

PROCEEDINGS OF SPIE

# ***27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics***

**Gennadii G. Matvienko**  
**Oleg A. Romanovskii**  
*Editors*

**5–9 July 2021**  
**Moscow, Russian Federation**

*Organized by*

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Russian Federation)  
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS (Russian Federation)  
M.A. Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics RAS (Russian Federation)  
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS (Russian Federation)  
V.M. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS (Russian Federation)

*Sponsored by*

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (Russian Federation)  
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Russian Federation)  
"Atmosphere" an Open Access Journal by MDPI (Switzerland)  
SOLAR LASER SYSTEM (Belarus)  
Photonics Journal (Russian Federation)

*Published by*  
SPIE

**Volume 11916**  
**Part One of Three Parts**

Proceedings of SPIE 0277-786X, V. 11916

SPIE is an international society advancing an interdisciplinary approach to the science and application of light.

**КОНФЕРЕНЦИЯ В**

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В  
АТМОСФЕРЕ И ОКЕАНЕ**

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХРАКТЕРИСТИКИ БЕЗРЕЗОНАТОРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В НАНОДИСПЕРСНЫХ АКТИВНЫХ СРЕДАХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НАНО- И ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Бабушкин П.А.<sup>1,2</sup>, Бурнашов А.В.<sup>2</sup>, Донченко В.А.<sup>1</sup>, Землянов Ал.А.<sup>1,2</sup>, Ошлаков В.К.<sup>2</sup>,  
Рябков Р.А.<sup>1</sup>, Трифонова А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup> Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

e-mail: bpa@ioa.ru, bvaleksey@ioa.ru, don@spri.tsu.ru, zem1616@mail.ru, ovk@ioa.ru,  
ryambovroman@mail.ru, boosind@yandex.ru

Приведены экспериментальные результаты измерений пороговой плотности мощности вынужденного излучения в растворах красителя кумарин-30 с наночастицами ZnO при облучении фемтосекундными лазерными импульсами. Показано, что пороги вынужденного излучения в растворах красителя кумарин-30 с наночастицами ZnO приблизительно на 3 порядка больше, чем пороги вынужденного излучения в растворах красителя кумарин-30 с наночастицами ZnO при облучении наносекундными лазерными импульсами.

Развитие лазерных излучателей в последние годы связано с их миниатюризацией и созданием высокоэффективных активных сред. Одним из таких лазеров принято считать стохастический лазер, известный в зарубежной литературе как random-лазер. Активная среда данного лазера представляет собой композит из лазерно-активных молекул и наночастиц различных материалов. Особым преимуществом random-лазеров является то, что они могут быть приготовлены в виде суспензий, которые можно применять в качестве покрытий на поверхности произвольной формы [1]. Из работы Дрейна с соавторами [2] известно, что пороги вынужденного излучения при фемтосекундной накачке на 2 порядка меньше, чем при наносекундной. В [2] в качестве наночастиц использовался красный флуоресцентный белок DsRed2. По заключению авторов сверхбыстрая накачка может быть предпочтительна для создания генерации в биологических средах с низким порогом повреждаемости биологических тканей.

На данный момент в литературе известно довольно мало экспериментальных работ с использованием растворов флуоресцентных красителей с наночастицами при облучении фемтосекундными лазерными импульсами, а также влияния длительности таких импульсов на величину порогов вынужденного излучения [3-5]. Это говорит о том, что данная область до сих пор является малоизученной.

Для получения генерационных характеристик композитных растворов при облучении нано- и фемтосекундными лазерными импульсами была проведена серия экспериментов. Эксперименты проводились на установке, схема которой показана на рисунке 1.

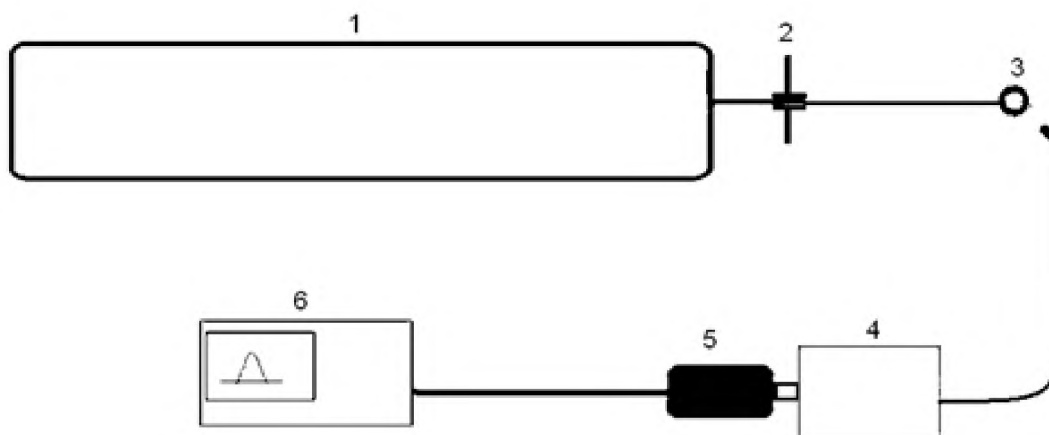


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки. 1 – лазер, 2 – диафрагма, 3 – капля с активной средой; 4 – монохроматор; 5 – ФЭУ; 6 – осциллограф

В качестве накачки раствора использовалось излучение Ti:Sa лазера с длиной волны  $\lambda \approx 0,4$  мкм (вторая гармоника) и длительностью  $t \approx 50$  фс или Nd:YAG лазер LOTIS ТП с длиной волны  $\lambda \approx 0,355$  мкм (третья гармоника) и длительностью  $t \approx 6$  нс. Выходная энергия лазера контролировалась измерителем мощности «Orpig». Излучение лазера направлялось на каплю с активной средой (краситель кумарин-30 в этаноле + наночастицы ZnO). Выбранная форма активной среды обусловлена желанием избежать возможного возникновения свечения филаментации в стенках кюветы. Вторичное излучение из капли с помощью световода проходило через монохроматор, после чего поступало на ФЭУ, сигнал с ФЭУ регистрировался осциллографом. Типичная осциллограмма представлена на рисунке 2.

