

Оптимизация волоконного Er-Tm-лазера

Я. Э. Садовникова, В. С. Кондратенко

Целью данной работы была оптимизация схемы созданного ранее волоконного Er-Tm-лазера в интересах получения наилучших параметров излучения на выходе волокна. Для получения импульсной генерации использовался метод модуляции добротности с помощью затвора на насыщающемся поглотителе. В результате была подобрана оптимальная длина поглотителя, при которой были достигнуты наилучшие характеристики выходного излучения: максимальная средняя выходная мощность составила 1 Вт при максимальной частоте повторения – 4,5 кГц. Энергия импульса длительностью 35 нс может быть оценена как 0,3 мДж, а пиковая мощность – 6 кВт.

Ключевые слова: волоконный лазер, импульсные характеристики, модуляция добротности, насыщающиеся поглотители.

Введение

Волоконные импульсные лазеры представляют значительный интерес, поскольку позволяют достичь больших пиковых мощностей и энергий импульса при использовании накачки с относительно невысокой мощностью. Такие лазеры могут найти применение в обработке материалов, медицине, лазерной локации и др. При этом для различных применений могут использоваться лазеры с различными длинами волн излучения, длительностью импульсов и частотой их повторения. В настоящее время предложен ряд методов получения импульсного режима. Одним из распространенных методов получения импульсного режима является использование отражателей на основе насыщающегося полупроводникового зеркала (так называемый SESAM – semiconductor saturable absorber mirror). Такое устройство позволяет получать как режим синхронизации мод, так и модуляции добротности. При этом SESAM может иметь волоконный ввод, что позволяет реализовать полностью волоконное устройство. К недостаткам данного метода получения импульсного режима следует отнести высокую вероятность оптического пробоя полупроводникового зеркала, что ограничивает энергию генерируемых импульсов.

В последнее время для управления параметрами лазерного излучения стали использоваться карбоновые нанотрубки. Изменяя размер нанотрубок, можно получать затворы для излучения в различных спектральных диапазонах. Такие насыщающиеся поглотители могут помещаться внутрь резонатора или наноситься на зеркало. Так же, как и в случае SESAM, энергетические характеристики ограничиваются оптическим пробоем материалов, содержащих нанотрубки.

В течение ряда лет используется метод синхронизации мод волоконных лазеров на использовании нелинейного вращения поляризации [1, 2]. Для увеличения энергии импульсов используется удлинение резонатора при помощи дополнительного волокна [3, 4].

Следует отметить, что описанные выше методы, как правило, применяются для получения режима синхронизации мод, который характеризуется высокой пиковой мощностью и невысокой энергией импульса. Для повышения энергии импульса необходимым является осуществление режима модуляции добротности.

Одна из возможностей получения этого режима состоит в применении методов, уже используемых в «классических» лазерах. Так, использование акустооптических модуляторов позволяет получать импульсы с энергией 100 мкДж. Недостаток этого метода состоит в сложности сопряжения объемного модулятора и волоконного лазера. Можно также отметить лазеры, излучающие в режиме самомодуляции добротности за счет подавления обратной связи и формирования бриллюэновского зеркала [5, 6]. Недостаток данного метода состоит в нестабильности амплитуды и частоты повторения импульсов. Необходимо упо-

Садовникова Яна Эдуардовна, преподаватель.
Кондратенко Владимир Степанович, профессор, д.т.н.
Физико-технологический институт
Московского технологического университета.
Россия, 119454, Москва, пр. Вернадского, 78.
Тел. 8 (499) 269-46-22. E-mail: yanasadovnikova@gmail.com

Статья поступила в редакцию 26 декабря 2016 г.

© Садовникова Я. Э., Кондратенко В. С., 2017

мянуть и работу с использованием модулятора Фабри-Перо и фильтра Маха-Цандера [7].

