

## ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТОВОЛОКОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

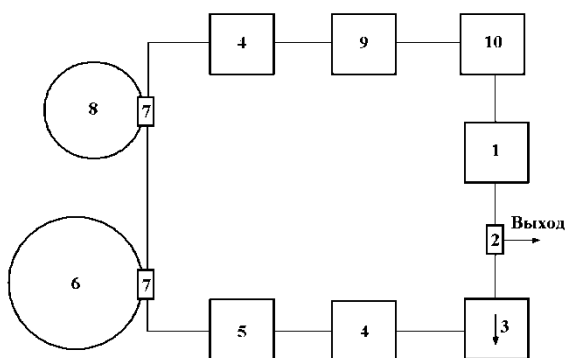
Ксенофонов М.А.<sup>1</sup>, Поляков А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

Для создания квазираспределенных волоконно-оптических датчиков с использованием WDM-технологии на основе таких систем как, например, рециркуляционные измерительные системы [1,2], необходимо разрабатывать специальные перестраиваемые высокостабильные источники излучения. В данной работе в качестве такого источника описан перестраиваемый волоконный кольцевой лазер. В измерительных системах данный источник может заменить большое число отдельных полупроводниковых лазеров.

В качестве источника излучения используется двухволновой перестраиваемый кольцевой волоконный лазер, подобный [3]. Лазер имеет однонаправленную кольцевую архитектуру, включающую в себя оптический изолятор, направленный ответвитель, легированное эрбиевое волокно, полупроводниковый оптический усилитель, резонансный волоконный фильтр Фабри – Перо, оптический полосовой перестраиваемый фильтр и два волоконных резонатора (рисунок 1).



- 1 – волоконный эрбиевый оптический усилитель,  
2 – Y-образный оптический разветвитель,  
3 – оптический изолятор, 4 – два контроллера поляризации, 5 – резонансный волоконный фильтр Фабри-Перо, 6 – первый волоконный резонатор, 7 – два X-образных разветвителя, 8 – второй волоконный резонатор, 9 – полупроводниковый оптический усилитель, 10 – оптический полосовой перестраиваемый фильтр

Рисунок 1 – Функциональная схема перестраиваемого волоконного кольцевого лазера

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Излучение со сплошным спектром, пройдя через оптический изолятор и контроллер поляризации, на выходе резонансного волоконного фильтра Фабри – Перо преобразуется в излучение только на резонансных частотах резонатора Фабри – Перо. Генерация каждой длины волны в одномодовом режиме в виде продольной моды обеспечивается двумя волоконными резонаторами, связанных с основным кольцом X-образными разветвителями. Далее после установления линейной поляризации контроллером поляризации происходит предварительное усиление излучения полупроводниковым оптическим усилителем. Селекция двух длин волн и перестройка в заданном спектральном диапазоне осуществляется перестраиваемым оптическим полосовым фильтром. Излучение на двух выделенных длинах волн усиливается волоконным эрбиевым оптическим усилителем и с помощью Y-образного разветвителя выводится из лазера.

Основным элементом резонансного волоконного фильтра Фабри – Перо является отрезок одномодового оптического волокна с торцами, имеющими форму линзы, на которые напылено полупрозрачное зеркальное покрытие с высоким коэффициентом отражения. Свободная область спектра  $f_r$  рассчитывается по формуле

$$f_r = c / (2n_0l), \quad (1)$$

где  $l$  – длина резонатора;  $c$  – скорость света в вакууме;  $a$  выражение для ширины резонансной кривой по уровню  $-3$  дБ имеет вид

$$\Delta f_r = \frac{c}{2nl} \frac{1-R}{\pi\sqrt{R}}, \quad (2)$$

где  $R$  – коэффициент отражения полупрозрачного зеркала по интенсивности света.

При длине фильтра Фабри – Перо  $l = 1$  мм и  $R = 0,7$  согласно (1) и (2)  $f_r = 100$  ГГц и  $\Delta f_r = 11,4$  ГГц.

