МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Национальный исследовательский
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТРУДЫ
ПЯТНАДЦАТОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНЧЕСКИХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНКУБАТОРОВ

Томск, 17–19 мая 2018 г.

ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2018

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ФОТОНИКА

Влияние тепловых процессов в активной среде на лазерную генерацию в растворах органического красителя с наночастицами

Р.В. Рямбов, А.В. Трифонова

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Современная наука развивается год за годом. Лазерные излучатели, в свою очередь, являются неотъемлемой частью современности. Одной из главных целей является создание миниатюрных лазерных излучателей с высокоэффективными активными средами. Многообещающим направлением является исследование активных сред, представляющих из себя композиты, составленные из лазерно-активных молекул и наноструктур различных материалов. Внедрение наноструктур определённых материалов в активные среды приводит к увеличению в них эффективности оптических процессов, в том числе и лазерной генерации, что в дальнейшем открывает широкие перспективные возможности в создании миниатюрных лазерных излучателей, преобразователей частоты.

Безрезонаторная лазерная генерация в сильно рассеивающей усиливающей среде, обладающей высоким квантовым выходом, в нашем случае раствора родамина 6Ж (Р6Ж), может образовываться следующими способами: 1) за счет многократного рассеяния на наночастицах, помещенных в эту среду (данный способ впервые был продемонстрирован В.М. Маркушевым в 1986 г. [1]); 2) использование сред с наночастицами, которые обладают плазмонно-резонансными свойствами.

Плазмонный резонанс в нанодисперсной среде – совпадение частоты падающего излучения с частотой собственного колебания плазмона (коллективно колеблющегося электронного газа) – позволяет существенным образом снизить пороги возникновения вынужденного излучения (лазерной генерации) [2]. Однако в видимом оптическом диапазоне длин волн плазмонным резонансом обладает лишь небольшое количество веществ, таких, как золото, серебро, медь и некоторые редкоземельные металлы, что существенно ограничивает спектральные возможности излучателей, создаваемых на основе плазмонного резонанса. В данном эксперименте будут использоваться наночастицы золота, се-

ребра и платины. Все используемые в работе наночастицы обладают плазмонным резонансом, но только золото обладает поглощением на используемой длине волны (532 нм). Однако из ранее проделанных экспериментов известно, что пороги генерации композитов с используемыми наночастицами приблизительно равны. Исходя из этого, непонятно, куда уходит энергия, вызванная плазмонным резонансом наночастиц золота. Выдвинуто предположение, что данная энергия затрачивается на нагрев частиц. Данное утверждение проверено путем регистрации акустического сигнала, возникающего при взаимодействии лазерного излучения с активной композитной средой.

Во время экспериментов исследуемый раствор толщиной 1 мм помещался в кювету, на которую падало излучение лазера на алюмоиттриевом гранате с длительностью импульса 6 нс и длиной волны 532 нм. Спектры снимались с помощью спектрометра АваСпек. Микрофон, расположенный рядом с кюветой, соединялся с усилителем и осциллографом DSO 6052 A и фиксировал звуковые сигналы. Спиртовые растворы с наночастицами серебра смешивались с раствором красителя Р6Ж с концентрацией 10^{-3} моль/л. Было исследовано пять концентраций наночастиц в смеси красителя и раствора с наночастицами. На рис. 1 показана схема экспериментальной установки.

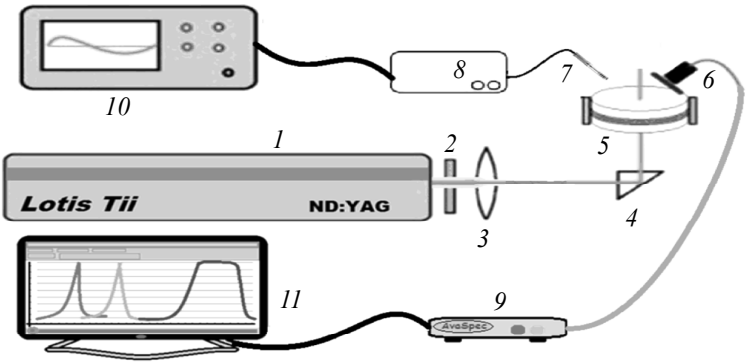

Рис. 1. Схема экспериментальной установки: *1* – лазер ($\lambda = 532$ нм), *2* – фильтр СЗС-25 (для снижения фонового излучения с $\lambda = 1064$ нм), *3* – фокусирующая линза, *4* – призма полного внутреннего отражения, *5* – кювета, *6* – входное окно приемной системы, *7* – микрофон, *8* – усилитель, *9* –спектрометр, *10* – осциллограф, *11* – ПК

На рис. 2 показан график зависимости пороговой энергии генерации от концентрации наночастиц золота, серебра и платины.

