

Узкополосные брэгговские фильтры для 1,5 мкм на основе одномодовых кварцевых волокон с боковой полировкой

В.И. Соколов, А.И. Худобенко

Созданы узкополосные отражающие фильтры для телекоммуникационного диапазона длин волн 1,5 мкм, включающие одномодовое кварцевое волокно с боковой полировкой и периодическую рельефную Брэгговскую решетку, расположенную в области распространения моды волокна. Фильтры имеют коэффициент отражения $R > 98\%$ и близкую к прямоугольной форму полосы отражения шириной 0,58 – 0,78 нм. Фильтры могут быть использованы в качестве элементов оптических мультиплексоров/демультиплексоров для объединения и разделения сигналов в высокоскоростных многоканальных волоконно-оптических линиях связи.

Созданию узкополосных отражающих фильтров на основе одномодовых оптических волокон с боковой полировкой и периодических рельефных решеток посвящены работы [1 – 6]. Такие фильтры используют эффект резонансного Брэгговского отражения световой моды волокна от решетки, расположенной на сполитрованной поверхности, в направлении, обратном направлению распространения моды. При этом Брэгговская длина волны, соответствующая центру полосы отражения, задается формулой $\lambda_{Br} = 2dn_{eff}$, где d — период решетки, n_{eff} — эффективный показатель преломления волокна в области решетки, а ширина и форма полосы отражения определяются амплитудой коэффициента связи моды с решеткой и характером его спада при удалении от центра сполитрованной области. В работах [1 – 6] сообщалось о создании Брэгговских фильтров для диапазонов длин волн 0,8; 1,3 и 1,5 мкм, имеющих коэффициент отражения не более 92% и полосу отражения непрямоугольной формы с острой вершиной.

Целью данной работы являлось создание узкополосных Брэгговских фильтров на основе одномодовых кварцевых волокон с боковой полировкой и периодических рельефных решеток для телекоммуникационной области длин волн 1,5 мкм, имеющих коэффициент отражения более 98% и близкую к прямоугольной форму полосы отражения. Такие

фильтры могут найти применение для объединения и разделения световых сигналов в высокоскоростных Волоконно-Оптических Линиях Связи (ВОЛС), использующих технологию плотного волнового мультиплексирования. Эта технология предусматривает передачу через одно одномодовое волокно одновременно нескольких оптических каналов с расстоянием между несущими 200, 100 и 50 ГГц и скоростями передачи данных до 10-40 Гбит/с на канал. Схема фильтра приведена на рис. 1.

Для изготовления волокон с боковой полировкой использовалась технология, описанная в работах [5, 7, 8]. В кварцевом блоке с помощью алмазной дисковой пилы пропиливались канавки с радиусом

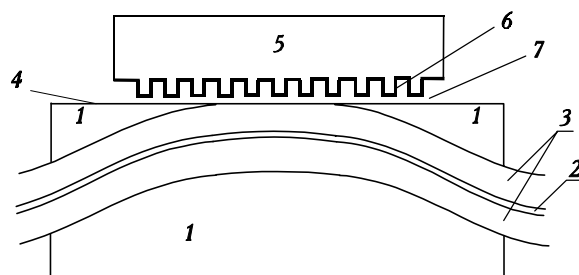


Рис. 1. Схема Брэгговского фильтра. 1 — кварцевый блок, 2 — световедущая жила, 3 — оболочка волокна, 4 — плоскость полировки, 5 — кварцевая подложка, 6 — рельефная решетка, 7 — иммерсионная жидкость.

кривизны 0,8 м, шириной 130-140 мкм и глубиной 150 мкм. Стандартное одномодовое на длине волны 1,5 мкм кварцевое волокно с числовой апертурой 0,13, имеющее внешний диаметр 125 мкм, освобожденное от полимерной оболочки и клеивалось в канавку с использованием эпоксидного клея. В одном блоке размещалось до восьми волокон на расстоянии 0,5 мм между их центрами. Сборка блок/волокно шлифовалась алмазным кругом с размером зерна 2-3 мкм до проникновения в область распространения моды волокна. Точная полировка поверхности сборки до оптического качества проводилась вручную на полировальнике. Контроль расстояния от плоскости полировки до световедущей жилы осуществлялся по измерению затухания проходящего по волокну 1,3 мкм излучения диодного лазера при нанесении на сполитованный участок жидкостей с различным показателем преломления, как описано в работе [5]. Глубина полировки выбиралась так, чтобы максимально приблизиться к световедущей жиле, не задев ее.