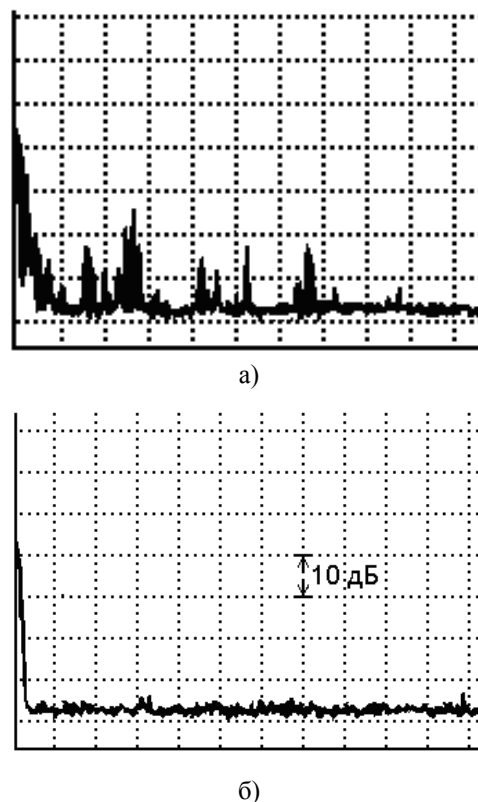
В качестве перестраиваемого полосового фильтра используется волоконный интерференционный фильтр, в котором выбор длины волны осуществляется при изменении угла наклона плоскости фильтра, его линейного перемещения или вращения автоматически с помощью элек-

тронного привода со скоростью установки параметров фильтра не более нескольких миллисекунд. Перестраиваемый оптический фильтр компании DiCon имеет следующие параметры: диапазон перестройки 1525–1565 нм, ширина полосы пропускания 200 ГГц (1,6 нм), разрешение по длине волны 0,05 нм, типовые вносимые потери 1,5 дБ, максимальный уровень обратного отражения –50 дБ. Ширины полосы пропускания перестраиваемого фильтра достаточно, чтобы пропустить выделенный с помощью резонансного фильтра Фабри – Перо диапазон, содержащий две длины волны. Таким образом, в волоконном кольцевом лазере генерируются две длины волны, разнесенные на 100 ГГц (0,8 нм). Путем перестройки полосового фильтра выбирается та пара мод резонатора Фабри – Перо, которая и будет генерироваться. Перестройка является ступенчатой с шагом 200 ГГц в рамках спектрального диапазона, равного 40 нм.

Генерация двухволновых сигналов при наличии только волоконного эрбиевого оптического усилителя является нестабильной, поскольку одна длина волны может монополюсно захватить всю инверсию населенности при усилении слабых (порядка –30 дБм) сигналов. Чтобы этого избежать, необходимо осуществлять предварительное усиление, что достигается использованием полупроводникового оптического усилителя. Применение одного только полупроводникового усилителя не обеспечивает достаточного усиления для достижения приемлемого отношения сигнал/шум. Использовалась квантоворазмерная гетероэпитаксиальная структура полупроводникового усилителя на основе InGaAsP-InP, излучающая на длине волны 1530–1565 нм. Ширина мезаполоски составляла 3 мкм, длина резонатора 1000–1600 мкм. На переднюю и заднюю грани активного элемента нанесены многослойные просветляющие покрытия. Активный элемент оптического усилителя смонтирован на медном теплоотводе, который в свою очередь помещен на термоэлектрический холодильник, управляемый схемой термостабилизации. Излучение с задней и передней граней активного элемента усилителя вводится в одномодовый световод с микролинзой на торце, на поверхность которой нанесено просветляющее покрытие с коэффициентом отражения < 0,05 %. Максимальное отношение сигнал/шум наблюдалось при токе накачки 150 мА, при этом коэффициент усиления равнялся 17 дБ при мощности входного сигнала –15 дБм и коэффициент усиления уменьшался до 8 дБ при возрастании входной мощности до –3 дБм. Волоконный эрбиевый оптический усилитель состоит из отрезка волоконного световода длиной 10 м, легированного эрбием, двух оптических изоляторов, расположенных на входе и выходе усилителя,

полупроводникового лазера накачки с мощностью излучения 100 мВт на длине волны 980 нм, модулятора тока накачки лазера, устройства температурного контроля лазера и 980/1550 WDM-разветвителя. Основные характеристики эрбиевого усилителя: коэффициент усиления 11 дБ, выходная мощность излучения 12 дБм, спектральная полоса усиления 35 нм в диапазоне длин волн 1535–1570 нм, коэффициент шума 4–6 дБ.

Период обращения сигналов по основному кольцу составляет 325 нс. К этому кольцу с помощью X-образных оптических разветвителей с коэффициентом деления 10 : 90 присоединены два волоконных резонатора длиной 6 м и 0,85 м. Длины резонаторов подобраны таким образом, чтобы предотвратить биения, возникающие среди многих продольных мод основного кольца и увеличить отношение сигнал/шум. В результате при отводе 10 % мощности излучения в эти резонаторы регистрируемое отношение сигнал/шум составляет более 30 дБ (рисунок 2).



