

Аннотация

Волоконные лазеры двухмикронного диапазона для медицинского применения

Филатова С.А.

1) Существующий уровень развития.

В последние годы наблюдается растущий интерес к волоконным лазерным источникам, работающим в двухмикронном спектральном диапазоне. Значительное количество подобных источников было создано на основе тулиевых оптических волокон, однако, гольмиевые волоконные лазеры позволяют получать генерацию излучения с наибольшими длинами волн в волокнах на кварцевой основе по сравнению с волоконными лазерами на других редкоземельных элементах. Поэтому областью интересов многих научных групп являются волоконные гольмиевые источники излучения и усилители. Это обусловлено обширной областью их возможных технологических и научных применений, таких как медицина, обработка материалов, волоконно-оптическая и беспроводная связи, зондирование пространства и т.д. [1].

На данный момент реализованы различные гольмиевые волоконные лазеры в спектральном диапазоне от 2020 нм до 2210 нм [2-5], а также источники излучения с возможной спектральной перестройкой [6,7], работающие как в непрерывном, так и в импульсном режимах. Первый гольмиевый волоконный усилитель непрерывного излучения реализован на длине волны 2100 нм [8]. Накачка усилителя производилась иттербиевым волоконным лазером на длине волны 1125 нм, а выходная мощность составила 1.65 Вт при входном сигнале 35 мВт. Также был разработан ряд гольмиевых волоконных усилителей в диапазоне 2030-2150 нм с диодной накачкой на различных длинах волн (1150 нм, 1950 нм, 2008 нм) [9].

В медицине широко применяются гольмиевые лазеры, основную массу которых составляют твердотельные системы, работающие на длине волны 2120 нм в импульсном режиме с генерацией высокоэнергетичных длинных импульсов с частотой повторения до 20 Гц, что является их существенным недостатком. Так же наличие зависимости генерационных характеристик от температуры активной среды приводит к необходимости наличия сложных и дорогостоящих систем охлаждения. При существующем разнообразии патологий требуется более индивидуальный подход и аккуратный подбор режимов работы, обеспечивающий снижение травм при операциях. Такой подход могут обеспечить волоконные лазеры, отличающиеся простотой и легкостью конструкции, возможностью плавного изменения длины волны излучения, большим разнообразием коммерчески доступных компонентов. Поэтому активно ведутся исследования в области применения волоконных лазеров для медицинских целей.

В связи с вышесказанным, в данной работе были собраны полностью волоконные гольмиевые источники с различными режимами работы (непрерывный и импульсный), излучающие в двухмикронном диапазоне, а так же гольмиевые волоконные усилители в диапазоне 2020–2150 нм. Поскольку результат воздействия лазерного излучения на биологические ткани зависит от их оптических свойств, то было проведено исследование оптических свойств некоторых биологических тканей в диапазоне 350–

2600 нм. А также исследованы результаты воздействия непрерывного двухмикронного лазерного излучения на биологические ткани (бесконтактный и контактный методы).

2) Формулировка научной проблемы, решаемой в представленном цикле работ:

Целью данной работы являлось: исследование спектров поглощения различных биологических тканей в спектральном диапазоне 0.35 – 2.6 мкм, разработка и исследование схем волоконных лазеров с различными режимами работы, излучающих в двухмикронном спектральном диапазоне, а также изучение результатов контактного и бесконтактного методов воздействия двухмикронного излучения на биологические ткани.

3) Основные научные результаты:

а) Получен набор спектров поглощения в спектральном диапазоне 0.35 – 2.6 мкм таких биологических тканей, как скелетные мышечные ткани коровы и свиньи, свиной жир, а так же спинной мозг и твердая мозговая оболочка свиного спинного мозга. Также проведено исследование изменения спектров пропускания биотканей в зависимости от времени, прошедшем между приготовлением образца и проведением измерений [V].

б) Собран гольмиевый волоконный лазер на 2.1 мкм, работающий в непрерывном режиме. Максимальная выходная мощность составила 8.25 Вт, дифференциальная эффективность 30%.

в) Собран полностью волоконный гольмиевый лазер, работающий в режиме генерации ультракоротких импульсов с длительностью менее 50 пс и частотой следования импульсов 7.5 МГц. Продемонстрирована возможность изменения центральной длины волны генерации лазера при увеличении длины активного волокна с 2065 до 2080 нм. Средняя мощность излучения составила 2-4 мВт [III].

г) Собраны гольмиевые волоконные усилители. Получено усиление слабого сигнала в диапазоне длин волн 2.02 – 2.15 мкм. Для каждой длины волны проводилась оптимизация активного волокна. Максимальный коэффициент усиления 35.8 дБ достигнут на длине волны 2050 нм. В целом, во всем диапазоне достигнуто усиление более 15 дБ [II].

