

### Список литературы:

1. Шульгин Б.В., Петров В.Л., Пустоваров В.А. и др. Сцинтилляционные детекторы нейтронов на базе  ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла, активированного церием // Физика твердого тела. – 2005. – Т. 47. – № 8. – С.1364–1367.
2. M. Nikl, K. Nitsch, E. Mihokova et al. // Appl. Phys. Lett. – 2000. – V. 77. – P. 2159.
3. Y. Chen, K. WaiCheah, M. Gong. Low thermal quenching and high-efficiency  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ -co-doped  $\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  green phosphor for white light-emitting diodes, Journal of Luminescence. – 2011. – V. 131. – P. 1589–1593.
4. Y. Chen, D. Luo, L. Luo et al. Luminescence of  $\text{Ce}^{3+}/\text{Tb}^{3+}$  ions in lithium–magnesium aluminosilicate glasses // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2014. – V. 386. – P. 124–128.
5. H. Yang, Y. Liu, S. Ye, and J. Qiu. Purple-to-Yellow Tunable Luminescence of  $\text{Ce}^{3+}$  Doped Yttrium-Silicon-Oxide-Nitride Phosphors // Chem. Phys. Lett. – 2008. – V. 451. P. 218–222.
6. D. He, Yu. Chunlei, J. Cheng, Sh. Li, Hu. Lili. Effect of  $\text{Tb}^{3+}$  concentration and sensitization of  $\text{Ce}^{3+}$  on luminescence properties of terbium doped phosphate glasses // J. Alloys Compd. – 2011. – V. 509. P. 1906–1909.

### ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МИКРОСЛОЕВ АКТИВНОЙ СРЕДЫ С АГЛОМЕРИРОВАННЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

*А.В. Пустовалов<sup>1</sup>, м.н.с. ТПУ  
М.М. Зиновьев<sup>2</sup>, студент гр.700  
А.В. Трифонова<sup>2</sup>, студент гр.724  
С.П. Журавков<sup>1</sup>, с.н.с. ТПУ*

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30,  
тел.(3822)-444-555

<sup>2</sup>Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 36,  
тел.(3822)-529-852

E-mail: [muxa9229@mail.ru](mailto:muxa9229@mail.ru)

Современное стремление к миниатюризации лазерных излучателей требует создания новых высокоэффективных активных сред в широкой спектральной области. Весьма перспективная область в этом направлении – исследование активных сред, представляющих собой композиты на основе лазерно-активных молекул и наноструктур различной физической природы. Внедрение таких наночастиц в активную среду приводит к существенному увеличению в них оптических процессов, в том числе и к лазерной генерации, именуемой в литературе как «random» лазер [1,2]. Физической причиной развития лазерной генерации в рассеивающих средах с лазерно-активными молекулами (random lasing) является формирование положительной обратной связи в таких композитных средах за счет многократного рассеяния вынужденного вторичного излучения в возбужденной

диффузно-рассеивающей активной среде [3, 4]. Работа по повышению эффективности безрезонаторной генерации в таких композитах идет, в основном, в направлении использования в качестве эффективных рассеивателей плазмонно-резонансных наночастиц, к которым в видимом диапазоне относятся наночастицы серебра и золота, имеющие узкие резонансы в районе длин волн 420 нм для наночастиц серебра и 530 нм для золота [5]. Для расширения спектрального диапазона плазмонно-резонансных свойств наночастиц этих материалов ведется активный поиск в направлении изменения их пространственных конфигураций за счет придания наночастицам формы эллипсов, звездочек, создания оболочечных наночастиц [6, 7]. В настоящее время существуют работы [12], в которых теоретически показано, что использование агломератов наночастиц (вместо одиночных) позволяет повысить плотность мощности локальных оптических полей на порядки. В своих теоретических и экспериментальных работах [8, 9], опираясь на известные электродинамические расчеты [10] и следствия из теории Парселла [11], мы предложили в некотором смысле альтернативный подход – использовать в качестве рассеивателей не одиночные наночастицы, а агломераты из наночастиц, причем не обязательно плазмонно-резонансных. А именно, за счёт эффекта Парсела в этом случае увеличивается скорость спонтанных переходов в излучающих молекулах [12], в результате чего за время действия накачки рождается больше фотонов вторичного излучения, что должно привести к понижению порога лазерной генерации.

Целью данной работы было сравнение спектрально-энергетических характеристик лазерной генерации в растворах родамина 6G (Rh6G) с агломератами наночастиц металлов Al, Ag. Эти агломераты имеют одинаковые морфологию и распределения по размерам и представляют собой скопления близкорасположенных сферических наночастиц.