а – ВР<sub>1</sub> и ВР<sub>2</sub> отключены; б – включены оба резонатора–ВР<sub>1</sub> и ВР<sub>2</sub>

Рисунок 2 – Влияние дополнительных волоконных резонаторов ВР<sub>1</sub> и ВР<sub>2</sub> на спектр генерации кольцевого волоконного лазера

В качестве контроллера поляризации используется поляризатор полированного типа, в котором часть оболочки, почти до самого сердечника,

удалена полировкой и на обработанную поверхность напылен металл – алюминий или серебро. Среди мод, электрические составляющие которых перпендикулярны или параллельны металлической поверхности, на моды с перпендикулярной составляющей приходится основная доля потерь поглощения. Для снижения потерь мод с параллельной составляющей между отполированной поверхностью волокна и металлом сформирован буферный слой ( $\text{CaF}_2$ ), обладающий более низким коэффициентом преломления, чем оболочка. В результате коэффициент затухания поляризатора для перпендикулярных компонентов составляет 45 дБ и вносимые потери для параллельных составляющих не превышают 1 дБ.

Работа оптического изолятора основана на эффекте Фарадея. В качестве материала для элемента Фарадея используется монокристалл YIG железо-иттриевого граната с большой постоянной Верде, прозрачный на длине волны более 1,2 мкм. Кроме того, в конструкцию изолятора входят поляризатор, магнит для создания магнитного поля, оптический анализатор. Изолятор имеет следующие параметры: центральная длина волны  $1550 \pm 50$  нм, прямые потери 0,6 дБ, коэффициент развязки 28 дБ. Вывод излучения из кольцевого лазер обеспечивается Y-образным разветвителем с коэффициентом деления мощности 50 : 50.

Таким образом, в волоконном кольцевом лазере генерируются две длины волны, разнесенные на 100 ГГц (0,8 нм) с шириной линии генерации 11,4 ГГц по уровню –3 дБ. В результате длину волны излучения лазера можно перестраивать в диапазоне 40 нм в пределах длин волн от 1525 до 1565 нм с шагом 1,6 нм, при этом колебания мощности во всем диапазоне не превышает 2,5 дБм. Волоконный лазер соединяется с измерительной частью посредством  $\text{LiNbO}_3$  направленного ответвителя с потерями переключения 3 дБ, принцип действия которого поясняется на рисунок 3.

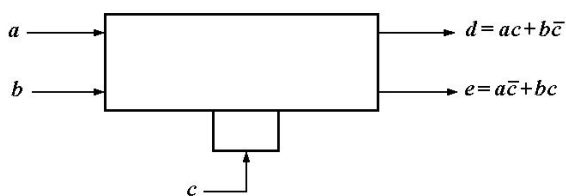


Рисунок 3 – Принцип функционирования  $\text{LiNbO}_3$  направленного ответвителя

Излучение лазера поступает в волоконный

световод, являющийся измерительным чувствительным элементом датчика, в тот промежуток времени, когда на управляющем входе с присутствует импульс от блока регенерации. Выходная мощность излучения кольцевого волоконного лазера составляет 4,5 мВт. Преимуществом такого источника излучения является существенно более высокая мощность излучения по сравнению с широкополосными светодиодами.

В квазираспределенных оптоволоконных измерительных системах в качестве спектрально-селективных элементов предлагается использовать волоконные решетки Брэгга (ВРБ), представляющие собой сформированные в волокне участки с периодическим изменением показателя преломления. Особенностью таких решеток является то, что в зависимости от величины периода происходит отражение на одной определенной длине волны, а для других длин волн решетка будет прозрачной. Так, для длины волны излучения  $\lambda_{BG} = 1550$  нм; длины решетки 5 мм; амплитуды модуляции наведенного показателя преломления для ВРБ  $7,5 \cdot 10^{-4}$ ; диаметра сердцевинки волокна 9 мкм; среднего показателя преломления сердцевинки 1,468; показателя преломления оболочки оптического волокна 1,4638; ширина спектра отражения ВРБ составляла 0,6 нм по основанию, а коэффициент отражения на резонансной длине волны равнялся 0,97. При этом затухание соседних с центральным лепестков составляет около 10 дБ. В результате, комбинация перестраиваемого кольцевого лазера и волоконного световода, в котором сформированы волоконные решетки Брэгга с различными периодами, позволяет получать информацию от более чем 20 точек измерения вдоль одного волоконно-оптического тракта.

1. Ксенофонтов М.А., Поляков А.В. Устройство измерения концентрации кислорода // Фотоника. – 2010. – №4. – С. 44–48.
2. Поляков А.В. Волоконно-оптическая система скважинной термометрии рециркуляционного типа // Известия Вузов. Приборостроение. – 2012. – Т.55, №9. – С.84–90.
3. Shilong Pan, Xiaofan Zhao, and Caiyun Lou Switchable single-longitudinal-mode dual-wavelength erbium-doped fiber ring laser incorporating a semiconductor optical amplifier // Optics Letters. – 2008. – Vol. 33, № 8. – 764–766.