

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Зиновьев Михаил Михайлович

магистрант

Трифопова Алина Витальевна

студентка

Харенков Владимир Александрович

аспирант

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский

Томский государственный университет»

г. Томск, Томская область

**ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В ТОНКИХ СЛОЯХ ДОПИРОВАННЫХ
НАНОЧАСТИЦАМИ АЛЮМИНИЯ**

***Аннотация:** в статье описываются экспериментально полученные результаты, показывающие, что внедрение агломератов наночастиц алюминия с концентрацией порядка 10^7 см^{-3} в раствор R6G толщиной 20 мкм понижает пороги безрезонаторной лазерной генерации примерно на два порядка величины по сравнению с порогом вынужденного излучения в слое чистого раствора R6G.*

***Ключевые слова:** агломераты, лазерная генерация, наночастицы, вынужденное излучение.*

В настоящее время в лазерной физике сформировалось и интенсивно развивается новое направление – random lasing – случайная лазерная генерация в нанодисперсных активных средах. Основные положения random lasing и их многочисленные практические приложения можно найти, например, в обзоре [1]. Физической причиной развития лазерной генерации в рассеивающих средах с лазерно-активными молекулами является формирование положительной обратной связи в таких композитных средах за счет многократного рассеяния вынужденного вторичного излучения в возбужденной диффузно-рассеивающей активной среде. 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. 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. В своих теоретических и экспериментальных работах [2, 3], опираясь на известные электродинамические расчеты [4] и следствия из теории Парселла [5], мы предложили в некотором смысле альтернативный подход – использовать в качестве рассеивателей не одиночные наночастицы, а агломераты из наночастиц, причем не обязательно плазмонно-резонансных. Из электродинамики известно, что вблизи поверхности металлических частиц происходит пространственное перераспределение падающего поля, а именно, возникают локальные поля повышенной плотности мощности (на один-два порядка и более превышающие величину падающего поля). При этом увеличивается число возбужденных молекул и за счет эффекта Парселла увеличивается скорость спонтанных переходов в молекулах, в результате чего за время действия накачки образуется большое число фотонов вынужденного излучения.

В данной работе приводятся результаты измерения спектрально-энергетических характеристик лазерной генерации в тонких слоях растворов родамина 6G (толщина слоя 20 мкм) с агломерированными наночастицами Al, т.к. в метаматериалах обычно используют тонкие слои оптических материалов. Концентрация красителя составляла 10^{-3} моль/л. В эксперименте исследуемые растворы помещались между двумя покровными стеклами и облучались импульсами второй гармоники излучения лазера на АИГ- Nd^{3+} ($\Delta t=6$ нс, $\lambda=532$ нм). Плавная регулировка энергии накачки осуществлялась с помощью поляризационной призмы Глана-Томпсона. Спектры свечения растворов регистрировались спектрометром AvaSpec-ULS2048L-USB2.

Концентрация частиц в растворе варьировалась от 20% до 0,002% объемных долей, что соответствует диапазону концентраций от $3 \cdot 10^9$ см $^{-3}$ до 10^6 см $^{-3}$. По спектрам, полученным при различных концентрациях агломератов, построена

Актуальные направления научных исследований: от теории к практике

зависимость интенсивности излучения генерации в растворах от концентрации частиц при фиксированной величине надпороговой энергии накачки (рис. 1, а). Из рисунка видно, что максимальная эффективность генерации достигается при концентрации частиц с объемной долей 0,6%

($3 \cdot 10^7 \text{ см}^{-3}$). Эта концентрация была определена как оптимальная. На рис. 1, б представлена зависимость интенсивности свечения раствора с концентрацией 0,6% от энергии накачки (кривая 1) и там же зависимость полуширины спектра свечения раствора от энергии накачки (кривая 2).

