

07

Новый перестраиваемый оптический аттенюатор и датчик температуры на волоконном кольцевом зеркале с двойным лучепреломлением

© И. Ян, Кв. Жао, С. Чен, Л. Лиу, Х. Жанг, Кс. Донг

Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China
E-mail: vanyu@mail.nankai.edu.cn

В окончательной редакции 15 октября 2004 г.

Предложен оригинальный перестраиваемый оптический аттенюатор, содержащий зеркало в виде петли волокна с высоким двулучепреломлением. Волоконное зеркало помещается в камеру с контролируемой температурой. При увеличении температуры спектр пропускания смещается, практически не изменяя своей формы. На длине волны 1558 nm затухание составляет более 30 dB, при этом вносимые потери около 2.5 dB. Между тем, сдвиг спектра с температурой строго линеен. Исходя из этого же принципа, мы предлагаем датчик температуры с линейностью 0.9997. Полученные экспериментальные результаты объясняются на основе численного моделирования.

1. Введение. Перестраиваемый оптический аттенюатор (ПОА) является важным элементом оптических систем связи и обычно используется для поглощения или отражения фоновой световой энергии. ПОА часто применяются также для регулирования уровня оптической мощности в каналах линий оптической связи со спектральным уплотнением, как в коротких, так и в протяженных, для оценки потерь в системе и для решения других задач. Для этих целей в последние годы предлагались различные типы ПОА: акустооптические [1], термооптические [2], микроэлектромеханические [3–5] или выполненные на основе волноводов кремний-на-окисле [6].

В данной работе мы обсуждаем конструкцию и рабочие параметры нового типа ПОА, в котором используется зеркало в виде петли оптического волокна с высоким двулучепреломлением. Мы наблюдали смещение спектра пропускания такого элемента при изменении температуры волокна и измерили характеристики затухания на заданной длине

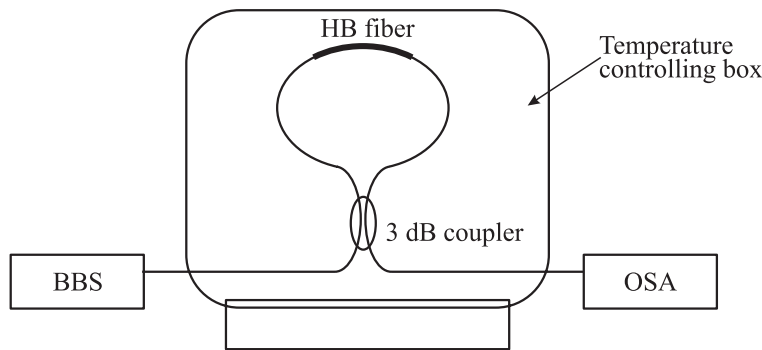


Рис. 1. Схематическое изображение ПОА.

волны, показав тем самым хорошие возможности его практического применения. Такой ПОА обладает многими преимуществами, такими как широкая полоса затухания, независимость от поляризации, низкие вносимые потери, простота исполнения и хорошая воспроизводимость. Мы также установили, что смещение рабочей длины волны строго линейно с температурой (коэффициент линейной корреляции достигает 0.9997). Регистрируя сдвиг максимума спектра пропускания, можно легко измерить температуру. При изменении температуры от 20 до 65°C пик пропускания смещается примерно на 20 nm. Наконец, наши экспериментальные результаты хорошо согласуются с результатами численного моделирования.

2. Принцип действия и экспериментальная установка. Конструкция исследуемого ПОА представлена на рис. 1. Атенюатор содержит зеркало в виде петли оптического волокна, в которое вставлен отрезок волокна с высоким двулучепреломлением. Кратко принцип действия такого устройства может быть описан следующим образом. Свет на входе разделяется волоконным 3 dB ответвителем на две волны, которые распространяются в волоконной петле в противоположных направлениях и имеют различные поляризационные компоненты. Эти волны проходят сквозь двулучепреломляющий отрезок волокна с разными скоростями. При этом поляризация волн изменяется и они интерферируют на выходе. Пусть L есть длина активного участка волокна, а B — разность эффективных коэффициентов преломления „быстрой“ и „медленной“ волн. В соответствии с вышеприведенными

рассуждениями можно получить следующее выражение для коэффициента прохождения [7]

$$T = [1 - \cos \Delta\Phi(\lambda)]/2, \quad (1)$$

где $\Delta\Phi = 2\pi VL/\lambda$ — результирующая разность фаз между быстрой и медленной компонентами. Таким образом, спектр пропускания описывается функцией косинуса, в аргумент которой входит разность фаз, зависящая от длины волны, длины L и разности коэффициентов преломления V .

