

Особенности пассивной синхронизации мод в волоконном высоколегированном иттербиевом лазере

А.М. Смирнов^{1,2,*}, О.В. Бутов¹

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

*E-mail: alsmir1988@mail.ru

DOI: 10.31868/RFL2020.87-88

В данной работе нам впервые удалось создать целно волоконный импульсный лазер на основе сильно легированного иттербиевого волокна, позволившего достичь частоты следования ультракоротких импульсов 456 МГц без применения дополнительных нелинейно-оптических элементов. Исследована динамика генерации высоколегированного иттербиевого волоконного лазера, собранного по классической схеме Фабри-Перо с двумя зеркалами при непрерывной прямой накачке сердцевины активного волокна на длине волны 976 нм. Показано формирование ультракоротких импульсов (УКИ) в результате пассивной синхронизации мод [1]. Пассивная синхронизация мод объяснена насыщением поглощения, при этом роль насыщающегося поглотителя, играл сам активный световод с высоким содержанием ионов иттербия. По своему принципу работа созданного нами лазера схожа с лазерами, работающими в режиме пассивной синхронизации мод с применением насыщающихся поглотителей [2,3].

Для изготовления лазера использовался световод с высоким содержанием оксида иттербия, при относительно низкой концентрации крупных кластерных элементов, что позволило избежать высокого уровня «серых» потерь в активном волокне [4] (плазмохимический метод). Коэффициент поглощения на длине волны 976 нм составлял около 2,4 дБ/мм (Рис.1). Содержание иттербия в стекле, соответствующее измеренному коэффициенту поглощения, составляло 0,84 моль.% Yb_2O_3 [5]. Разница в показателе преломления сердцевины и оболочки составляла 0,009, диаметр сердцевины – около 4 мкм. Лазер был собран по классической схеме Фабри-Перо с выходным (0,9) и глухим (0,999) зеркалом в виде волоконных брэгговских решеток (FBG) с максимумом отражения на длине волны 1067,7 нм. Для контроля двулучепреломлением в резонаторе использовался контроллер поляризации (PC).

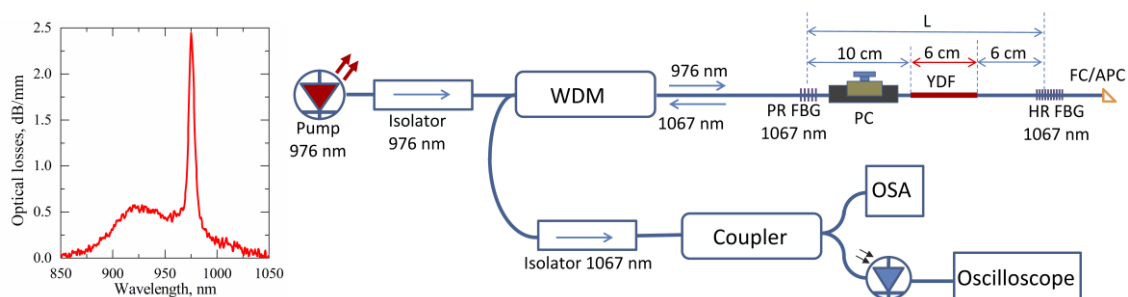


Рис. 1. Спектр поглощения иттербиевого активного волокна (слева). Схема экспериментальной установки иттербиевого лазера (справа). OSA – оптический анализатор спектра, WDM – мультиплексор, PC – контроллер поляризации, L - длина резонатора.

В зависимости от мощности накачки была продемонстрирована работа лазера в трёх разных режимах пассивной синхронизации мод. При малой мощности накачки ($\approx 25-50$ мВт) достигнут стабильный режим пассивной синхронизации мод (CW ML), при котором амплитуда УКИ квазистабильна во времени (Рис.2а,б). Частота повторения УКИ для резонатора длиной 21,9 см составила 456 МГц. Период импульсов в цуге совпадает с временем обхода резонатора, что согласуется с общепринятой теорией пассивной синхронизации мод [6]: $\Delta t = 2nL/c$ (где L – длина резонатора, n – показатель преломления, c – скорость света). Наблюдаемая пассивная синхронизация мод в рассматриваемой схеме может быть объяснена нелинейным поглощением в самом активном волокне, который работает аналогично насыщающимся поглотителям. Эффект возникает на слабо прокаченном участке волоконного световода, в котором инверсия населённости, а соответственно, и уровень поглощения зависит от интенсивности вынужденного излучения в резонаторе.

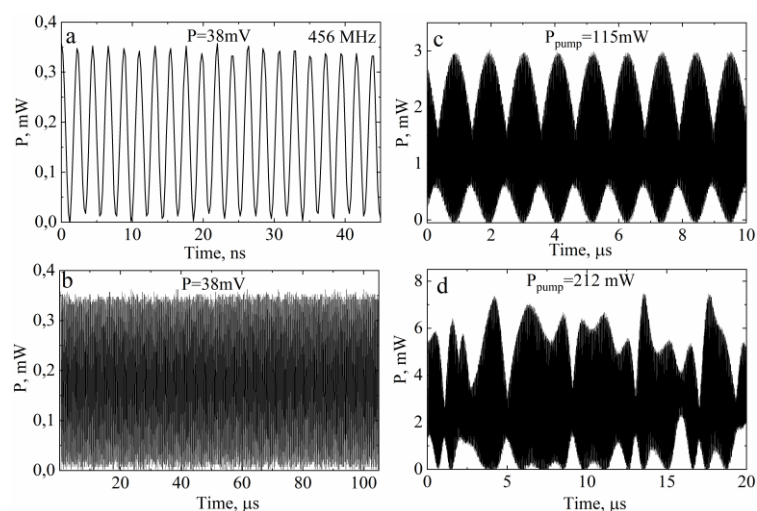


Рис. 2. Мощность генерации иттербиевого лазера в зависимости от времени при мощности накачки 38 мВт (стабильном режиме пассивной синхронизации мод) при 40 наносекундной (а) и 100 микросекундной развёртке (б), при мощности накачки 115 мВт (с) (режим биений) и при мощности накачки 212 мВт (д) (режим хаотических биений).

При увеличении мощности накачки ($\approx 50-200$ мВт) возникали низкочастотные биения в виде модуляции амплитуды огибающей временной зависимости интенсивности генерации (Рис.2с). Обнаруженные биения были объяснены динамикой развития эллиптически поляризованной последовательности импульсов с вращающимися составляющими поляризации солитонов с фиксированной групповой скоростью (PRVS) [7]. При дальнейшем увеличении мощности накачки ($\approx 200-310$ мВт) появлялись нерегулярные хаотические биения (TC ML) (Рис.2д).

Литература

- [1] A.M. Smirnov, O.V. Butov, *Optics Letters* **44**, 5065-5068 (2019)
- [2] U. Keller, *Nature* **424**, 831-838 (2003)
- [3] A. J. DeMaria, D. A. Stetser, H. Heynau, *Appl. Phys. Lett.* **8**, 174-176 (1966)
- [4] K. Golant, *Proceedings of XXI International Congress on Glass*, L13 (2007)
- [5] A.A. Rybalovskiy, O.V. Butov, *et al*, *Tech. Phys. Lett.* **42**, 498-500 (2016)
- [6] P.G. Kryukov, *Quantum Electronics* **31**, 95-119 (2001)
- [7] B.C. Collings, S.T. Cundiff, *et al*, *JOSA B* **17**, 354-365 (2000)