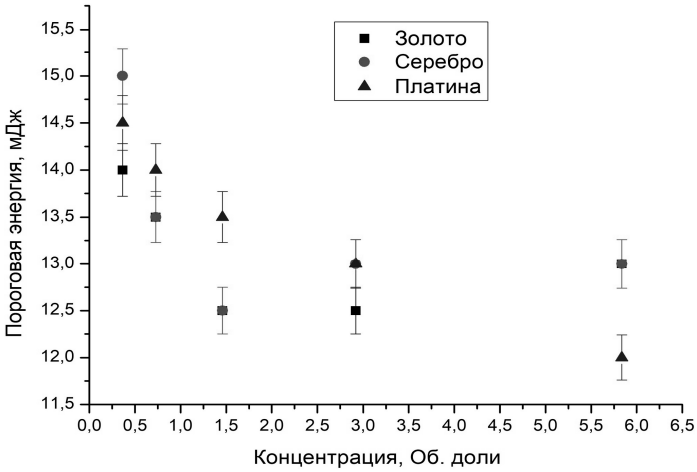

Рис. 2. Зависимости пороговой энергии генерации
от концентрации наночастиц золота, серебра и платины

Пороги генерации для всех видов наночастиц практически совпадают. Тогда мы выдвигаем гипотезу, что энергия, которая, исходя из теории, должна формировать локальные электромагнитные поля повышенной плотности мощности, на самом деле уходит на нагрев наночастицы. И в доказательство этому на рис. 3 приведен график амплитуд звуковых сигналов от плазмонно-резонансных наночастиц золота и неплазмонно-резонансных наночастиц платины и серебра для концентрации 5,837 объемной доли наночастиц, на котором видно, что апмлитуда звукового сигнала от раствора с наночастицами золота в разы выше, чем амплитуды звуковых сигналов от платины и серебра.

То есть наночастицы золота нагреваются так сильно, что область раствора вблизи наночастицы тоже нагревается и происходит увеличение амплитуд звуковых сигналов.

Пороги безрезонаторной лазерной генерации в гетерогенных планарных активных средах у растворов с наночастицами золота, платины и серебра практически совпадают, несмотря на то, что только наночастицы золота обладают плазмонным резонансом на длине волны накач-

ки. Значит, избыточная энергия, полученная благодаря плазмонному резонансу, не влияет на понижение порогов лазерной генерации, а затрачивается на нагревание наночастиц.

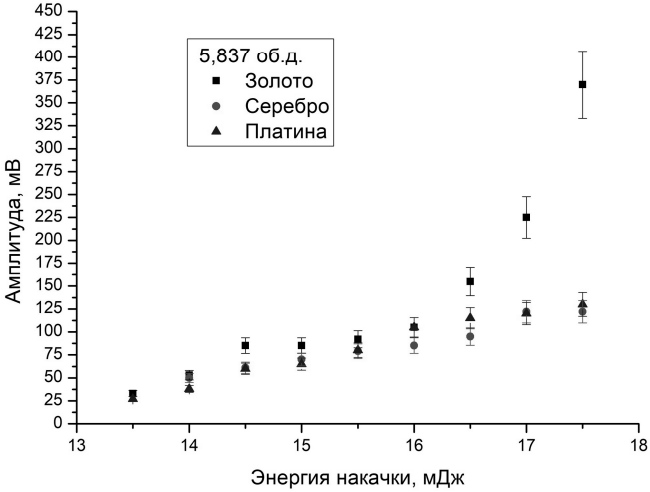

Рис. 3. Зависимости амплитуды звуковых сигналов от энергии накачки наночастиц золота, платины и серебра для концентрации 5,837 объемной доли

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маркушев В.М., Золин В.Ф., Брискина Ч.М.* Порошковый лазер // Журнал полупроводниковых систем. 1986. Т. 45. С. 847–850.
2. *Донченко В.А., Землянов Ал.А., Панамарев Н.С. и др.* Оптические характеристики нанодисперсных активных сред. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. 128 с.

Рямбов Роман Владимирович, студент; ryambvoroman@mail.ru;
Трифонова Алина Витальевна, студентка; boosind@yandex.ru