

2. Абдильдин М.М. Проблема движения тел в общей теории относительности. - Алматы.: Қазақ университеті, 2006. – 132б.
3. H Quevedo, S Toktarbay, Aimuratov Y. - Quadrupolar gravitational fields described by theq–metric,2013.-11p
4. Nikolaos Stergioulas. Rotating Stars in Relativity – 2003, 109p
5. С. Тоқтарбай, Ә.Ж. Абылаев. Квадруполь массаның айналасындағы аккрециялық дискілер.-алматы.: QazBSQA,2021.-365

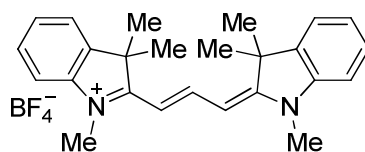
УДК 535.016, 539.2

СПЕКТРАЛЬНО – ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА РАСТВОРА ИНДОПОЛИКАРБОЦИАНИНОВОГО КРАСИТЕЛЯ В ПРИСУТСТВИИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

¹Куанышбеков М.Е., ¹Ибраев Н.Х., ¹Афанасьев Д.А.,

¹Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, г.Караганда, Казахстан
kuanyshbekov.2000@mail.ru

Полиметиновые красители (ПК) благодаря своим уникальным фотофизическим свойствам, широко используются в качестве активных и пассивных лазерных сред [1, 2], поскольку обладают наибольшим диапазоном изменения спектрально-люминесцентных и нелинейно-оптических свойств среди органических красителей [1, 2]. В ряде работ показано, что использование локализованного плазмонного резонанса наночастиц (НЧ) благородных металлов может понижать порог и улучшать качество генерации лазерного излучения как катионных ПК [1, 3], так и нейтральных мероцианиновых красителей [4]. Однако, не смотря на полученные результаты необходимо продолжение исследований связанных с изучением влияния химической природы ПК на характер влияния плазмонных наночастиц на оптические свойства ПК. Если в работе [3] было изучено влияние НЧ серебра на генерационные свойства несимметричного катионного ПК, то в работе [4] изучены генерационные свойства нейтрального мероцианинового красителя. Работа была продолжена и в представленной работе было проведено исследование влияния НЧ серебра на спектрально-люминесцентные и генерационные свойства этанольных растворов симметричного катионного индокарбоцианинового красителя **1**



Наночастицы серебра в этиловом спирте были получены методом лазерной абляции мишени серебра второй гармоникой твердотельного Nd:YAG лазера LQ 215 ($\lambda_{ген}=532$ нм, $\tau=10$ нс). Размер НЧ в коллоидном растворе определялся методом динамического рассеяния света на анализаторе размера субмикронных частиц Zetasizer Nano ZS (Malvern). Средний размер частиц серебра составил 50 нм.

Спектры поглощения и флуоресценции исследуемых образцов измерены на спектрофлуориметре CM2203 (Solar). Измерения времени жизни флуоресценции проводили методом время – коррелированного счета фотонов при возбуждении образцов диодным лазером ($\lambda_{ген}=532$ нм) (Becker&Hickl).

Измерения свойств вынуженного излучения проводилось на установке, описанной в работе [3]. Длина активной среды в кварцевой кювете составляла 1 см. Плотность мощности накачки лазерного возбуждения варьировалось в диапазоне 4-15 МВт/см².

Спектр поглощения красителя **1** в этанольном растворе лежит в области от 400 до 600 нм, спектр флуоресценции в области от 530 нм до 650 нм (Рисунок 1). В связи с высокой концентрацией красителя в растворе ($4 \cdot 10^{-4}$ моль/л) спектр поглощения красителя уширен по сравнению со спектром красителя **1** при концентрации (10^{-5} моль/л) [5]. Изменения спектров связаны с агрегацией красителя в растворе.

Спектр поглощения НЧ в этаноле с максимумом на 428 нм имеет не нулевую оптическую плотность D на всем диапазоне нахождения спектров поглощения и флуоресценции красителя **1**. Это говорит о выполнении условий резонанса между спектром поглощения НЧ серебра и спектрами поглощения и флуоресценции красителя.

