

Влияние параметров насыщающихся поглотителей на режимы генерации гантелевидного тулиевого волоконного лазера

А.Д.Зверев, В.А.Камынин, А.И.Трикшев, Е.Ю.Ковтун, Н.Р.Арутюнян, А.А.Мастин, П.А.Рябочкина, Е.Д.Образцова, В.Б.Цветков

Исследовано влияние параметров насыщающегося поглотителя на режимы генерации гантелевидного тулиевого волоконного лазера. В качестве насыщающихся поглотителей использовались полимерные пленки с нанотрубками, характеризующиеся различными коэффициентами пропускания в насыщенном и ненасыщенном состояниях. Продемонстрирована работа лазеров с поглотителями различных конфигураций для получения стабильных режимов модуляции добротности и синхронизации мод в спектральном диапазоне 1930–1960 нм. В моноимпульсном режиме синхронизации мод генерации средняя мощность выходного излучения составила 3.5 мВт при частоте следования импульсов 8.4 МГц и длительности импульса 1.08 пс.

Ключевые слова: тулий, волоконный лазер, пассивная синхронизация мод, одностенные углеродные нанотрубки.

1. Введение

Волоконные лазеры, генерирующие ультракороткие импульсы в двухмикронном диапазоне длин волн, имеют множество применений. Они широко представлены в медицине, промышленности [1] и науке [2, 3]. Ультракороткие импульсы в волоконных лазерах можно получить, реализовав режим пассивной синхронизации мод при использовании различных нелинейных эффектов: нелинейного вращения плоскости поляризации [4], нелинейного кольцевого зеркала [5] или внесения в резонатор лазера насыщающихся поглотителей. В качестве последних могут выступать полупроводниковые зеркала SESAM [6], пленки на основе углеродных нанотрубок [7] или графена [8], а также топологические изоляторы [9, 10].

В волоконных лазерах, работающих в диапазоне длин волн 1.85–2.15 мкм, используют оптические волокна, легированные ионами тулия, гольмия или комплексом тулий – гольмий. Широкий спектр люминесценции тулиевых световодов позволяет получать импульсы пико- и фемтосекундной длительности. Так, в тулиевом волоконном лазере с нелинейным усиливающим кольцевым зеркалом при использовании полупроводникового зеркала с насыщающимся поглотителем и одностенных углеродных нанотрубок были получены импульсы длительно-

стью 230 и 450 фс соответственно [11]. Тулиевый лазер с кольцевым резонатором в [12] благодаря эффекту нелинейного вращения плоскости поляризации генерировал импульсы длительностью 235 фс. В тулиевом лазере с гантелевидным резонатором для получения режима пассивной синхронизации мод с импульсами длительностью 750 фс в качестве насыщающегося поглотителя использовались углеродные нанотрубки [13].

Глубина модуляции и вносимые в резонатор оптические потери насыщающихся поглотителей, используемых для получения пассивной синхронизации мод в волоконных лазерах, влияют на режим работы лазера и параметры генерируемых импульсов. Так, в работе [14] при различном количестве используемых слоев графена была получена генерация с длительностью импульсов в диапазоне 523–603 фс. В работе [15] авторы, используя образцы поглотителей различной толщины на основе углеродных нанотрубок, получили импульсы длительностью от 501 до 530 фс.

Для получения пассивной синхронизации мод в настоящей работе мы использовали три образца пленок с одностенными углеродными нанотрубками (ОУНТ). Было исследовано влияние количества слоев и коэффициента пропускания пленок с углеродными нанотрубками на характеристики генерации гантелевидного тулиевого волоконного лазера.

2. Приготовление и исследование образцов пленок с нанотрубками

Одностенные углеродные нанотрубки со средним диаметром 2 нм (TuballTM) и концентрацией 0.1 мг/мл смешивались с 1%-ным водным раствором карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). Далее суспензия подвергалась воздействию ультразвука мощностью 200 Вт в течение 1.5 ч для дезинтеграции пучков ОУНТ, после чего центрифугировалась в течение 1 ч со скоростью 50000 об/мин в ультрацентрифуге Beckman Coulter Optima MAX-E. Для последующей работы отделялся супернатант (3 из 4 мл в

А.Д.Зверев. Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Россия, 119991 Москва, Воробьевы горы; Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119333 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: izverevad@gmail.com

В.А.Камынин, А.И.Трикшев, Н.Р.Арутюнян, Е.Д.Образцова, В.Б.Цветков. Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119333 Москва, ул. Вавилова, 38

Е.Ю.Ковтун. Сколковский институт науки и технологий, Россия, 121205 Москва, Большой б-р, 30, стр. 1

А.А.Мастин, П.А.Рябочкина. Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева, институт физики и химии, Россия, 430005 Саранск, Большевикская ул., 68А, корп. 2

Поступила в редакцию 19 марта 2021 г.