

ФОТОН-ЭКСПРЕСС

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВОЛОКОННОЙ ОПТИКЕ

Организаторы:

Научный центр
волоконной оптики РАН

Пермская научно-
производственная
приборостроительная
компания

УРО РАН,
Пермский научный центр

Пермский научно-
исследовательский
политехнический
университет (ПНИПУ)

Пермский государственный
национальный
исследовательский
университет (ПГНИУ)



ПИКОСЕКУНДНЫЙ ЦЕЛЬНОВОЛОКОННЫЙ ВКР-ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ -ВОЛОКНА

Кобцев С.М.^{1,2}, Кукарин С.В.¹, Кохановский А.Ю.^{1*}

¹ Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

² ООО "Техноскан - Лаб", г. Новосибирск

* E-mail: alexey.kokhanovskiy@gmail.com

Кварцевое оптоволокно, легированное P_2O_5 , имеет двухмасштабный стоксовый сдвиг, соответствующий входящим в состав волокна SiO_2 (440 см^{-1}) и P_2O_5 (1330 см^{-1}). Использование кварцевого оптоволокна, легированного P_2O_5 , в качестве спектрального преобразователя излучения за счет вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) позволяет осуществлять значительное преобразование длины волны излучения накачки, что многократно продемонстрировано для непрерывного излучения, см., например [1-5]. Для эффективного ВКР преобразования излучение стоксовой компоненты усиливается в многопроходном волоконном резонаторе с $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ -волоконном преобразование достигается при синхронной накачке [6], при которой импульсы накачки между брэгговскими решётками отражения. При импульсной накачке эффективное ВКР преобразование достигается при синхронной накачке [6], при которой импульсы накачки синхронизованы с стоксовскими импульсами ВКР-лазера, циркулирующими в его резонаторе. Такая синхронизация осуществляется согласованием длины резонатора ВКР-лазера с частотой следования импульсов накачки – отношение периода следования импульсов накачки и времени обхода резонатора ВКР-лазера должно быть целым. По сравнению с волоконным ВКР-лазером, использующими непрерывную накачку, волоконный ВКР-лазер с импульсной синхронной накачкой исследованы в существенной степени меньше [6-9], а в цельноволоконной конфигурации и с кварцевым оптоволокном, легированным P_2O_5 , такой лазер исследовался только в одной работе [10], в которой были получены импульсы длительностью 3 мкс на длине волны излучения 1254 нм. При использовании для накачки волоконного ВКР-лазера импульсов с широким спектром излучения (в случае относительно коротких импульсов или сильно chirпованных диссипативных солитонов [11]) зеркала резонатора ВКР-лазера должны иметь рабочий спектральный диапазон не уже спектра излучения импульсов накачки, ширина которого может составлять от нескольких единиц до десятка нанометров и более. В цельноволоконной конфигурации ВКР-лазера это требует использования широкополосных chirпованных волоконных брэгговских решёток, изготовление которых по-прежнему остаётся специальной задачей.

В данной работе впервые сообщается о генерации импульсов в пикосекундном диапазоне длительностей в цельноволоконном ВКР-лазере на основе $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ -волоконна. Целью исследования этого лазера было выяснение возможностей получения ультра-коротких световых импульсов в области спектра около 1270 нм, где излучение лазера может инициировать генерацию синглетного кислорода в свободных от фотосенсибилизатора биологических тканях в целях фотодинамической терапии нового поколения [12, 13].

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

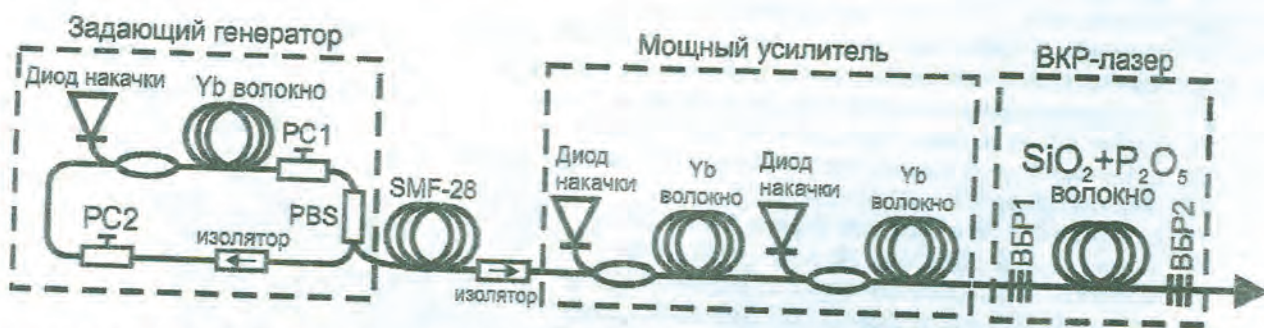


Рис. 1. Схема импульсного цельноволоконного ВКР-лазера: PC1, PC2 – волоконные контроллеры поляризации, PBS – волоконный делитель поляризации, ВБР1, ВБР2 – волоконные брэгговские решётки