Брэгговские решетки изготавливались на кварцевых подложках литографически методом ионно-лучевого травления через маску. Кварцевые под-

ложки были выбраны потому, что они имели показатель преломления близкий к показателю преломления оболочки волокна. Это предотвращало утечки света в подложку при прижатии решетки к сполитованному участку. Решетки имели период $d \approx 0,53$ мкм, амплитуду 0,16 мкм и прямоугольную форму зубцов. Для увеличения коэффициента связи моды волокна с решеткой на боковую поверхность зубцов наносилась пленка GaAs (показатель преломления 3,2) толщиной 0,02-0,04 мкм. Осаждение пленки проводилось методом лазерного плазменного напыления под скользящим углом. Приведенные ниже в данной работе экспериментальные результаты получены с двумя решетками: № 1 и № 2, причем решетка № 2 имела несколько меньший период, но большую толщину слоя GaAs.

Для измерения спектральных характеристик Брэгговских фильтров использовался одночастотный перестраиваемый полупроводниковый лазер. Спектры отражения и пропускания приведены на рис. 2, 3. Как видно из рис. 2, полученного с решеткой № 1, ширина полосы отражения фильтра по уровню 0,5 равна $\Delta\lambda = 0,58$ нм, а коэффициент отражения на Брэгговской длине волны $\lambda_{Br} = 1551,6$ нм составляет

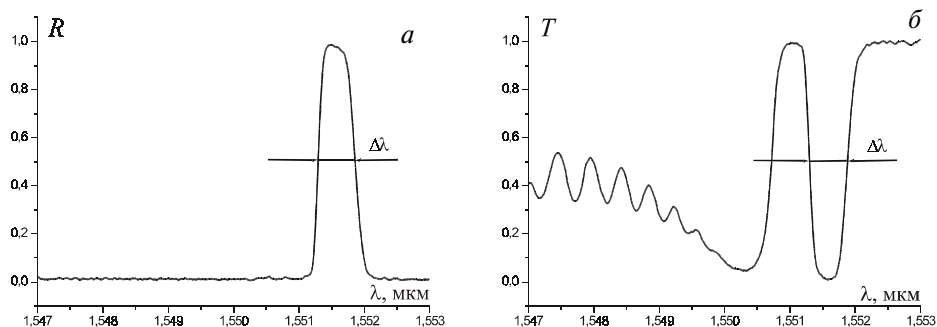


Рис. 2. Коэффициент отражения R (а) и пропускания T (б) Брэгговского фильтра с решеткой № 1 (период $d \approx 0,53$ мкм, амплитуда 0,16 мкм) от длины волны света λ . Иммерсионная жидкость — пропанол. Ширина спектров отражения и пропускания по уровню 0,5 составляет $\Delta\lambda = 0,58$ нм.

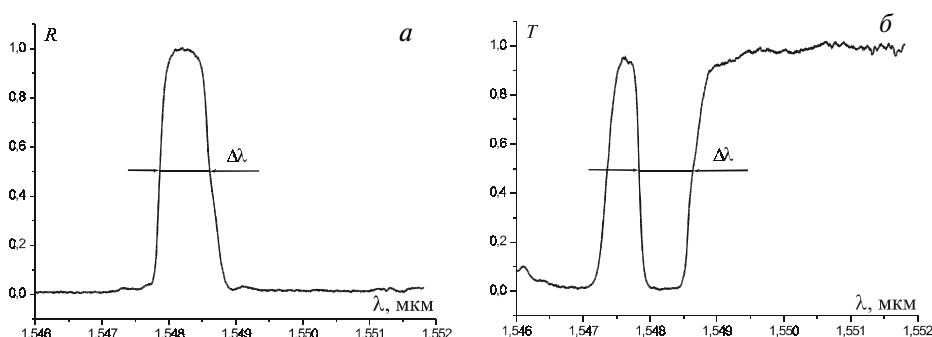


Рис. 3. Коэффициент отражения R (а) и пропускания T (б) Брэгговского фильтра с решеткой № 2 (период $d \approx 0,53$ мкм, амплитуда 0,16 мкм) от длины волны света λ . Иммерсионная жидкость — дистиллированная вода. Ширина спектров отражения и пропускания по уровню 0,5 составляет $\Delta\lambda = 0,78$ нм.

