МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

21–24 апреля 2015 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XII International Conference of students and young scientists

21–24 April, 2015

Томск 2015

О МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕКТРА ГЕНЕРАЦИИ В РАСТВОРАХ КРАСИТЕЛЯ С АГЛОМЕРАТАМИ НАНОЧАСТИЦ

М.М.Зиновьев. А.В.Трифонова, В.А.Харенков
Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.А.Землянов
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: muxa9229@gmail.com

ON THE MECHANISM OF FORMATION OF THE GENERATION SPECTRUM IN THE DYE SOLUTION WITH AGGLOMERATES OF NANOPARTICLES

M.M.Zinovev. A.V.Trifonova, V.A.Harenkov
Scientific Supervisor: Ph.D. A.A.Zemlyanov
National Research Tomsk State University Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050
E-mail: muxa9229@gmail.com

Are shown results of the research dependence on the shortwave spectrum shift of cavityless generation in the active media with the agglomerated nanoparticles of metals and dielectrics from pumping energy and material of nanoparticles. Is gave a physics description of the observed relationships. It's shown that the amount of shortwave shift of the lasing spectrum determined by the ratio of deposits in the formation mechanism of generation of action of the two physical effects - random lasing and local optical fields with high intensity near the nanoparticles.

В настоящее время активно развивается новый раздел лазерной физики, который в зарубежной литературе получил название random lasing. В нем рассматриваются вопросы и приложения безрезонансной лазерной генерации в нанодисперсных активных средах. В таких средах положительная обратная связь осуществляется за счет увеличения оптического пути фотонов вынужденного излучения в инвертированной среде за счет эффекта многократного рассеяния на наночастицах. Генерация в таких композитных средах осуществляется при существенно меньших пороговых накачках (на один-два порядка) и обладает большей эффективностью по сравнению с генерацией в тех же средах, но без нанодисперсного заполнения. Для увеличения эффективности генерации обычно применяют наночастицы металлов (серебра и золота), обладающими плазмонно-резонансными свойствами в спектральном диапазоне излучения накачки или люминесценции активной среды. Однако, плазмонные резонансы серебра и золота имеют узкие спектры, которые располагаются в окрестностях длин волн 420 нм для наночастиц серебра и 530 нм для наночастиц золота. Этот факт существенно ограничивает спектральны диапазон применения создаваемых на основе random lasing излучателей. В наших работах мы предлагаем использовать не одиночные наночастицы, а их агломераты [1]. Физической предпосылкой такого применения являются результаты теоретических расчетов, показывающих, что в окрестности близкорасположенных (~ 1 нм) наночастиц металлов плотность мощности локального оптического поля может повысится на один-два порядка [2], причем даже при отсутствии плазмонных резонансов [3].

Целью данной работы было сравнение величин коротковолновых сдвигов спектров безрезонансной лазерной генерации в растворах родамина 6G с агломерированными наночастицами металлического Al и диэлектриков Al_2O_3, TiO_2. В эксперименте растворы R6G с агломерированными наночастицами помещались в кювете толщиной 2 мм и возбуждались лазерными импульсами (Δt = 6 нс, λ= 0,53 мкм).