В эксперименте период биений в двулучепреломляющем волокне составляет 3.1 mm на длине волны 1558 nm. Чтобы обеспечить необходимую точность, использовался отрезок двулучепреломляющего волокна длиной 24.4 cm. Сигнал на вход поступал от широкополосного источника света, работающего в диапазоне от 1525 до 1565 nm; для регистрации спектра излучения на выходе использовался анализатор спектра ADVANTEST Q8383. Волоконная петля помещалась в камеру с контролируемой температурой, точность измерения температуры составляла 0.1°C. Как следует из формулы (1), $\Delta\Phi$ может изменяться за счет изменения температуры, вызывающего смещение спектра пропускания и изменение оптических потерь на длине волны 1.55 μm .

3. Экспериментальные результаты. На рис. 2 представлены спектры пропускания ПОА, полученные при увеличении температуры от 26 до 43°C. Как видно на этом рисунке, спектр пропускания смещается при увеличении температуры. Видно также, что на длине волны 1558 nm максимальная величина пропускания составляет -2.5 dB при 26°C, а при 43°C она равна -37.5 dB. Таким образом, изменение потерь составляет 35 dB. В эксперименте мы наблюдали, что период модуляции спектра пропускания изменяется весьма незначительно. Вносимые потери системы составляют 2.5 dB, в основном за счет потерь на соединении волокон. Улучшая технологию соединения, можно уменьшить вносимые потери.

Характеристика затухания данного ПОА, полученная в диапазоне 1.55 μm показана на рис. 3. Из этого рисунка видно, что ПОА имеет достаточно хорошие характеристики. Регулируя температуру с точностью до 0.1°C, можно эффективно контролировать затухание на заданной длине волны.

Поскольку спектр пропускания изменяется при варьировании $\Delta\Phi$, для нас представляет интерес взаимосвязь между смещением длины волны и температурой. Эта зависимость приведена на рис. 4. На этом

** ADVANTEST Q8383 Optical Spectrum Analyzer ** 2003-10-14 08:47:

TRANS Pk: 1.534300 μm -7.56 dB AVG: 1 RES: 0.1 nm NORMAL.

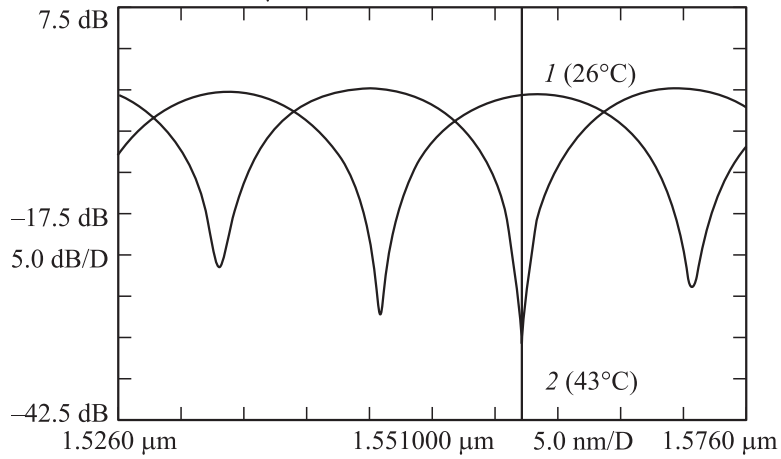


Рис. 2. Смещение спектра пропускания ПОА при изменении температуры от 26°C (1) до 43°C (2).

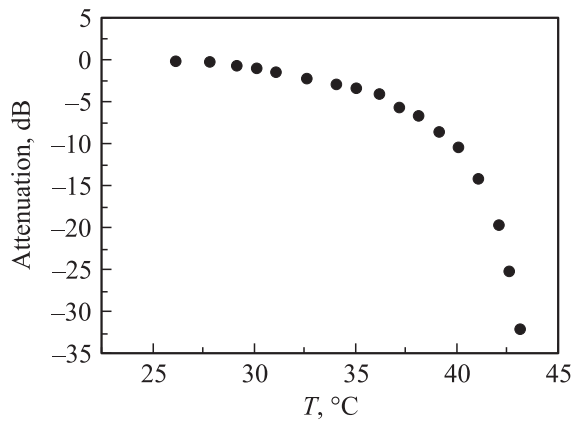


Рис. 3. Характеристики затухания ПОА.

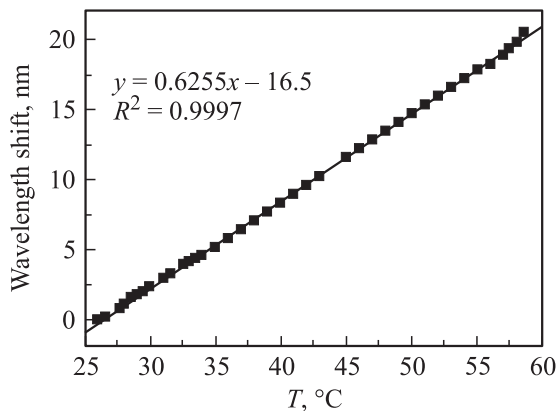


Рис. 4. Смещение длины волны пропускания при изменении температуры.

