

# Волоконный гольмиевый усилитель на длине волны 2.1 мкм

В.А.Камынин, С.О.Антипов, А.В.Бараников, А.С.Курков

*Создан волоконный гольмиевый усилитель малых сигналов. Источником сигнала служил непрерывный гольмиевый лазер, мощность излучения которого модулировалась электрооптическим модулятором. Максимальное усиление входного сигнала (длина волны 2.1 мкм, мощность 0.25 мВт, длительность 100 нс, период следования импульсов 1 мкс) составило 28.5 дБ.*

**Ключевые слова:** гольмиевый волоконный лазер, волоконный усилитель, двухмикронная область спектра.

## 1. Введение

Развитие лазеров на основе волокон, легированных ионами гольмия, позволило создать ряд эффективных источников излучения в спектральном диапазоне, несколько превышающем 2 мкм и представляющем интерес для применений в медицине и атмосферной связи. На сегодняшний день реализован ряд гольмиевых волоконных излучателей, включая лазеры с длиной волны излучения от 2.02 мкм [1] до 2.21 мкм [2], перестраиваемые волоконные лазеры [3, 4], непрерывные волоконные лазеры с мощностью излучения до 400 Вт [5], пикосекундные и фемтосекундные импульсные лазеры [6, 7], гольмиевые лазеры с квантовой эффективностью 0.81 [8].

Кроме того, в последнее время реализована схема импульсного гольмиевого лазера с волоконным гольмиевым усилителем [9]. Последний накачивался излучением непрерывного иттербиевого лазера на длине волны 1.12 мкм и использовался для усиления импульсов гольмиевого лазера, работающего в режиме самомодуляции добротности. К сожалению, в таком режиме генерировались импульсы достаточно большой длительности, достигающей 2.5 мкс, и малой скважности, составляющей около 3. Кроме того, входной сигнал усилителя имел достаточно большую среднюю мощность. Для сигнала со средней мощностью 18 мВт полученное усиление составило 18.5 дБ. Максимальная средняя мощность на выходе волоконного усилителя равнялась 1.65 Вт при мощности входного сигнала 35 мВт, дифференциальная эффективность от-

носительно поглощенной мощности накачки иттербиевого лазера составляла 23%.

В настоящей работе исследовано усиление слабого сигнала на длине волны 2.1 мкм, промодулированного по амплитуде с помощью электрооптического модулятора.

## 2. Схема эксперимента

Схема экспериментальной установки (рис.1) включает в себя задающий генератор и волоконный усилитель. Задающий генератор, в свою очередь, объединяет непрерывный гольмиевый лазер, накачиваемый в торец излучением (1.12 мкм) волоконного иттербиевого лазера, оптический изолятор, отрезок волокна, активированного ионами  $\text{Sm}^{3+}$ , и электрооптический модулятор. Гольмиевый лазер, входящий в состав задающего генератора, являлся источником непрерывного излучения на длине волны 2.1 мкм. Отрезок легированного ионами  $\text{Sm}^{3+}$  волокна длиной 1.5 м использовался для фильтрации остаточного излучения накачки на длине волны 1.12 мкм. Непрерывное излучение гольмиевого лазера, модулировалось с помощью волоконного электрооптического модулятора, изготовленного в Пермской научно-производственной приборостроительной компании. Длительности импульсов,

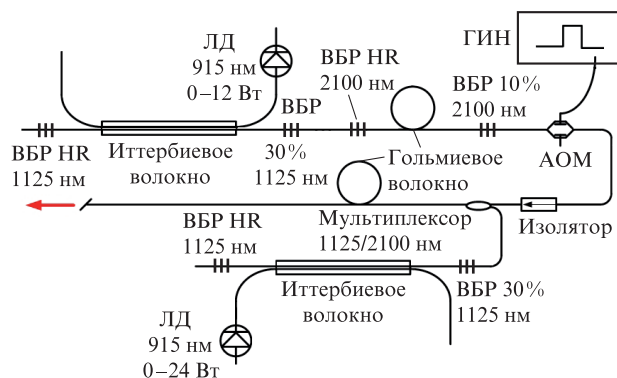


Рис.1. Схема гольмиевого волоконного усилителя с задающим генератором слабых оптических сигналов; ВБР HR – глухая волоконная брэгговская решетка, ЛД – лазерный диод накачки, ГИН – генератор импульсов напряжения, АОМ – акустооптический модулятор.

**В.А.Камынин, С.О.Антипов.** Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; Лаборатория фотоники Пермского научного центра УрО РАН, Россия, 614990 Пермь, ул. Ленина, 13а; e-mail: antipov\_fs@yahoo.com  
**А.В.Бараников.** Московский физико-технический институт (государственный университет), Россия, Московская обл., 141700 Долгопрудный, Институтский пер., 9  
**А.С.Курков.** Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; Лаборатория фотоники Пермского научного центра УрО РАН, Россия, 614990 Пермь, ул. Ленина, 13а; Пермский национальный исследовательский университет, Россия, 14990 Пермь, Комсомольский просп. 29

Поступила в редакцию 2 декабря 2013 г.

полученных при модуляции излучения, достигали 100 нс при периоде их следования 1 мкс. Таким образом, скважность импульсов задающего генератора составляла 10, что более чем в три раза превышает значение, полученное в режиме самомодуляции добротности гольмиевого лазера. Средняя мощность излучения задающего генератора была снижена до 0.25 мВт. Для подавления генерации в объеме усилителя перед мультиплексором, объединяющим излучение иттербиевого лазера накачки на 1.12 мкм и усиливаемые импульсы, был установлен волоконный изолятор со степенью изоляции 21 дБ и потерями на прямое прохождение не более 0.6 дБ.