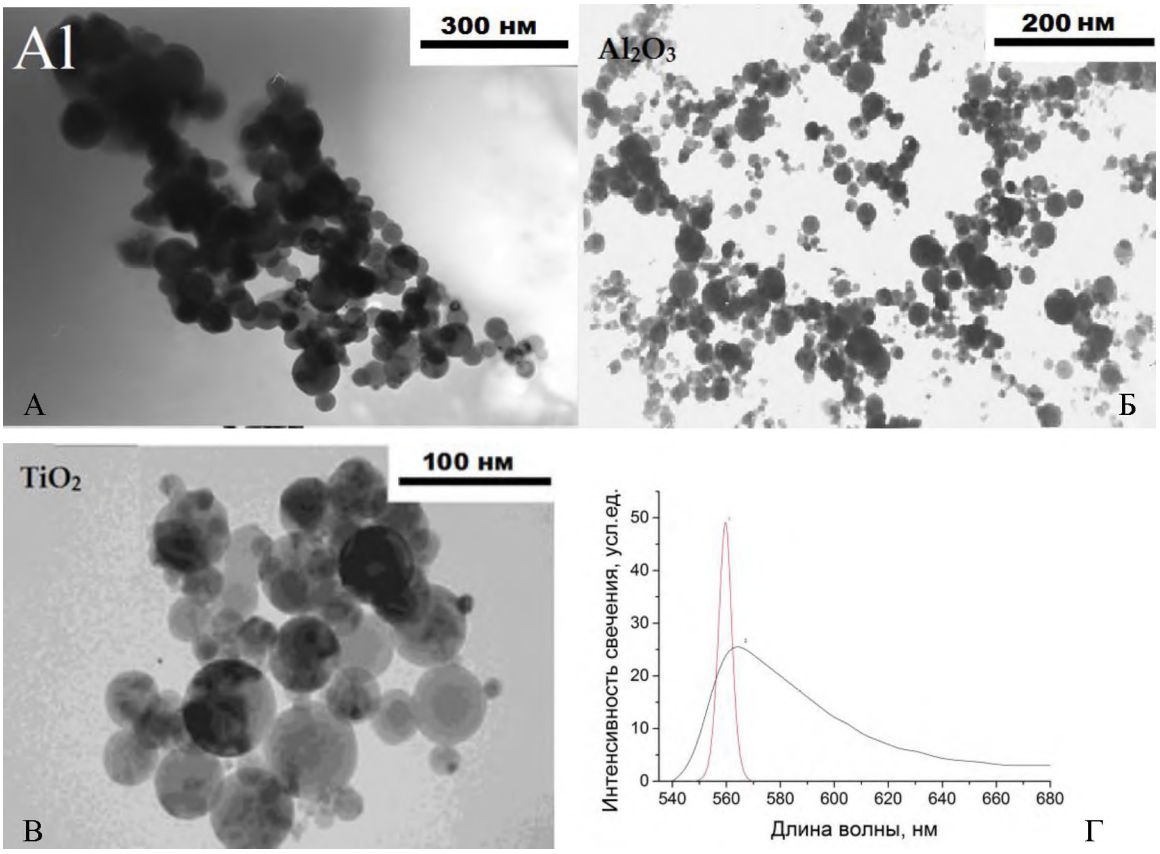

Рис.1 Электронные фотографии агломератов наночастиц Al (а), Al_2O_3 (б), TiO_2 (в). (г) - Спектр генерации раствора R6G с частицами (1) и спонтанной люминесценции раствора R6G без частиц.

Видно, что применяемые частицы имели примерно одинаковые размеры и морфологию. Наблюдаемый в эксперименте коротковолновый сдвиг спектра генерации, вообще говоря, не характерен для типичной генерации в лазерах на красителях, поскольку реабсорбция приводит к длинноволновому сдвигу спектра генерации. На рис. 2 показана зависимость коротковолнового смещения максимума спектра генерации от энергии накачки для различных агломератов различных материалов. На рис.2, кривая 3, приведена для сравнения такая же зависимость, но для спонтанной люминесценции чистого раствора R6G, полученная в кювете толщиной 20 мкм. Такой тонкий слой раствора был выбран для того, чтобы показать спектральное расположение максимума спонтанной люминесценции красителя, спектр которой не деформирован воздействием реабсорбции («истинный» спектр люминесценции).

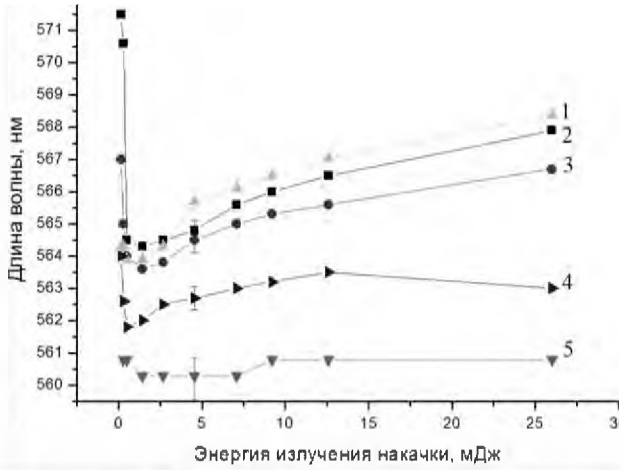

Рис.2 Зависимость длины волны спектра генерации от энергии накачки (кривая 1 – чистый R6G; 2 – R6G с наночастицами TiO_2; 3 – R6G с наночастицами Al_2O_3; 4 – R6G с наночастицами Al; 5 – истинное свечение R6G в кювете толщиной 20 мкм

Видно, что спектр генерации R6G с наночастицами Al смещен в коротковолновую область на 10 нм относительно спектра спонтанной люминесценции раствора R6G без наночастиц и на 2 нм относительно спектра генерации растворов с частицами Al_2O_3, TiO_2. Это говорит о том, что, благодаря существованию сильных оптических полей, вблизи наночастиц формируется достаточное количество фотонов, которое являются затравочными для формирования вынужденного излучения в во всей возбужденной среде. Поскольку затравочные для генерации фотоны возникают в тонком слое вблизи передней стенки кюветы в пределах «истинного» спектра люминесценции R6G (т.е. такого спектра, который еще не деформировался в красную сторону из-за эффекта реабсорбции), то и спектр генерации сформируется в пределах максимума «истинного» спектра люминесценции R6G. Поскольку коротковолновый сдвиг для растворов с частицами диэлектриков Al_2O_3, TiO_2 относительно спектра спонтанной люминесценции R6G без наночастиц незначителен, то также можно сделать вывод о том, что в случае частиц Al_2O_3, TiO_2 локальные поля если и существуют, то не оказывают значительного влияния на формирования спектральной картины генерации.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (задание №2014/223, код проекта: 1347)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Sweatlock L.A., Maier S.A., Atwater H.A. Highly confined electromagnetic fields in arrays of strongly coupled Ag nanoparticles // Physical Reviwe. – 2005. – V. 62. – P. 10265-10287.
3. Олейников В.А., Первов Н.В., Мчедлишвили Б.В. Трековые мембраны в темплейтном синтезе ГКР-активных наноструктур // Критические технологии. Мембраны, 2004.– 4(24). – P. 17-28.