рисунке видно, что смещение длины волны линейно с температурой и коэффициент линейной корреляции составляет 0.9997. Заметим, что данный ПОА работает в широком диапазоне длин волн в районе $1.55 \mu\text{m}$ и имеет хорошие характеристики пропускания. Более того, благодаря линейному коэффициенту корреляции, данный ПОА также может использоваться как датчик температуры. При изменении температуры от 25 до 60°C происходит смещение максимума спектра пропускания на $\sim 20 \text{ nm}$, с температурным коэффициентом $0.6255 \text{ nm}/^\circ\text{C}$. Такой датчик имеет хорошую линейность и может работать в широком диапазоне температур. Более того, многократно анализируя спектр пропускания, было установлено, что данное устройство имеет высокую стабильность, обеспечивающую его потенциальные возможности в дальнейших применениях.

4. Численное моделирование. На рис. 5 представлены результаты численного моделирования описанного выше эксперимента. Согласно экспериментальным данным и формуле (1), имеются два фактора, вызывающие смещение спектра пропускания аттенюатора при изменении температуры. Во-первых, длина волокна L увеличивается с ростом температуры. Коэффициент теплового расширения волоконного световода равен $10^{-6} \text{ m}/^\circ\text{C}$. Во-вторых, разность коэффициентов преломления между быстрой и медленной волнами B также меняется при нагреве волокна. Это вызвано эллиптической деформацией волокна.

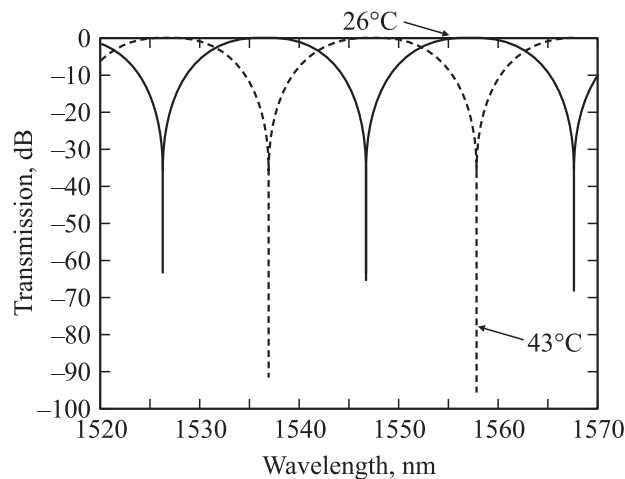


Рис. 5. Спектры пропускания, рассчитанные при температурах 26 и 43°C ($L = 24.2$ cm).

Согласно экспериментальным данным, спектр пропускания смещается в сторону меньших длин волн, между тем как длина световода увеличивается. Теоретически разность коэффициентов преломления должна уменьшаться на величину порядка $\sim 10^{-6}$. Для полного объяснения экспериментальных результатов необходимо провести теоретическое рассмотрение на основе более точной модели.

5. Заключение. В данной работе продемонстрирован оригинальный ПОА, в котором используется зеркало на основе петли оптического волокна с двойным лучепреломлением. Данный прибор имеет много преимуществ, таких как широкий диапазон затухания, независимость от поляризации, низкие вносимые потери, простота исполнения, хорошая воспроизводимость и т.д. Мы также показали возможность создания на этой основе датчика температуры с высокой степенью линейности. Представлена модель, которая позволяет объяснить результаты эксперимента.

Данное исследование поддержано Национальным фондом естественных наук Китая (№ 69977006), Специальным национальным фондом наук г. Тяньжин (№ 013800511) и фондом поддержки докторских программ министерства образования (№ 20020055036).

Список литературы

- [1] *Li Q., Au A.A., Lin C.H., Lyons E.R.* et al. // IEEE Photon. Technol. Lett. 2002. V. 14. P. 1563.
- [2] *Akkari F.R., Cazzini K.H., Blau W.* // J. Non-Cryst. Solids. 1995. V. 187. P. 494.
- [3] *Zhang X.M., Liu A.Q., Lu C.* et al. // Electron. Lett. 2002. V. 38. P. 382.
- [4] *Dai X.H., Zhao X.L., Li W.J.* et al. // Proc. SPIE. 2001. V. 4601. P. 97.
- [5] *Anderson B.M., Fairchild S., Thorsten N.* et al. // Conference on Optical Fiber Communication, Technical Digest Series. 2000. V. 10. P. 260.
- [6] *Vonsovici A., Day I.E., House A.A.* et al. // Proc. SPIE. 2001. V. 4293. P. 1.
- [7] *Yang S., Meng H., Yuan S.* et al. // Chinese Journal of Lasers. 2001. V. 10. P. 868.