Импульсы в виде диссипативных солитонов со спектральной шириной 10 нм на длине волны 1084 нм и частотой следования 18,8 МГц усиливались с помощью двухкаскадного иттербиевого

усилителя до уровня средней мощности излучения более 1 Вт и направлялись в резонатор ВКР – лазера. Резонатор представлял собой кварцевое волокно, легированное P_2O_5 длиной ~16 м, заключенное между двумя волоконными брэгговскими решетками с коэффициентами отражения 99% и 25% соответственно. Брэгговские решетки с необходимо широким рабочим спектральным диапазоном 1264 – 1272 нм были изготовлены компанией FORC-Photonics

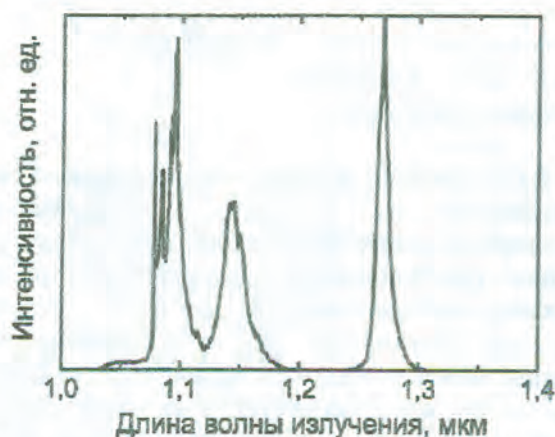


Рис. 2. Спектр выходного излучения ВКР – лазера при длительности импульсов накачки 150 пс

В результате экспериментальных работ впервые получены импульсы с длительностью 270 пс и средней мощностью выходного излучения 300 мВт на длине волны 1270 нм при однокаскадном преобразовании импульсов накачки с длиной волны 1084 нм. Спектральная ширина пика составляла 1264 – 1272 нм, что соответствует рабочему диапазону брэгговских решеток. Генерируемые импульсы, в отличие от двухмасштабных импульсов [16], имеют один временной масштаб и допускают их последующее эффективное временное сжатие.

Выявленная оптимальная длительность импульсов накачки при длине резонатора ВКР – лазера ~16 м составила 140-180 пс, при этом доля энергии излучения накачки, преобразованная в спектральную область вокруг 1270 нм, была максимальна и составила 30%. Уединённость спектрального пика на длине волны 1270 нм позволяет легко выделить его без потерь традиционными методами спектральной селекции, в частности, используя WDM – разветвитель или полосовой фильтр, состоящий из волоконного циркулятора и волоконной брэгговской решетки.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов Министерства образования и науки РФ (№№ 14.В25.31.0003, ЗН-06-14/2419, 3.162.2014/К) и гранта Президента для поддержки ведущих научных школ (НШ-4447.2014.2).

Литература

1. Dianov E.M., et al. *IEEE J. Sel. Top. Quant. El.* **6**, 1022-1028 (2000)
2. Kim N.S., et al. *Opt. Comm.* **176**, 219-222 (2000)
3. Xiong Z., et al. *J. Lightwave Technol.* **21**, 2377-2381 (2003)
4. Dianov E.M., et al. *Laser Physics* **13**, 397-400 (2003)
5. Sim S.K., et al. *Electron. Lett.* **40**, 738-739 (2004)
6. Smith K., et al. *J. Mod. Opt.* **34**, 1227 (1987)
7. Nakazawa M. et al. *IEEE J. Quant. Elect.* **22**, 1953 – 1966 (1986)
8. Agrawal G.P. *Nonlinear Fiber Optics* (Academic Press, 2012)
9. Lin D., et al. *Optics Letters* **36**, 2050-2052 (2011)
10. Kurkov A.S., et al. *Laser Phys. Lett.* **4**, 449-451 (2007)
11. Akhmediev N., et al. *Lecture Notes in Physics*, 751, Springer, Berlin (2008)
12. Anquez F., *Laser Phys.* **23**, 025601 (2013)
13. Sokolovski S.G., et al. *Scientific Reports* **3**, 3484 (2013)
14. Matsa V.J., et al. *Elect. Lett.* **28**, 1391 – 1393 (1992)
15. Kobtsev S., et al. *Optics Express* **22**, 20770-20775 (2014)
16. Kobtsev S., et al. *Optics Express* **17**, 20707-20713 (2009)