$R > 98\%$. Соответствующий провал в спектре пропускания имеет такую же ширину, а коэффициент пропускания при $\lambda = \lambda_{\text{Br}}$ составляет $T < 2\%$. Фильтр имеет близкую к прямоугольной форму полосы отражения без боковых лепестков со слегка скошенной вершиной. Отсутствие боковых лепестков обусловлено плавным уменьшением коэффициента связи по мере удаления от центра сполитованного участка за счет изгиба волокна в канавке. Высокий коэффициент отражения обеспечивается большой амплитудой коэффициента связи и значительной длиной взаимодействия моды с решеткой, которая составляла около 3 мм. Значительные потери в пропускании при $\lambda < 1550,8$ нм на рис.2б связаны с рассеянием направляемой моды волокна в радиационные моды вследствие бокового расположения решетки относительно световедущей жилы [9]. Осциллирующий характер этих потерь обусловлен отражением и интерференцией радиационных мод от внешней границы оболочки волокна [10].

Использование решетки № 2, обладающей большим, чем решетка № 1, коэффициентом связи, приводило к расширению полосы отражения до $\Delta\lambda = 0,78$ нм (см. рис.3). При этом коэффициент отражения при $\lambda = \lambda_{\text{Br}} = 1548,2$ нм составлял $R > 99\%$, однако в спектре отражения появлялись небольшие боковые пики. Соответствующие провалы, положение и амплитуда которых совпадали с положением и амплитудой боковых пиков в спектре отражения, наблюдались в спектре пропускания. Появление дополнительных пиков мы связываем с пространственной модуляцией эффективного показателя преломления волокна в области решетки вследствие неидеального оптического контакта решетки с волокном. Это подтверждается тем, что относительная амплитуда боковых пиков уменьшалась по мере увеличения показателя преломления иммерсионной жидкости.

Созданы узкополосные отражающие Брэгговские фильтры для телекоммуникационного диапазона длин волн 1,5 мкм, включающие одномодовое

кварцевое волокно с боковой полировкой и периодическую рельефную решетку, расположенную в области распространения моды волокна. Фильтры имеют коэффициент отражения $R > 98\%$ и близкую к прямоугольной форму полосы отражения шириной 0,58-0,78 нм. Дальнейшее увеличение коэффициента отражения и расширение полосы отражения может быть достигнуто путем увеличения коэффициента связи моды волокна с решеткой, например за счет увеличения глубины решетки. Узкополосные Брэгговские фильтры с прямоугольной формой полосы отражения могут быть использованы в качестве элементов оптических мультиплексоров/демультиплексоров для объединения и разделения сигналов в высокоскоростных многоканальных ВОЛС.

Авторы благодарят О.И. Баум, А.Н. Жерихина, Г.В. Мишакова и В.Я. Панченко за полезные обсуждения и помощь в изготовлении элементов фильтров. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 02-02-16929 и гранта SFP-973686 международной программы "Наука во имя мира".

Литература

1. Sorin W.V., Shaw H.J. J. of Lightwave Technology, **3**, 1041 (1985).
2. Bennion I., Reid D.C.J., Rowe C.J., Stewart W.J. Electronics Letters, **22**, 341 (1986).
3. Свахин А.С., Сычугов В.А. ЖТФ, **57**, в. 6, 1191 (1987).
4. Sorin W.V., Zorabedian P., Newton S.A. J. of Lightwave Technology, **5**, 1199 (1987).
5. Климов М.С., Свахин А.С., Сычугов В.А. В сб. Труды ИОФАН, **34** (М., Наука, 1991, с.147).
6. Lin X.-Z., Zhang Y., An H.-L., Liu H.-D. Electronics Letters, **30**, 887 (1994).
7. Andreev A., Zafirova B., Panajotov K., Koprinarova J. J. of Modern Optics, **43**, 1111 (1996).
8. Mishakov G.V., Sokolov V.I. In: Proc. SPIE, **4644**, 498 (2001).
9. Erdogan T. J. of Lightwave Technology, **15**, 1277 (1997).
10. Mizrahi V., Sipe J.E. J. of Lightwave Technology, **11**, 1513 (1993).