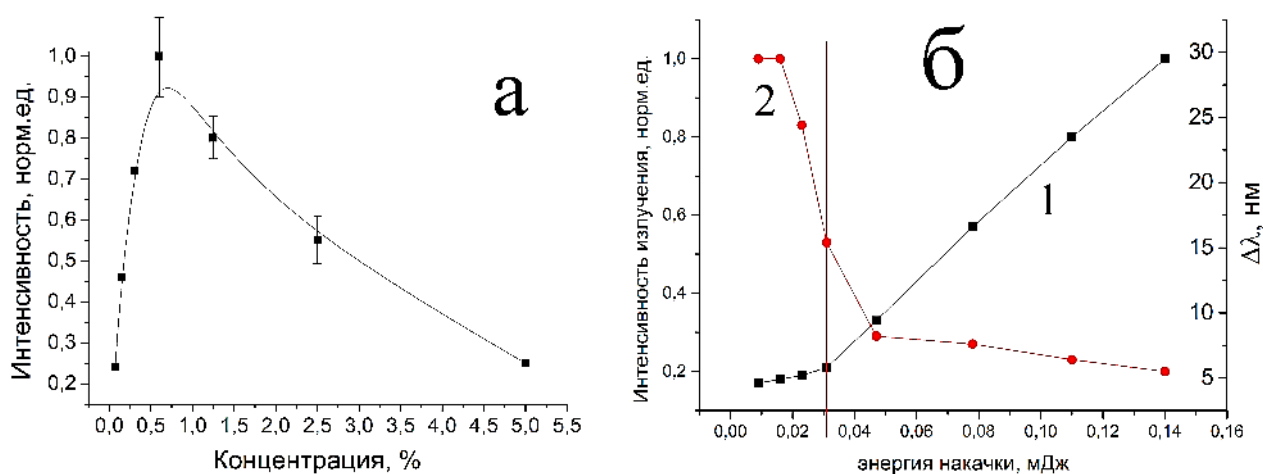


Рис. 2. Зависимость интенсивности свечения раствора R6G+Al

от концентрации наночастиц алюминия – а; зависимость интенсивности свечения расвора R6G+Al от энергии накачки, при концентрации алюминия 0,6% (черная кривая) и зависимость ширины $\Delta\lambda$ спектра генерации раствора R6G+Al (красная кривая) при концентрации наночастиц алюминия 0,6% – б

Видно, что в сравнительно небольшой области изменения энергии накачки полуширина спектра быстро уменьшается от 30 нм (спонтанная люминесценция) до 5–7 нм (генерация). При этом кривая интенсивности резко увеличивает угол наклона. Все это свидетельствует о переходе системы в режим генерации. На рис. 3 показана зависимость энергии порога генерации от концентрации частиц Al.

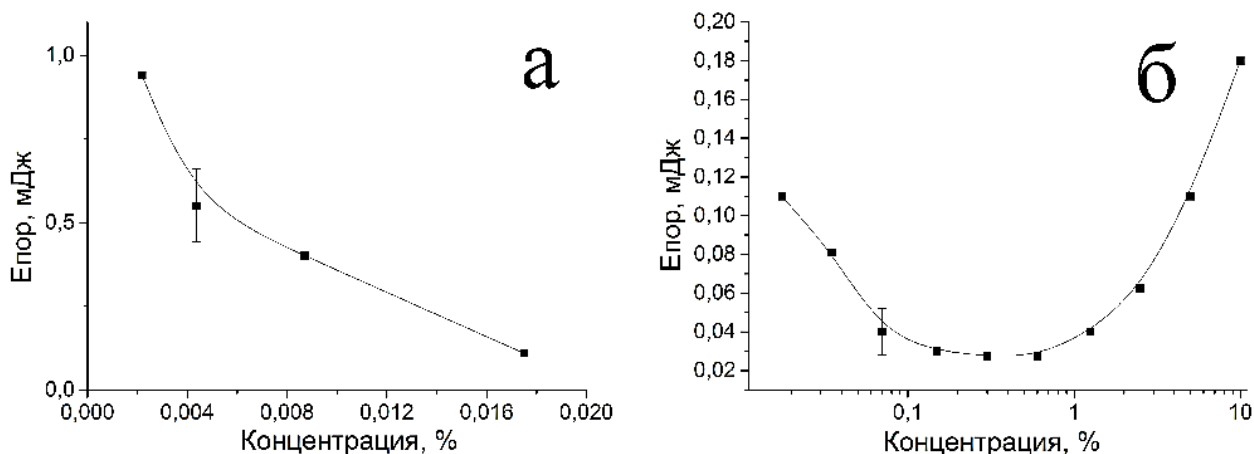


Рис. 3. Зависимость энергии порога генерации раствора R6G+Al от концентрации наночастиц алюминия; 1 – фрагмент кривой в области малых концентраций (0,002% – 0,02%); 2 – фрагмент кривой в области концентраций 0,02% – 10%

Видно, что существует достаточно большая область изменения концентраций агломератов (объемных долей 0,1–1%), в которой наблюдаются минимальные пороги генерации. Следует отметить, что в пределах этих концентраций частиц пороги генерации уменьшаются в 300 раз по сравнению с порогом генерации в растворе красителя той же толщины 20 мкм без частиц.

Таким образом, из полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Внедрение агломератов наночастиц алюминия с концентрацией порядка 10^7 см^{-3} понижает пороги безрезонаторной лазерной генерации примерно в 300 раз по сравнению с порогом вынужденного излучения в чистом растворе R6G.

2. Существует достаточно широкая область изменений концентраций агломератов наночастиц алюминия (10^7 – 10^8 см^{-3}), в пределах которой реализуются минимальные пороги генерации.

3. Агломераты наночастиц алюминия могут быть использованы в качестве материала для получения низкопороговых лазерных излучателей по механизму random lasing.

Список литературы

1. Ramy G.S. El-Dardiry. Sources and gain in photonic random media / 2012. FNWI: Van der Waals-Zeeman Institute. – The Netherlands., 130 p.
2. 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.
3. 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.
4. 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. 10 265–10 287.
5. Климов В.В., Дюклуа М., Летохов В.С. // Квант. электроника. – 2001. – Т. 31. – №7. – С. 569–586.