

# Усиление рамановских диссипативных солитонов в фосфоросиликатных оптических волокнах

Д.С. Харенко<sup>1,\*</sup>, И.С. Жданов<sup>1,2</sup>, М.С. Мишевский<sup>2</sup>, А.Е. Беднякова<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Институт Автоматики и Электрометрии СО РАН

<sup>2</sup>Новосибирский Государственный Университет

<sup>3</sup>Институт Вычислительных Технологий СО РАН

\*E-mail: kharenko@iae.nsk.su

DOI: 10.31868/RFL2020.99-100

На сегодняшний день наблюдается повышенный интерес к ультракоротким импульсам на длинах волн в области 1.3 мкм, что связано с перспективами их применения для многофотонной микроскопии биологических объектов [1]. Существует несколько методов получения такого излучения: с помощью новых активных сред (висмут, празеодим) [2,3], с использованием параметрических усилителей [4], а также посредством генерации рамановских диссипативных солитонов (РДС) в фосфоросиликатных оптических волокнах [5]. Ранее нами была показана возможность генерации импульсов с несущей длиной волны вблизи 1.3 мкм и энергией до 2.5 нДж во внешнем резонаторе. Последующий численный счёт, в котором импульс накачки мог иметь произвольные ширину спектра и энергию, не показал существенного увеличения энергии генерируемых РДС [6]. Таким образом, актуальной задачей является исследование возможности последующего усиления РДС, и наиболее простым способом её решения в нашем случае является усиление с использованием эффекта ВКР в том же самом фосфоросиликатном волокне (синхронное усиление).

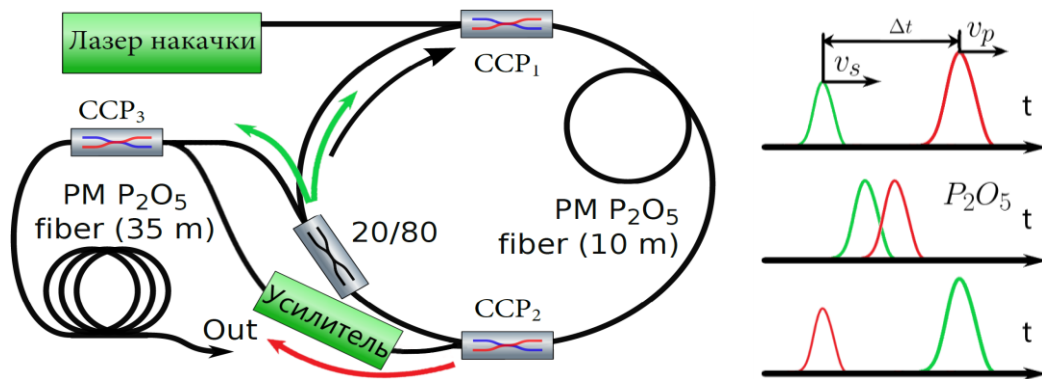


Рис. 1. Схема генерации и усиления РДС (слева), схематичное изображение взаимодействия импульса сигнала ( $s$ ) и накачки ( $p$ ) в фосфоросиликатном волокне (справа)

Схема генерации и усиления РДС приведена на Рис. 1. Для усиления РДС использовался непоглощённый импульс накачки, выведенный из резонатора дополнительным спектрально-селективным ответвителем и усиленный в иттербиевом волокне. Эффективное усиление посредством ВКР возможно только при условии полного прохождения импульсов друг через друга (из-за разности групповых скоростей) в отрезке фосфоросиликатного волокна на выходе. Процесс усиления схематично представлен на Рис. 1 справа, где  $\Delta t$  — это задержка между импульсами, а  $v_s$  и  $v_p$  обозначают групповые скорости сигнала и накачки соответственно.

Предварительные результаты представлены на Рис. 2. Слева приведены оптические спектры РДС для различных задержек между импульсами сигнала и накачки на выходе в случае отсутствия дополнительного усилителя. Здесь явно

виден эффект усиления посредством ВКР, когда перекрытие импульсов максимально (линия для 50 пс). Интегрально энергия возросла в полтора раза, чего не достаточно для реальных применений. К тому же значительно увеличился разброс между различными спектральными компонентами, что можно объяснить влиянием импульса накачки, который оказывается довольно изрезанным, и узостью самого пика рамановского усиления. Большее усиление РДС можно достигнуть с более мощным импульсом накачки, для чего в схему был установлен дополнительный усилитель (см. нижнее плечо на Рис.1). Оптические спектры для этого случая представлены на Рис.2 справа. Видно, что мощность импульса выросла на величину порядка 3 дБ, но из-за дополнительных потерь на оптических элементах выигрыш в абсолютных величинах оказался незначительным. Кроме того, доля прошедшей накачки составила почти 80%.

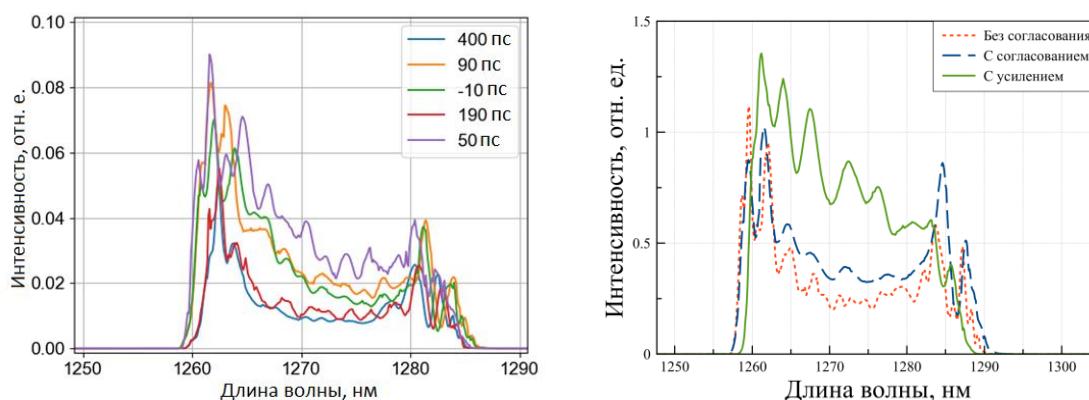


Рис. 2. Спектры на выходе в зависимости от оценочной задержки между импульсами накачки и сигнала (слева), спектры сигнала после усиления с дополнительным усилением накачки (справа)

Несмотря на то, что на текущем этапе добиться высокого коэффициента усиления не удалось, у реализованной схемы есть потенциал для дальнейших исследований. Например, можно получить большее усиление импульса накачки путём подавления генерации спонтанного сигнала, или оптимизировать величину линейной частотной модуляции (чирпа) импульсов. Возможно также и использование непрерывной накачки и большего отрезка фосфоросиликатного волокна.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-70093.

## Литература

- [1] С. Xu, F. W. Wise, *Nature Phot.* **7**, 875 (2013)
- [2] А. М. Хегай, Ф. В. Афанасьев и др., *Квантовая электроника* **46**, 1077 (2016).
- [3] Н. Ahmad, S. N. Aidit and Z. C. Tiu, *Opt. Laser Technol.* **112**, 20 (2019).
- [4] Y. Qin, Y-H Ou, et al, *Optics letters* **44**, 3422 (2019)
- [5] Д. С. Харенко, В. Д. Ефремов и С. А. Бабин, *Квантовая электроника* **49**, 657 (2019)
- [6] А. Е. Bednyakova, D. S. Kharenko et al, *Opt. Express* **28**, 22179 (2020)