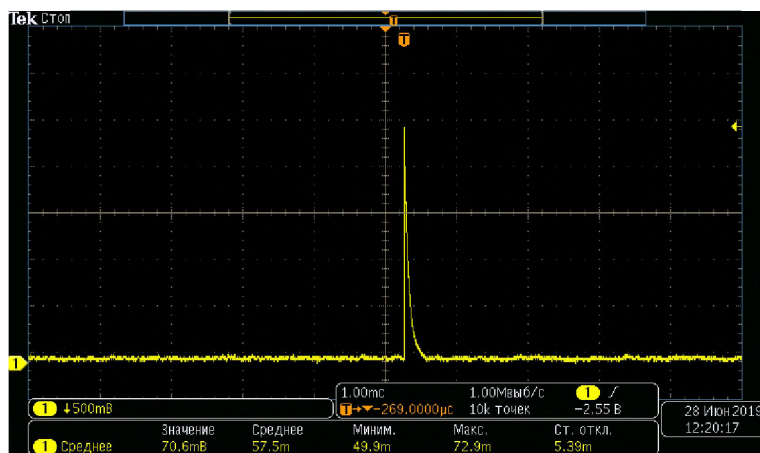


Рисунок 2 – Осциллограмма сигнала свечения раствора чистого красителя при энергии лазерного импульса накачки 0,0112 мДж

По осциллограммам был построен график зависимости амплитуды сигнала свечения раствора от плотности мощности фемтосекундного лазерного импульса накачки. Также были построены зависимости амплитуды сигнала свечения раствора от плотности мощности наносекундного лазерного импульса накачки. Полученные графики приведены на рисунке 3.

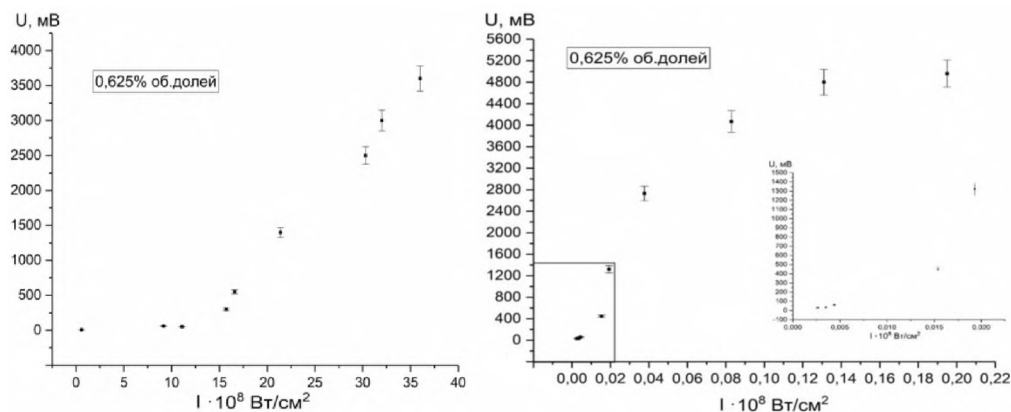


Рисунок 3 – Зависимость амплитуды сигнала свечения раствора от плотности мощности фемтосекундного лазерного импульса накачки (слева). Зависимость амплитуды сигнала свечения раствора от плотности мощности наносекундного лазерного импульса накачки (справа)

Из представленной кривой на графике слева следует, что генерация в растворе красителя Кумарин-30 с наночастицами ZnO с концентрацией 0,625% объемных долей при облучении фемтосекундными лазерными импульсами достигается при интенсивности накачки, равной  $13 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

На графике справа видно, что генерация в растворе красителя Кумарин-30 с наночастицами ZnO с концентрацией 0,625% объемных долей при облучении наносекундными лазерными импульсами достигается при интенсивности накачки, равной  $0,01 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

Таким образом, порог вынужденного излучения рабочего раствора кумарин-30 в этаноле с наночастицами ZnO с концентрацией 0,625% объемных долей при облучении наносекундными лазерными импульсами приблизительно на 3 порядка меньше чем при облучении фемтосекундными лазерными импульсами.

1. *Wiersma D.S.* The physics and applications of random lasers // *Nat.Phys.* 2008. V. 4, P. 359 – 367.
2. *Drane T.M., Bach H., Shapiro M., and Milner V.* Femtosecond lasing from a fluorescent protein in a one dimensional random cavity // *Biomed. Opt. Express.* 2015. V. 6, No 5. P. 1885 – 1894.
3. *Gummaluri V.S., Nair R.V., Krishnan S.R., and Vijayan C.* Femtosecond laser-pumped plasmonically enhanced near-infrared random laser based on engineered scatterers // *Opt. Lett.* 2017. V. 42, No 23. P. 5002-5005.
4. *Garcia-Revilla S., Solab I., Baldaa R., et al.* Optical cooling of Nd-doped solids // *Proc. SPIE.* 2010. V.7598, P. 759804-1 – 759804-7.
5. *Tianrui Zhai, Zhiyang Xu, and Xiaofeng Wu* Ultra-thin plasmonic random lasers // *Opt. Express.* 2016. V. 24, No.1. P. 437-442.