Исследуемые образцы представляли собой тонкие слои (толщина  $\sim 20$  мкм) растворов Р6Ж в этаноле, помещенные между покровными стеклами. Концентрация красителя составляла  $10^{-3}$  моль/л, концентрация агломератов наночастиц варьировалась в широком диапазоне  $10^5$ - $10^9$  см $^{-1}$ . Образцы облучались импульсами второй гармоники излучения лазера на YAG-Nd $^{3+}$  (с длительностью импульса  $\Delta t = 6$  нс, длиной волны  $\lambda = 532$  нм). Частота следования импульсов – 1 Гц. Плавная регулировка энергии накачки осуществлялась с помощью поляризационной призмы Глана-Томпсона. На рисунке 1 приведена блок-схема экспериментальной установки.

В нашей задаче специально использовались агломераты наночастиц алюминия, поскольку измеренный спектр их поглощения не перекрывается ни со спектром лазерной накачки ( $\lambda = 532$  нм), ни со спектром поглощения или люминесценции красителя Р6Ж. Таким образом, в эксперименте эффекты плазмонного резонанса во всяком случае для наночастиц алюминия были исключены.

По результатам проведенного эксперимента были получены спектрально-энергетические характеристики генерации в тонких слоях растворов Родамина 6Ж, допированного агломератами наночастиц алюминия и серебра.

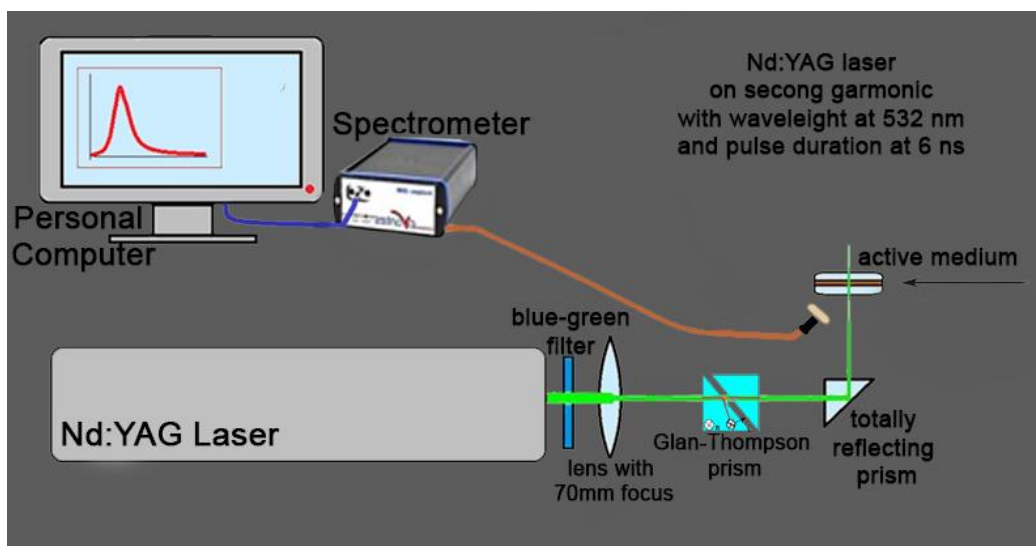


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

На рисунке 2 представлены зависимости интенсивности свечения растворов с наночастицами (кривая 1) и полуширины спектра свечения растворов (кривая 2) от энергии лазерного излучения.

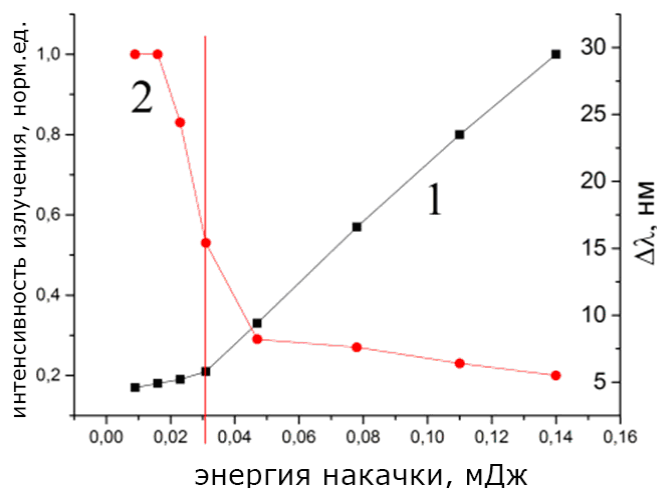


Рис. 2. Зависимости интенсивности и полуширины спектральной линии свечения раствора РБЖ с агломератами алюминия от энергии лазерной накачки.