Целью данной работы была оптимизация схемы созданного ранее волоконного Er-Tm-лазера в интересах получения наилучших параметров излучения на выходе волокна путем объединения достоинств вышеперечисленных методов, а именно, на основе использования волоконного самонасыщающегося поглотителя непосредственно внутри резонатора лазера. Известно, что данный элемент позволяет работать с высокими пиковыми мощностями и энергиями импульсов. Для получения волоконного самонасыщающегося поглотителя волокно легируется ионами редкоземельных элементов, например, таких как Sm, Tm, Bi, Ho и т. д. Отметим, что уже существует ряд работ, в которых продемонстрировано удачное использование данного метода модуляции добротности.

Схема лазера

В данной работе использовался созданный ранее цельноволокнистый Er-Tm лазер [8]. На рис. 1 представлена схема оптимизированного лазера. В качестве активной среды использовалось GTWave-волокно с диаметром 20 мкм и длиной 10 метров, причем его сердцевина, легирована ионами эрбия. Накачка осуществлялась непосредственно в оболочку волокна, что позволило использовать для накачки более мощный (10 Вт) полупроводниковый источник с длиной волны 980 нм и тем самым увеличить выходную мощность лазера. Режим модуляции добротности был реализован за счет введения в резонатор лазера насыщающегося поглотителя на основе волокна, легированного ионами тулия (Tm), длина которого менялась от 4 до 17 см. В качестве отражателей использовались волоконные брэгговские решетки (ВБР). Входная решетка записывалась в одномодовом волокне и обеспечивала одномодовый режим генерации. Выходная решетка была записана в отрезке многомодового волокна, что обеспечивало его хорошее согласование с активным волокном, имеющим большой диаметр сердцевины.

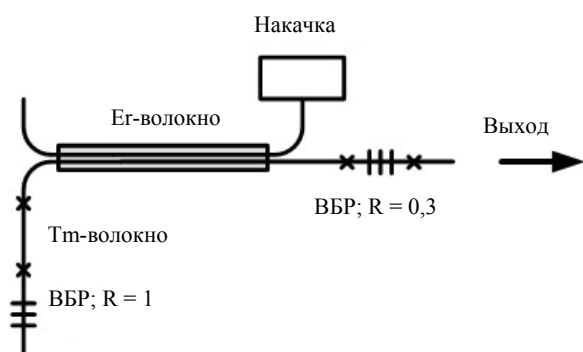


Рис. 1. Схема волоконного Er-Tm-лазера. ВБР-зеркала с коэффициентом отражения $R = 1$ и $R = 0,3$.

Результаты оптимизации

В результате проведенной оптимизации достигнуты следующие результаты. Длина волны излучения волоконного лазера равнялась 1,6 мкм, максимальная выходная средняя мощность составила около 1 Вт при частоте следования импульсов 4,4 кГц. Исследуемые образцы приваривались к выходному отрезку волоконного лазера с ВБР. В качестве поглотителя использовалось волокно, легированное ионами Tm с концентрацией около $2 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Длина поглотителя изменялась в пределах от 4 до 17 см.

В лазере, собранном по схеме, представленной на рис. 1, была получена стабильная импульсная генерация. При этом длительность импульса составляла от 25 до 80 нс, что в несколько раз короче по сравнению с лазерами с другими типами волоконных насыщающихся поглотителей. Типичная форма импульсов представлена на рис. 2.

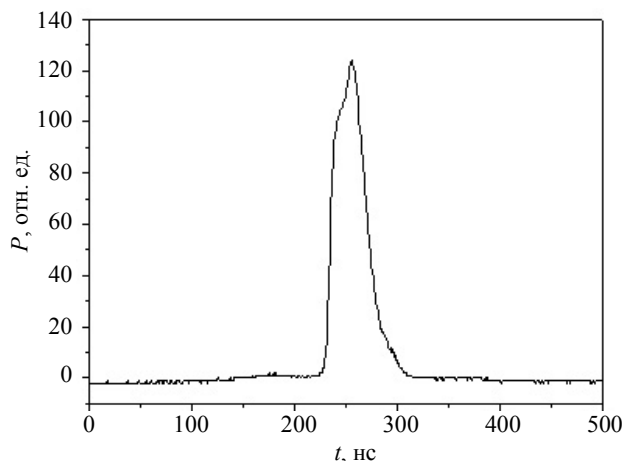


Рис. 2. Форма лазерного импульса: зависимость мощности излучения P от времени t .

