

# ВЛИЯНИЕ ПОРЯДКА БРЭГГОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ НА ПИКОСЕКУНДНЫЙ РЕЖИМ ГЕНЕРАЦИИ РОС-ЛАЗЕРА НА КРАСИТЕЛЯХ ПРИ СУБНАНОСЕКУНДНОЙ НАКАЧКЕ

В.М. Катаркевич<sup>1</sup>, Д.В. Новицкий<sup>1</sup>, Д.К. Хоа<sup>2</sup>, Т.Ш. Эфендиев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Институт физики ВАНТ, Ханой, Вьетнам

E-mail: [katarkevich@dragon.bas-net.by](mailto:katarkevich@dragon.bas-net.by)

Лазеры на красителях со светоиндуцированной распределенной обратной связью (РОС) являются простыми, удобными и эффективными источниками перестраиваемого по спектру импульсного излучения как наносекундной, так и пикосекундной (субпикосекундной) длительности. При этом генерация одиночных пикосекундных импульсов в РОС-лазерах может быть получена как при их накачке одиночными сверхкороткими импульсами (СКИ) твердотельных лазеров с синхронизацией мод [1], так и при нано-, субнаносекундном возбуждении [2]. Последний из указанных выше способов является особенно привлекательным, так как позволяет значительно упростить и удешевить пикосекундную лазерную систему, а также повысить стабильность ее характеристик.

В основе способа получения одиночных СКИ в РОС-лазере при наносекундном возбуждении лежит использование режима релаксационных колебаний выходной интенсивности излучения при не слишком больших превышениях порога [2]. Поскольку при работе вблизи порога эффективность генерации РОС-лазера составляет единицы процентов, то для практических применений энергии и мощности получаемых таким способом одиночных СКИ зачастую оказывается недостаточно. Как правило, данная проблема решается путем построения систем «генератор (РОС-лазер) – усилитель (усилители)», синхронно возбуждаемые одним и тем же источником накачки [3]. Это приводит к существенному усложнению устройства и повышению его стоимости. Поэтому поиск и исследование простых и удобных способов повышения мощности одиночных СКИ, получаемых в самом РОС-генераторе, представляется весьма актуальной задачей. Наши недавние исследования показали, что одним из возможных путей ее решения является переход от первого к более высоким порядкам брэгговского отражения [4]. Представленные в настоящем докладе результаты сравнительных исследований выходных характеристик излучения РОС-лазера на красителях, работающего в первом ( $m = 1$ ) и втором ( $m = 2$ ) порядках дифракции Брэгга, свидетельствуют о перспективности указанного выше пути.

В работе использовался РОС-лазер оригинальной конструкции, обеспечивающий возможность получения эффективной генерации узкой линией излучения, оперативно перестраиваемой в широкой области спектра. Возбуждение РОС-лазера осуществлялось твердотельным Nd:LSB микролазером с диодной накачкой *STA01SH-500* (*Standa Ltd.*, Литва) ( $\tau_{0.5} \approx 0.5$  нс;  $E_P \leq 80$  мкДж;  $\lambda_P = 532$  нм;  $\Delta\lambda_{0.5} < 0.003$  нм;  $f \leq 500$  Гц). Активной средой РОС-лазера служили этанольные растворы родамина 6Ж с концентрацией  $C_d \approx 0.25$  ммоль/л. Максимальное значение энергии (мощности) падающего на излучатель РОС-лазера возбуждающего излучения не превышало  $E_P \sim 35$  мкДж ( $P_P \sim 70$  кВт). Измерение энергетических характеристик излучения накачки и генерации осуществлялось откалиброванными по спектральной чувствительности фотодиодами ФД-24К с двухканальным аналого-цифровым преобразователем ADC20M/10-2. Временные характеристики исследовались с помощью электронно-оптической камеры (ЭОК) «Агат СФЗ» (разрешение до  $\sim 2$  пс). Спектральные измерения были выполнены с использованием автоматизированного спектрографа S3804 (разрешение до  $\sim 0.1$  нм) и интерферометра Фабри-Перо ИТ 51-30.

При указанных выше условиях ( $P_P \sim 70$  кВт) РОС-лазер обеспечивал генерацию узкой линией излучения ( $\Delta\lambda_{0.5} \leq 0.01$  нм), перестраиваемой в спектральных диапазонах 547–612 нм и 550–586 нм для первого и второго порядков, соответственно. Детальные измерения временного хода развития генерации, а также энергетических характеристик РОС-лазера при различных уровнях накачки  $\gamma$  ( $\gamma = E_P/E_{Thr}$ , где  $E_{Thr}$  – пороговая энергия накачки) были выполнены на длине волны  $\lambda_L = 568$  нм, приходящейся на область максимального усиления красителя. При работе в указанной области спектра длина индуцируемой в растворе РОС-структуры  $L_{DFB}$  составляла  $\sim 8$  мм и  $\sim 7$  мм, а эффективность генерации (при учете энергии двух симметричных пучков излучения РОС-лазера) достигала  $\sim 68\%$  и  $\sim 24\%$  для случаев  $m = 1$  и  $m = 2$ , соответственно. При этом переход от первого ко второму порядку сопровождался возрастанием порога генерации с  $E_{Thr} \sim 1.34$  мкДж до  $E_{Thr} \sim 5.8$  мкДж (т. е., в  $\sim 4.3$  раза).