Видно, что с ростом энергии накачки полуширина линии свечения резко уменьшается от 30 нм до 7 нм и менее в достаточно узком интервале энергий накачки. В этом же интервале происходит резкое увеличение угла наклона кривой 1. Всё это позволяет говорить о том, что значение энергии накачки приблизительно 0,03 мДж является порогом реализуемой в растворе безрезонаторной лазерной генерации. При этом суперлюминесценция в слое чистого раствора родамина 6Ж наблюдалась при энергии накачки 29 мДж.

На рисунке 3 показана зависимость величины пороговой энергии от концентрации агломерированных наночастиц Al (кривая 1) и Ag (кривая 2).

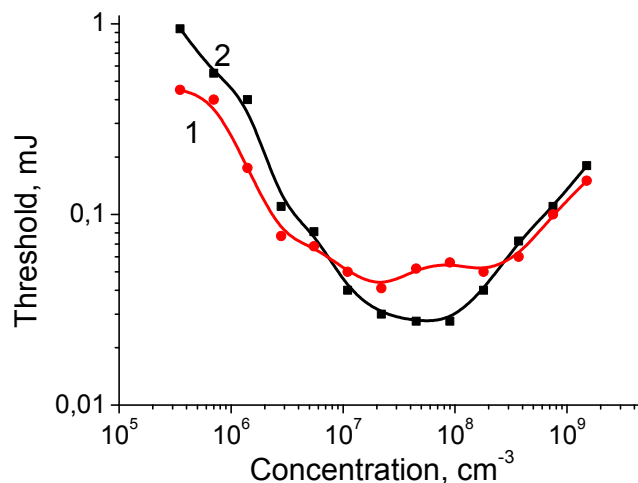


Рис. 3. Зависимость величины пороговой энергии от концентрации агломерированных наночастиц Al (кривая 1) и Ag (кривая 2).

Из рисунка 3 видно, что существует довольно значительный диапазон значений оптимальных концентраций наночастиц ( $10^7$ - $10^8$  см<sup>-3</sup>), величина которого практически одинакова для наночастиц Ag и Al. В этом диапазоне концентраций наночастиц реализуются минимальные пороги генерации в композитных растворах. Следует отметить, что минимальная величина порога в случае наночастиц Al приблизительно на 40% выше, чем для наночастиц Ag, что, возможно связано со спектральным расширением спектра плазмонного поглощения в связи с агломерацией наночастиц серебра [7].

На рисунке 4 показана зависимость интенсивности излучения генерации от концентрации агломератов Ag и Al в надпороговом режиме (при энергиях накачки на 20 % больше пороговых энергий).

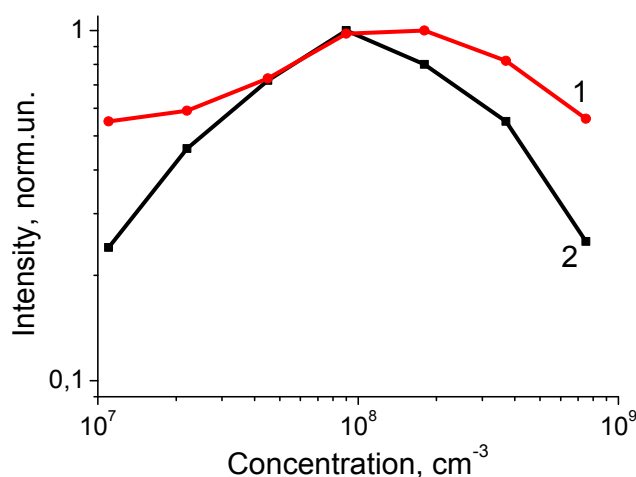


Рис. 4. Зависимость нормированных значений интенсивности излучения генерации от концентрации агломератов Ag (кривая 1) и Al (кривая 2) в надпороговом режиме.

Видно, что и интенсивность генерации наиболее эффективна в том же самом интервале значений концентраций наночастиц Ag и Al.

Таким образом, проведенные исследования показали:

1) использование в растворах Р6Ж агломератов наночастиц Ag и Al приводит к существенному (более чем на два порядка величины) понижению порогов безрезонансной лазерной генерации;

2) значения пороговых энергий генерации при оптимальной концентрации агломератов в случае наночастиц Al приблизительно на 40 % выше, чем для агломератов наночастиц Ag;

3) интервал значений концентраций использованных агломератов наночастиц одинаков для обоих типов агломератов и составляет 107-108 см<sup>-3</sup>.

4) спектр линии генерации сдвинут в коротковолновую сторону относительно максимума спектра спонтанной люминесценции.

Поскольку в спектральных диапазонах излучения накачки (532 нм) и люминесценции родамина 6Ж (560-600 нм) наночастицы алюминия не проявляют плазмонно-резонансных свойств, то, можно предположить, что наблюдаемое в эксперименте значительное понижение порога безрезонансной генерации обязано проявлению высокоинтенсивных локальных оптических полей вблизи поверхности агломератов наночастиц.