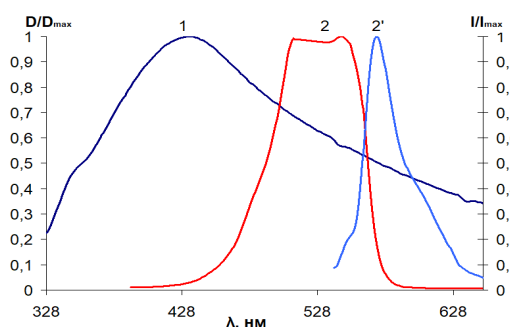


Рисунок 1 – Нормированные спектры поглощения НЧ Ag (1), поглощения красителя **1** (2) и флуоресценции красителя **1** (2').

Анализ кривых затухания флуоресценции показал что оно происходит по экспоненте с временем жизни $\tau_{\text{фл}} = 0,225$ нс. При добавлении НЧ в раствор длительность флуоресценции незначительно уменьшается.

Исследовано влияние НЧ на оптическую плотность (D) и интенсивность флуоресценции красителя ПК. При добавлении НЧ серебра в раствор с красителем величина D не значительно уменьшается. Форма спектра флуоресценции ПК **1** при добавлении НЧ серебра не изменяется. С ростом концентрации НЧ в растворе интенсивность флуоресценции растет, и достигает максимума при $C_{\text{НЧ}} = 1,5 \times 10^{-12}$ моль/л.

Исследованы свойства вынужденного излучения этанольного раствора красителя **1** при добавлении НЧ. Для раствора красителя без НЧ при плотности мощности (P) источника накачки ниже 11 МВт/см^2 наблюдается лишь спонтанная флуоресценция красителя с полушириной полосы ~ 30 нм (Рисунок 2, кривая 1). При достижении мощности источника накачки значения $11,16 \text{ МВт/см}^2$ на фоне спектра флуоресценции появляется узкая полоса генерации лазерного излучения и полуширина спектра излучения становится ~ 7 нм. Дальнейшее увеличение плотности мощности источника накачки приводит к росту интенсивности полосы генерации и уменьшению ее полуширины.

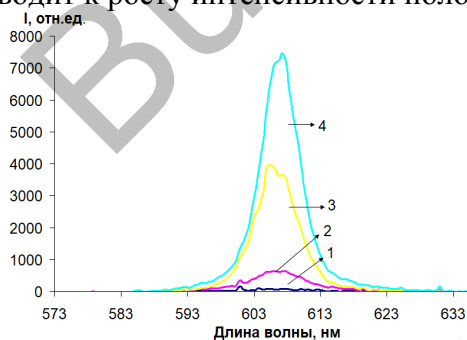


Рисунок 2 – Спектры свечения раствора красителя **1** без НЧ серебра P : 1 – $P=7,22 \text{ МВт/см}^2$; 2 – $P=9,86 \text{ МВт/см}^2$; 3 – $P=11,16 \text{ МВт/см}^2$; 4 – $P=12,38$

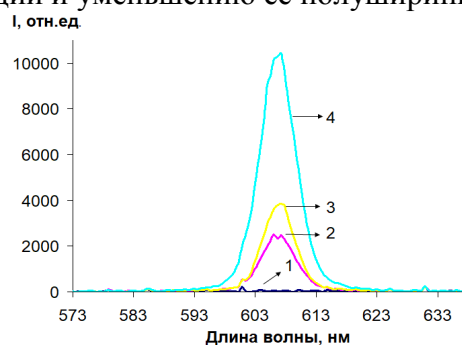


Рисунок 3 – Спектры свечения раствора красителя **1** с НЧ Ag ($C_{\text{НЧ}} = 1,5 \times 10^{-12}$ моль/л) при разных значениях P : 1 – $P=4,34 \text{ МВт/см}^2$; 2 – $P=6,64 \text{ МВт/см}^2$; 3 – $P=7,22$

МВт/см².

МВт/см²; 4 – P=7,31 МВт/см².