В экспериментах в волоконном усилителе использовался ряд активных волокон с близкими (в районе  $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ) концентрациями гольмиевой примеси и длинами, оптимизированными для достижения максимального усиления. Во всех случаях активное волокно возбуждалось излучением иттербиевого лазера, длина волны отсечки этих волокон составляла  $\sim 2 \text{ мкм}$ , а разность показателей преломления сердцевин и оболочки равнялась 0.01.

### 3. Полученные результаты

Вариация концентрации активной примеси при соответствующей оптимизации длины волокна и заданной мощности накачки позволила получить больший коэффициент усиления, чем сообщалось ранее. Так, для гольмиевого световода с концентрацией ионов  $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$  максимальная средняя мощность усиленного сигнала составила 175 мВт при мощности входного сигнала 0.25 мВт, что соответствует коэффициенту усиления 28.5 дБ.

Исследование зависимости усиления от длины активного волновода усилителя показало, что максимальный коэффициент усиления достигается при длине волокна 3.5 м. На рис.2 показана зависимость коэффициента усиления от мощности поглощенной накачки для волокна с

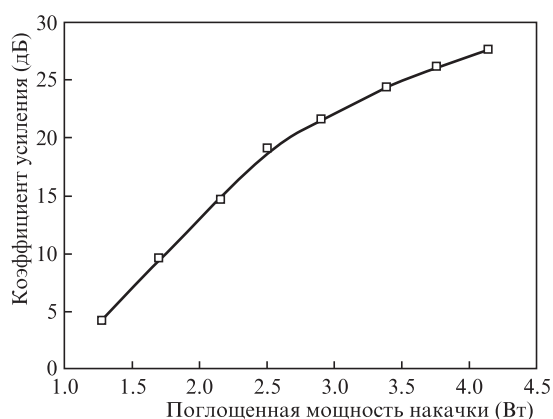


Рис.2. Зависимость коэффициента усиления от поглощенной мощности накачки на длине волны 1.12 мкм при мощности сигнала на входе усилителя 0.25 мВт, длине волны усиливаемого излучения 2.1 мкм и концентрации ионов гольмия активной примеси в световоде  $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ .

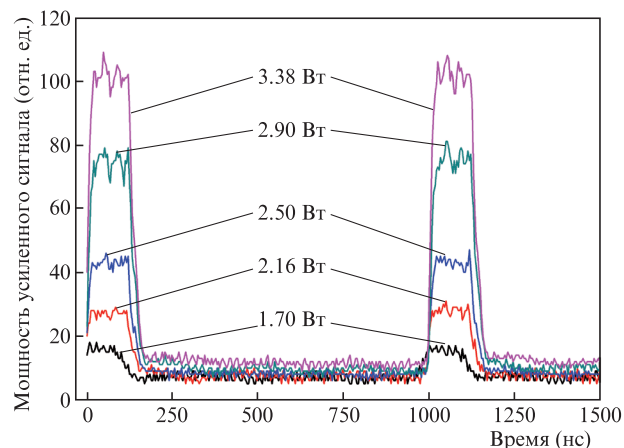


Рис.3. Осциллограммы усиленных импульсов для пяти значений поглощенной усилителем мощности накачки.

концентрацией ионов гольмия  $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , а на рис.3 – осциллограммы усиленных импульсов при различных значениях поглощенной мощности накачки.

Таким образом, достигнуто усиление 28.5 дБ слабого сигнала со средней мощностью 0.25 мВт; на выходе усилителя средняя мощность соответственно составила 175 мВт. Из анализа спектра выходного сигнала можно заключить, что использование в схеме волоконного изолятора и выходного скошенного торца активного волокна усилителя успешно предотвратило возникновение генерации в объеме гольмиевого усилителя.

Авторы выражают благодарность Пермской научно-производственной приборостроительной компании за предоставленные образцы активных гольмиевых волокон и электрооптический модулятор.

1. Kurkov A.S., Sholokhov E.M., Medvedkov O.I., Dvoyrin V.V., Pyrkov Yu.N., Tsvetkov V.B., Marakulin A.V., Minashina L.A. *Laser Phys. Lett.*, **6**, 661 (2009).
2. Антипов С.О., Камынин В.А., Медведков О.И., Маракулин А.В., Минашина Л.А., Курков А.С., Бараников А.В. *Квантовая электроника*, **43**, 603 (2013).
3. Kamynin V.A., Kablukov S.I., Raspopin K.S., Antipov S.O., Kurkov A.S., Medvedkov O.I., Marakulin A.V. *Laser Phys. Lett.*, **9**, 893 (2012).
4. Simakov N., Hemming A., Clarkson W. A., Haub J., Carter A. *Opt. Express*, **21**, 28415 (2013).
5. Hemming A., Simakov N., Davidson A., Bennetts S., Hughes M., Carmody N., Davies P., Corena L., Stepanov D., Haub J., Swain R., Carter A. in *CLEO: OSA Techn. Digest* (New York: OSA, 2013, CW1M.1).
6. Чаморовский А.Ю., Маракулин А.В., Лейнонен Т., Курков А.С., Охотников О.Г. *Квантовая электроника*, **42**, 12 (2012).
7. Chamarovski A.Yu., Marakulin A.V., Ranta S., Tavast M., Rautiainen J., Leinonen T., Kurkov A.S., Okhotnikov O.G. *Opt. Lett.*, **37**, 1448 (2012).
8. Курков А.С., Шолохов Е.М., Цветков В.Б., Маракулин А.В., Минашина Л.А., Медведков О.И., Косолапов А.Ф. *Квантовая электроника*, **41**, 492 (2011).
9. Antipov S.O., Kurkov A.S. *Laser Phys. Lett.*, **10**, 125106 (2013).