Увеличение или уменьшение концентрации наночастиц алюминия и серебра по сравнению с оптимальными значениями приводит к ухудшению спектрально-энергетических характеристик. Возрастают энергии порога генерации, а также растет полуширина спектра генерации и падает интенсивность излучения раствора.

### Список литературы:

1. Летохов В.С. Генерация света рассеивающей средой с отрицательным резонансным поглощением // ЖЭТФ. – 1967. – Т. 53, В. 4. – С. 1442–1452.

2. Маркушев В.М., Золин В.Ф., Брискина Ч.М. Порошковый лазер // ЖПС – 1986. – Т. 45. – С.847–850.

3. W. L. Sha, C.-H. Liu, and R. R. Alfano Spectral and temporal measurements of laser action of Rhodamine 640 dye in strongly scattering media // Optics Letters. – 1994. V. 19. – № 23.

4. Noginov M.A., Caufield H.J., Noginova N.E., and Venkateswarlu P. Line narrowing in the dye solution with scattering centers // Opt. Commun. – 1995. – V. 118. – P. 430–434.

5. E. Fort, S. Gresillon. Surface enhanced fluorescence // Jpn. Appl. Phys. – 2008. V. 45. – № 17. – P. 1265–1287.

6. Sonnichsen C., Franzl T., Wilk T., G. von Plessen, Feldmann J. Plasmon resonances in large noble-metal clusters // New Journal of Physics – 2002. – V. 4. – P. 93.

7. Карпов С.В., Слабко В.В. Оптические и фотофизические свойства фрактально-структурированных золей металлов. – Изд-во СО РАН, Новосибирск. – 2003. – 265 с.

8. Булыгин А.Д., Харенков В.А., Землянов Ал.А., Донченко В.А. // Материалы XX Международного Симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Новосибирск, 23-27 июня 2014 г. – С.В193-В196. – Томск: Изд-во ИОА РАН. – 2014.

9. Донченко В.А., Землянов Ал.А., Кривошеев Н.С., Харенков В.А. Влияние локальных полей вблизи агломерированных наночастиц на эффективность суперлюминесценции в растворах органического красителя // Оптика атмосферы и океана». – 2012 – Т. 25. – № 11. – С.999–1002.

10. Sweatlock L.A., Maier S.A., Atwater H.A. Highly confined electromagnetic fields in arrays of strongly coupled Ag nanoparticles // Phys. Rev. – 2005. – V. 62. – P. 10265–10287.

11. Климов В.В., Дюклуа М., Летохов В.С. // Квант. электроника. – 2001. – Т. 31. – № 7. – С. 569–586.

12. Гузатов Д.В., Климов В.В. Свойства спонтанного излучения атома, расположенного вблизи кластера из двух сферических наночастиц // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35. – С. 861–865.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТЕКЛА, АКТИВИРОВАННОГО ТЬ/СЕ

*Нгуен Ван Ву, студент гр. 4В21*

*Е.Ф. Полисадова, к.ф.-м.н., доцент*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,*

*тел.(3822)-606-310*

E-mail: sir.nguyenvu92@gmail.com

**Введение.** В сфере атомной энергетики, космической техники, медицинской томографии, лучевой терапии, неразрушающего контроля эксплуатация оптических и оптико-электронных приборов часто производится в условиях повышенной радиационной нагрузки. Изменение оптических свойств оксидных стекол под действием ионизирующих излучений может существенно повлиять на рабочие параметры аппаратуры, в которой многие элементы, такие как световоды, линзы и др. изготовлены из стекла. Действие излучений может быть как положительным, так и отрицательным. Экспериментально показано увеличение эффективности лазеров, работающих на оксидных кристаллах, подвергавшихся воздействию ионизирующей радиации (электронов, гамма- и рентгеновских лучей). Известно, что при облучении в стеклах могут образовываться дефекты [1, 2]. В материале под воздействием ионизирующего излучения протекает целый комплекс сложных процессов, предсказать последствия которых теоретически удастся далеко не всегда. По этой причине для обеспечения возможности надежного прогнозирования поведения свойств оптических материалов, требуется исследовать действие ионизирующего излучения на их характеристики.

Цель работы - изучение влияния концентрации церия на оптические свойства литий-фосфат-борат-флюоридного стекла, активированного Ть/Се при различных условиях облучения. Стекла, активированные ионами церия и тербия, применяются как сцинтилляционные материалы [3].

**Методика эксперимента и образцы.** Исследовались образцы стекол состава  $\text{Li}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5-\text{CaF}_2-\text{Tb}(5 \text{ вес.}\%); \text{Ce}(X \text{ вес.}\%)$ , где  $X = 0.2; 0.5; 1$  (образцы СТ1, СТ2,