д) Создан усилитель слабого сигнала полностью волоконного гольмиевого лазера, работающего в режиме генерации импульсов длительностью менее 50 пс. Максимальная полученная средняя мощность составила 45 мВт, при начальной средней выходной мощности 73 мкВт. Максимальный коэффициент усиления составил 28 дБ. Показано, что в процессе усиления происходит деформация выходного спектра при значениях коэффициента усиления, больших 22.3 дБ. Средняя мощность на выходе усилителя до спектральной деформации выходного излучения составила 12.5 мВт [IV].

е) Проведено воздействие непрерывным лазерным излучением двухмикронного диапазона на биоткани (контактным и бесконтактным методами) [I].

4) Степень оригинальности использованных методов и подходов:

Представленные результаты получены впервые на момент публикации. Впервые реализованы: гольмиевые волоконные усилители в диапазоне 2.02 – 2.15 мкм,

гольмиевый волоконный лазер, работающий в режиме синхронизации мод с накачкой на длине волны 1125 нм в полностью волоконном исполнении, гольмиевый волоконный усилитель пикосекундных импульсов.

5) Практические приложения результатов работы:

Результаты работы могут быть использованы в медицинских лазерных системах, а гольмиевые лазеры могут найти применение в приборах лазерной локации и атмосферной связи. Также перспективным направлением является использование разработок в системах параметрического усиления в среднем ИК диапазоне и генерации суперконтинуума в том же спектральном диапазоне.

Перечень цитируемой литературы

1. Scholle K., Lamrini S., Koopmann P., and Fuhrberg P., in *Frontiers in Guided Wave Optics and Optoelectronics*, Bishnu Pal, ed. (InTech, 2010), pp. 471-500;
2. Kurkov A.S., Sholokhov E.M., Medvedkov O.I., Dvoyrin V.V., Pyrkov Yu.N., Tsvetkov V.B., Marakulin A.V. and Minashina L.A., *LaserPhysics. Letters*, **6(9)**, 661-664 (2009);
3. Gumenyuk R., Vartiainen I., Tuovinen H. and Okhotnikov O. G., *Optics letters*, **36(5)**, 609-611 (2011);
4. Antipov S.O., Kamynin V.A., Medvedkov O.I., Marakulin A.V., Minashina L.A., Kurkov A.S. and Baranikov A.V., *Quantum Electron*, **43(7)**, 603-604 (2013);
5. Chamorovskiy A.Yu., Marakulin A.V., Kurkov A.S., Leinonen T., Okhotnikov O.G., *IEEE Photonics Journal*, **4(3)**, 679-683(2012);
6. Kamynin V.A., Kablukov S.I., Raspopin K.S., Antipov S.O., Kurkov A.S., Medvedkov O.I. and Marakulin A.V., *Laser Physics Letters*, **9(12)**, 893(2012);
7. Chamorovskiy A.Yu., Marakulin A.V., Kurkov A.S. and Okhotnikov O.G., *Laser Phys. Lett.*, **9(8)**, 602(2012);
8. Antipov S.O., Kurkov A.S., *Laser Physics Letters*, **10(12)**, 125106 (2013);
9. Simakov N., Li Z., Jung Y., Daniel J. M., Barua P., Shardlow P. C., ... & Alam S. U. *OpticsExpress*, **24(13)**, 13946-13956, (2016).

Список публикаций, выдвигаемых на конкурс

- I. Филатова С.А., Камынин В.А., Рябова А.В. и др. Воздействие излучения гольмиевого волоконного лазера ($\lambda = 2.1$ мкм) на ткань оболочки спинного мозга и жировую ткань // *Квантовая электроника*. – 2015. – Т. 45. – №. 8. – С. 781-784.;

- II. Filatova S.A., Kamynin V.A., Tsvetkov V.B. et al. Gain spectrum of the Ho-doped fiber amplifier // *Laser Physics Letters*. – 2015. – Т. 12. – №. 9. – С. 095105.;
- III. Filatova S.A., Kamynin V.A., Zhluktova I.V., Trikshev A.I., Tsvetkov V.B. All-fiber passively mode-locked Ho-laser pumped by ytterbium fiber laser// *Laser Physics Letters*. - 2016. - Т. 13. - №11 - С. 115103;
- IV. Филатова С.А., Камынин В.А., Трикшев А.И., Жлуктова И.В., Цветков В.Б. Усиление пикосекундных импульсов двухмикронного диапазона, // *Прикладная фотоника*. – 2016 – Т. 3. – №3. – С. 301-308;
- V. Filatova S.A., Shcherbakov I.A., Tsvetkov V.B. Optical properties of animal tissues in the wavelength range from 350 to 2600 nm // *Journal of Biomedical Optics*. – 2017. – Т. 22. – №. 3. – С. 035009-035009.