

Источники ультракоротких импульсов с субгигагерцовой частотой повторения

А.Д. Зверев^{1,*}, В.А. Камынин¹, С. А. Филатова¹, Ю.Г. Гладуш², Д.В. Красников²,
А.Г. Насибулин², Б.И. Денкер¹, С.Е. Сверчков¹, В.В. Вельмискин¹, В.Б. Цветков¹

¹Институт общей физики имени А.М. Прохорова Российской академии наук, Россия

²Сколковский институт науки и технологий, Россия

* E-mail: izverevad@gmail.com

DOI:10.31868/RFL.2024.40-41

Интенсивное развитие в области создания источников ультракоротких импульсов (УКИ) с субгигагерцовой частотой повторения, работающих в спектральном диапазоне 1.5 мкм, обусловлено их широким применением в таких областях, как аналого-цифровое преобразование [1], спектроскопия [2], лазерная обработка материалов [3] и т.д. Одним из способов получения стабильной последовательности ультракоротких импульсов с такой высокой частотой повторения является реализация режима синхронизации мод в лазере с очень коротким резонатором. Уменьшение длины резонатора возможно за счет использования специальных композитных волокон и гибридных компонент. Композитное волокно имеет фосфатную сердцевину и кварцевую оболочку. Данная структура позволяет на порядок, по сравнению со стандартными волокнами, увеличить концентрацию легирования волокна активными ионами эрбия N (до 10^{20} см⁻³) без потери механических свойств и сохранить возможность его соединения со стандартными оптическими компонентами.

Изначально нами были проведены исследования возможности использования композитного волокна и одностенных углеродных нанотрубок для генерации УКИ в лазере с короткой активной средой (менее 20 см). С этой целью был реализован эрбиевый лазер с линейным резонатором (Рис. 1 (а)).

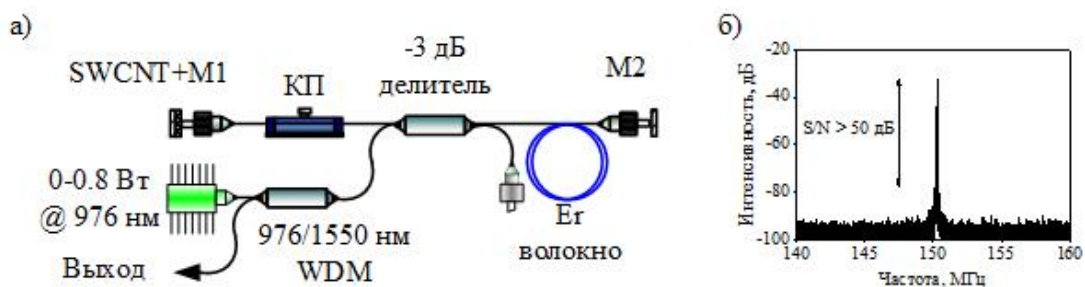


Рис. 1. (а) Схема эрбиевого лазера с линейным резонатором. SWCNT – одностенные углеродные нанотрубки; КП – контроллер поляризации; WDM – оптический мультиплексор; M1, M2 – оптические зеркала. (б) Радиочастотный спектр выходного сигнала.

Активное волокно длиной всего 12 см накачивалось лазерным диодом с длиной волны 976 нм через мультиплексор и оптический разветвитель. Для настройки режима генерации лазерного излучения использовался один контроллер поляризации (КП). Роли зеркал в резонаторе выполняли оптические пигтейлы с зафиксированной на поверхности их торца алюминиевой фольгой (SWCNT+M1 и M2). Для реализации синхронизации мод на один из оптических пигтейлов так же были нанесены одностенные углеродные нанотрубки (SWCNT). При максимально возможном уменьшении длины резонатора в данной конфигурации была получена стабильная генерация УКИ с частотой повторения 150 МГц (радиочастотный спектр выходного сигнала показан на рисунке 1(б)).

При мощности накачки 740 мВт лазер генерировал стабильную последовательность УКИ на центральной длине волны излучения 1543 нм. Длительности импульсов составляли 0,5 пс, а средняя выходная мощность 9,2 мВт.

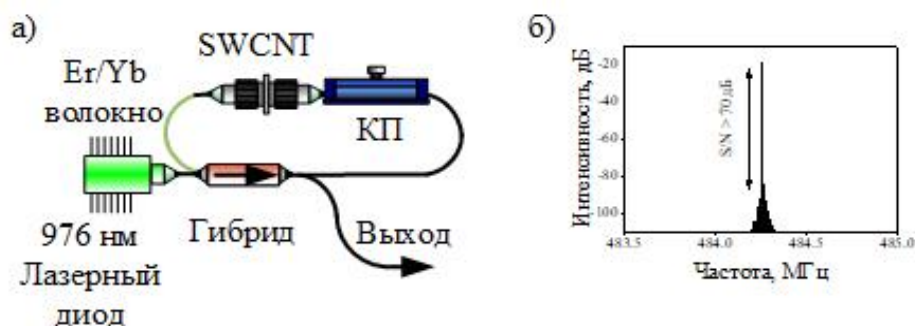


Рис. 2. (а) Схема эрбиевого лазера с кольцевым резонатором. (б) Радиочастотный спектр выходного сигнала.

Затем, чтобы увеличить частоту следования импульсов и снизить необходимую мощность накачки, мы решили изменить схему резонатора на кольцевую конфигурацию (Рис. 2, (а)). Использовалось композитное волокно длиной 12 см, легированное комплексом Er/Yb, и гибридный элемент (WIT), выполняющий роль WDM, изолятора и оптического разветвителя (коэффициент деления составлял 90/10 с выходом 10%). Синхронизация мод в данной схеме также осуществлялась за счет наличия в резонаторе SWCNT, которые помещались между двумя оптическими разъемами. Постепенно уменьшая длину пассивной части резонатора, нами были получены стабильные режимы генерации с основными частотами повторения импульсов 129, 153, 214, 247, 298 МГц. Соответствующие длины резонаторов были равны 1.55, 1.3, 0.9, 0.8, 0.6 м. В этой же конфигурации, уменьшая общую длину резонатора до 0.42 м, при длине композитного волокна 18 см и мощности накачки 168 мВт так же был получен режим генерации УКИ с основной частотой следования импульсов 484 МГц на центральной длине волны излучения 1542,8 нм. Радиочастотный спектр сигнала показан на рисунке 2(б). Длительности импульсов и средняя выходная мощность составили 1,6 пс и 1,5 мВт соответственно.

Таким образом в нашей работе продемонстрирована возможность создания на основе композитного волокна и SWCNT источников УКИ с субгигагерцовой частотой повторения, работающих в оптическом диапазоне 1.5 мкм. Были получены стабильные режимы генерации с основными частотами повторения УКИ от 129 до 484 МГц.

Работа поддержана РФФ (грант № 23-79-30017)

Литература

- [1] G.C. Valley, *Optics express*, **15**(5), 1955-1982, (2007)
- [2] T. Fortier, E. Baumann, *Communications Physics*, **2**(1), 153 (2019)
- [3] H. Kalaycıoğlu, P. Elahi et al, *IEEE Journal of selected topics in quantum electronics*, **24**(3), 1-12 (2017)