Исследование кинетики генерации РОС-лазера при различных уровнях накачки  $\gamma$  показало, что для обоих изученных случаев ( $m = 1$  и  $m = 2$ ) она носит качественно подобный характер. При заметных превышениях порога в РОС-лазере наблюдается генерация цуга СКИ. При этом как общая длительность цуга, так и количество импульсов в нем зависят от уровня накачки  $\gamma$ , уменьшаясь с его понижением. При не слишком больших превышениях порога ( $1 < \gamma < 1.6$ ) в РОС-лазере генерируются одиночные СКИ. Было установлено, что длительность одиночных СКИ так-

же зависит от уровня накачки, сокращаясь при его повышении. Наиболее короткие импульсы, длительность которых составила  $\tau_{0.5} \sim 39$  пс ( $m = 1$ ) и  $\tau_{0.5} \sim 36$  пс ( $m = 2$ ), были зарегистрированы при уровне накачки  $\gamma \sim 1.6$ , соответствующем порогу появления второго импульса. При этом получаемые одиночные СКИ были спектрально-ограниченными ( $\Delta\nu_{0.5} \cdot \tau_{0.5} \sim 0.3$ , где  $\Delta\nu_{0.5}$  – ширина спектра, выраженная в Гц). Как это видно из рис. 1, вблизи порога второго импульса энергия одиночного СКИ  $E_L$  для первого порядка достигает  $\sim 100$  нДж, в то время как для второго –  $\sim 230$  нДж. Это соответствует увеличению пиковой мощности импульса с  $P_L \sim 2.6$  кВт (при  $m = 1$ ) до  $P_L \sim 6.4$  кВт (при  $m = 2$ ).

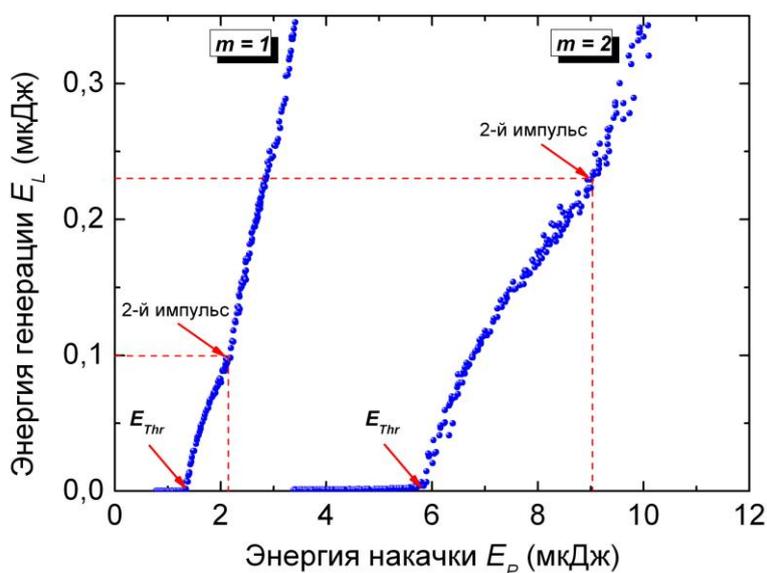


Рис. 1. Зависимость энергии генерации РОС-лазера от энергии накачки для первого ( $m = 1$ ) и второго ( $m = 2$ ) порядков брэгговского отражения

Таким образом, в настоящей работе экспериментально показано, что применительно к пикосекундному режиму генерации РОС-лазера на красителях при субнаносекундном возбуждении переход от первого ко второму порядку брэгговского отражения позволяет значительно (примерно в  $\sim 2.6$  раза) увеличить пиковую мощность генерируемых одиночных СКИ при сходных значениях их длительности.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект №Ф17В-002).

1. Бушук Б.А., Запорожченко В.А., Киселевский А.Л., и др. // Письма в ЖТФ. 1979. Т.5, №14. С.880–882.
2. Bor Zs. // IEEE J. Quant. Electron. 1980. V. 16, No.5. P. 517–524.
3. Бор Ж., Рац Б., Шефер Ф.П. // Квантовая электроника. 1982. Т.9, №8. С.1639–1645.
4. Katarkevich V.M., Rubinov A.N., Efendiev T.Sh., et al. // Appl. Opt. 2015. V. 54, P.7962–7972.