л; $C_{2636У} \sim 4.2 \times 10^{-4}$ моль/л) была получена генерация на полиметиновом красителе и достигнута перестройка длины волны в диапазоне 658–700 нм. Спектральная ширина линии излучения РОС-лазера составляла ~ 0.03 – 0.04 нм, а КПД генерации достигал ~ 12 %.

Таким образом, использование смеси этанольных растворов родамина 4С (донор) и полиметинового красителя № 2636У (акцептор), возбуждаемой излучением второй гармоники АИГ:Nd³⁺-лазера, позволило получить эффективную генерацию в спектральном диапазоне акцептора.

В другой серии экспериментов использовалась бинарная смесь кумарина 1 (донор) и кумарина 7 (акцептор). Концентрация донора в бинарной смеси была постоянной и составляла $C_{K1} = 2 \times 10^{-3}$ моль/л, в то время как концентрация акцептора варьировалась в пределах $C_{K7} = 0 - 8.7 \times 10^{-4}$ моль/л. Возбуждение бинарной смеси кумарина 1 и кумарина 7 осуществлялось вертикально поляризованным излучением третьей гармоники ($\lambda_{p2} = 354$ нм) описанного выше АИГ:Nd³⁺-лазера с энергией импульсов $E_{354} \sim 1.2$ мДж.

Из рисунка 5 видно, что однокомпонентный этанольный раствор кумарина 7 практически не поглощает излучение третьей гармоники АИГ:Nd³⁺-лазера. В бинарной смеси красителей развитие генерации в спектральной области акцептора происходит в условиях переноса энергии электронного возбуждения от донора к акцептору. С увеличением концентрации акцептора повышается вклад излучательного и безызлучательного переноса энергии возбуждения в создание инверсии на длине волны генерации. Увеличение кон-

центрации акцептора C_{K7} с 8.7×10^{-5} до 8.7×10^{-4} моль/л при постоянной концентрации донора ($C_{K1} = 2 \times 10^{-3}$ моль/л) приводило к смещению диапазона перестройки в длинноволновую область. Спектральная ширина линии излучения генерации составляла ~ 0.01 – 0.03 нм. Максимальный КПД генерации бинарной смеси в спектральной области акцептора достигал ~ 12 %.

Диапазон перестройки длины волны генерации однокомпонентного раствора кумарина 1 составлял 430–522 нм при максимальном КПД ~ 22 %.

В таблице приведены диапазоны перестройки длины волны генерации бинарной смеси кумарин 1 – кумарин 7 и КПД генерации в зависимости от концентрации акцептора. Концентрация кумарина 1 (донор) сохранялась постоянной и составляла $C_{K1} = 2 \times 10^{-3}$ моль/л.

Таблица

Концентрация акцептора, моль/л	8.7×10^{-5}	4.3×10^{-4}	8.7×10^{-4}
Диапазон перестройки длины волны генерации, нм	445–537	468–548	482–549
КПД генерации, %	13.8	12	11

Таким образом, использование бинарных смесей красителей позволило за счет переноса энергии электронного возбуждения от молекул донора к молекулам акцептора получить генерацию узкополосного излучения в спектральном диапазоне акцептора. При использованных в работе длинах волн и мощностях возбуждения однокомпонентные растворы акцепторов не генерируют.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курстак, В. Ю. Генерация пикосекундных импульсов в РОС-лазере на бинарных смесях красителей при наносекундном возбуждении / В. Ю. Курстак, А. Н. Рубинов, Т. Ш. Эфендиев // ЖПС. – 1991. – Т. 54, № 6. – С. 946–950.
2. Рубинов, А. Н. Особенности пикосекундной генерации РОС-лазера на бинарной смеси красителей при наносекундном возбуждении / А. Н. Рубинов, Т. Ш. Эфендиев, В. М. Катаркевич [и др.] // Квантовая электроника. – 1995. – Т. 22, № 2. – С. 129–133.
3. Sailaja, R. Tunable multiline distributed feedback dye laser based on the phenomenon of excitation energy transfer / R. Sailaja, P. B. Bisht // Organic Electronics. – 2007. – V. 8, No. 2–3. – P. 175–183.
4. Yang, Y. Distributed-feedback laser actions in zirconia-ORMOSIL waveguides based on energy transfer between co-doped laser dyes / Y. Yang,

- G. Lin, H. Xu [etc.] // Opt. Commun. – 2008. – V. 281, No. 20. – P. 5218–5221.
5. Ahamed, M.B. Tunable energy transfer distributed feedback dye laser using pyronin B and crystal violet dye mixture / M. B. Ahamed, R. G. G. Mani, G. Vijayaraghavan // Laser Physics. – 2012. – V. 22, No. 10. – P. 1469–1475.

SUMMARY

This paper presents research of the possibility of generation in a distributed feedback (DFB) laser on binary dye mixtures. The compositions of two-component dye mixtures have been selected; the generation has been realized, its characteristics have been measured.

Поступила в редакцию 15.09.2014 г.

Резазіторый БДГУ