Сужение полосы излучения с ростом интенсивности возбуждения свидетельствует о преобладании вынужденного излучения над спонтанным, т.е. о переходе системы в режим генерации. Добавление НЧ Ag в раствор приводит к росту интенсивности свечения по сравнению со свечением раствора красителя в отсутствие НЧ (Рисунок 3).

Порог генерации вынужденного излучения красителя **1** без НЧ серебра составил 9,8 МВт/см² (Рисунок 4). Присутствие НЧ приводит к понижению порога генерации вынужденного излучения красителя на 42 % до величины 5,7 МВт/см² (Рисунок 5). При этом полуширина спектра излучения красителя **1** в присутствии НЧ значительно не изменяется.

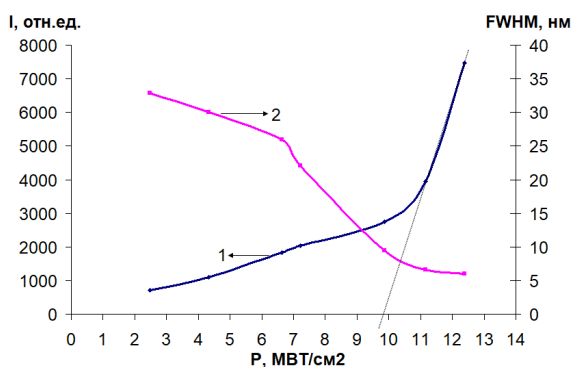


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности генерации (1) и полуширины спектра излучения красителя ПК1 (2) в этаноле без НЧ серебра от плотности мощности накачки.

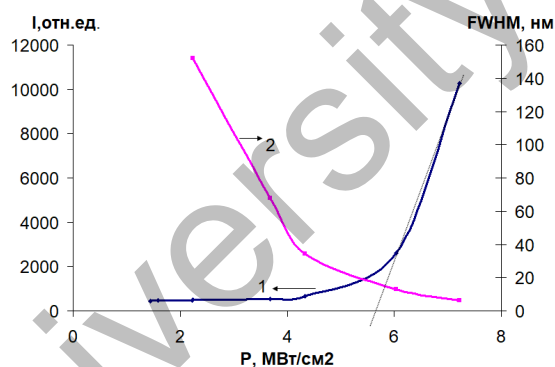


Рисунок 5 – Зависимость интенсивности генерации (1) и полуширины спектра излучения красителя **1** (2) в этаноле при $C_{НЧ} = 1,5 \cdot 10^{-12}$ моль/л от плотности мощности накачки.

Изучено влияние НЧ серебра на спектрально-люминесцентные и генерационные свойства катионного симметричного индополикарбозианинового красителя **1**. Добавление НЧ серебра в раствор с красителем приводит к росту оптической плотности и интенсивности флуоресценции красителя. Присутствие НЧ серебра в растворе приводит к понижению порога генерации вынужденного излучения красителя. Уменьшение величины порога генерации соответствует изменениям, наблюдаемым для оптической плотности, интенсивности флуоресценции свечения красителя **1**.

Литература:

1. Ищенко А.А. Лазерные среды на основе полиметиновых красителей // Квант. электрон. 1994, - Т.21, №6, С.513.
2. Dye lasers / Ed. by Schafer F.P. Berlin: Springer, 1990. - 200 p.
3. Ibrayev N., Ishchenko A., et.al. Active laser medium for near-infrared spectral range based on electron-unsymmetrical polymethine dye and silver nanoparticles // Applied Physics B. 2019, - V.125. N9. P.182.
4. Afanasyev D.A., Ibrayev N.Kh., et.al. Spectral-Luminescence and Lasing Properties of Merocyanine Dye Solutions in the Presence of Silver Nanoparticles // Optics and Spectroscopy. 2020. Vol. 128. No. 1. P. 61 – 65.
5. Seliverstova E., Ibrayev N., et.al. Competitive influence of the plasmon effect and energy transfer between chromophores and Ag nanoparticles on the fluorescent properties of indopolycarbocyanine dyes // J. of Luminescence, 2021, V.235, P.118000.