Максимальная средняя выходная мощность составила 1 Вт при максимальной частоте повторения – 4,5 кГц. В ходе исследований была выбрана оптимальная длина тулиевого волокна 6,5 см, при которой набор выходных характеристик был наилучшим, а именно: длительность и энергия импульса – соответственно 35 нс и 0,3 мДж, пиковая мощность – 6 кВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Matsas V. J., Newson T. P., Richardson D. J., Payne D. N. // Electronics Letters. 1992. Vol. 28. P. 1391.
2. Gan Y., Xiang W. H., Zhang G. Z. // Laser Physics. 2009. Vol. 19. P. 445.
3. Kobtsev S. M., Kukarin S. V., Smirnov S. V., Fedotov Y. S. // Laser Physics. 2010. Vol. 20. P. 351.
4. Nyushkov B. N., Denisov V. I., Kobtsev S. M., Pivtsov V. S., Kolyada N. A., Ivanenko A. V., Turitsyn S. K. // Laser Physics Letters. 2010. Vol. 7. P. 661

5. Chernikov S. V., Zhu Y., Taylor J. R., Gapontsev V. P. // Optics Letters. 1997. Vol. 22. P. 298.
6. D. A. Gruk, Kurkov A. S., Razdobreev I. M., Fotiadi A. A. // Quantum Electronics. 2002. Vol. 32. P. 1017.

7. Chen N. K., Feng Z. Z., Liaw S. K. // Laser Physics Letters. 2010. Vol. 7. P. 363.
8. Kurkov A. S., Sadovnikova Ya. E., Marakulin A. V., Sholokhov E. M. // Laser Physics Letters. 2010. Vol. 7. P. 795.

PACS: 42.55.Wd

Optimization of the Er-Tm fiber laser

Ya. E. Sadovnikova and V. S. Kondratenko

Institute of Physics and Technology of the Moscow University of Technology
78 Vernadsky av., Moscow, 119454, Russia
E-mail: yanasadovnikova@gmail.com

Received December 26, 2017

The aim of this work was optimization of the previously created scheme of the fiber Er-Tm laser for obtaining the best parameters from the output fiber. Pulse generation was made by the Q-switching method using a shutter on base of a saturable absorber. As a result, it was selected the optimal length of the absorber, in which the best characteristics of the output radiation have been achieved: the maximum average output power was 1 W at a maximum repetition rate of 4.5 kHz. The 35-ns pulse energy can be estimated as high as 0.3 mJ and the peak power is equal to 6 kW.

Keywords: fiber laser, pulse characteristics, Q-switch modulation, saturable absorber

REFERENCES

1. V. J. Matsas, T. P. Newson, D. J. Richardson, and D. N. Payne, Electronics Letters **28**, 1391 (1992)
2. Y. Gan, W. H. Xiang, and G. Z. Zhang, Laser Physics **19**, 445 (2009).
3. S. M. Kobtsev, S. V. Kukarin, S. V. Smirnov, and Y. S. Fedotov, Laser Physics **20**, 351 (2010)
4. B. N. Nyushkov, V. I. Denisov, S. M. Kobtsev, V. S. Pivtsov, N. A. Kolyada, A. V. Ivanenko, and S. K. Turitsyn, Laser Physics Letters **7**, 661 (2010)
5. S. V. Chernikov, Y. Zhu, J. R. Taylor, and V. P. Gapontsev, Optics Letters **22**, 298 (1997)
6. D. A. Gruk, A. S. Kurkov, I. M. Razdobreev, and A. A. Fotiadi, Quantum Electronics **32**, 1017 (2002).
7. N. K. Chen, Z. Z. Feng, and S. K. Liaw, Laser Physics Letters **7**, 363 (2010).
8. A. S. Kurkov, Ya. E. Sadovnikova, A. V. Marakulin, and E. M. Sholokhov, Laser Physics Letters **7**, 795 (2010).