

Узкополосные брэгговские фильтры для спектральной области 1.5 мкм на основе одномодовых кварцевых волокон с боковой полировкой

В.И.Соколов, А.И.Худобенко

Созданы узкополосные отражающие фильтры для телекоммуникационной области длин волн вблизи 1.5 мкм, состоящие из одномодового кварцевого волокна с боковой полировкой и периодической рельефной брэгговской решетки, расположенной в области распространения моды волокна. Фильтры имеют коэффициент отражения $R > 98\%$ и близкую к прямоугольной форму полосы отражения шириной 0.58–0.78 нм. Они могут быть использованы в качестве элементов оптических мультиплексоров/демультиплексоров для объединения и разделения сигналов в высокоскоростных многоканальных волоконно-оптических линиях связи.

Ключевые слова: узкополосные фильтры, брэгговские решетки.

Созданию узкополосных отражающих фильтров на основе одномодовых оптических волокон с боковой полировкой и периодических рельефных решеток посвящены работы [1–6]. В таких фильтрах используется 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 уменьшения при удалении от центра сполитрованной области. В работах [1–6] сообщалось о создании брэгговских фильтров для диапазонов длин волн вблизи 0.8, 1.3 и 1.5 мкм с коэффициентом отражения не более 92% и полосой отражения непрямоугольной формы с острой вершиной.

Цель данной работы – создание узкополосных брэгговских фильтров на основе одномодовых кварцевых волокон с боковой полировкой и периодических рельефных решеток для телекоммуникационной области длин волн 1.5 мкм с коэффициентом отражения более 98% и близкой к прямоугольной формой полосы отражения. Такие фильтры могут найти применение для объединения и разделения световых сигналов в высокоскоростных волоконно-оптических линиях связи, использующих технологию плотного волнового мультиплексирования. Эта технология предусматривает передачу через одно одномодовое волокно одновременно нескольких оптических каналов с интервалом между несущими частотами 200, 100 и 50 ГГц и скоростями передачи данных до 10–40 Гбит/с на один канал. Схема фильтра приведена на рис.1.

В.И.Соколов, А.И.Худобенко. Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН, Россия, 142190 Троицк, Московская обл., ул. Пионерская, 2;
e-mail: sokolov@laser.ru, kai@omega.laser.ru

Поступила в редакцию 6 ноября 2002 г.

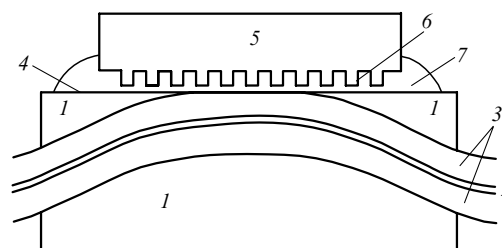


Рис.1. Схема брэгговского фильтра:

1 – кварцевый блок; 2 – световедущая жила; 3 – оболочка волокна; 4 – плоскость полировки; 5 – кварцевая подложка; 6 – рельефная решетка; 7 – иммерсионная жидкость.

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 кривизны 0.8 м, шириной 130–140 мкм и глубиной 150 мкм. Стандартное одномодовое на длине волны $\lambda = 1.5$ мкм кварцевое волокно с числовой апертурой 0.13, имеющее внешний диаметр 125 мкм, освобождалось от полимерной оболочки и клеилось в канавку при помощи 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 излучения диодного лазера с $\lambda = 1.3$ мкм при нанесении на сполитрованный 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 подложки были вы-

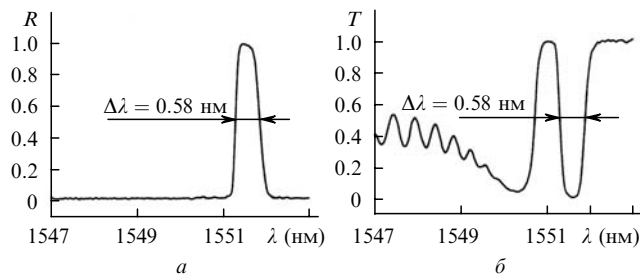


Рис.2. Зависимости коэффициентов отражения R (а) и пропускания T (б) брэгговского фильтра с решеткой 1 (период $d \approx 0.53$ мкм, амплитуда 0.16 мкм) от длины волны света λ . Иммерсионная жидкость – пропанол.

браны потому, что их показатель преломления близок к показателю преломления оболочки волокна. Это предотвращало утечку света в подложку при прижатии решетки к сполированному участку. Решетки имели период $d \approx 0.53$ мкм, амплитуду 0.16 мкм и прямоугольную форму штрихов. Для увеличения коэффициента связи моды волокна с решеткой на боковую поверхность штрихов 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 экспериментальные результаты получены на двух решетках – 1 и 2, причем решетка 2 имела несколько меньший период, но бóльшую толщину слоя GaAs.

Для измерения спектральных характеристик брэгговских фильтров использовался одночастотный перестраиваемый полупроводниковый лазер. Спектры отражения и пропускания приведены на рис.2 и 3. Из зависимостей на рис.2, полученных с использованием решетки 1, видно, что ширина $\Delta\lambda$ полосы отражения фильтра по уровню 0.5 равна 0.58 нм, а коэффициент отражения R на брэгговской длине волны $\lambda_{Br} = 1551.6$ нм больше 98% . Соответствующий провал в спектре пропускания имеет такую же ширину, а коэффициент пропускания T на λ_{Br} составляет менее 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 сполированного 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. Существенные потери в пропускании для $\lambda < 1550.8$ нм (рис.2,б) 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 с бóльшим, чем у решетки 1, коэффициентом связи, приводило к расширению полосы отражения до $\Delta\lambda = 0.78$ нм (рис.3). При этом коэффициент отражения на $\lambda_{Br} = 1548.2$ нм превышал 99% , однако в спектре отражения появлялись небольшие боковые пики. Соответствующие провалы, положение и амплитуда которых совпадали с положением и амплитудой

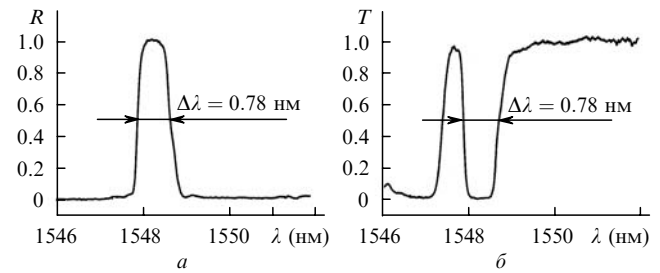


Рис.3. Зависимости коэффициентов отражения R (а) и пропускания T (б) брэгговского фильтра с решеткой 2 (период $d \approx 0.53$ мкм, амплитуда 0.16 мкм) от длины волны света λ . Иммерсионная жидкость – дистиллированная вода.

дой 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.

Таким образом, созданные узкополосные отражающие брэгговские фильтры для телекоммуникационного диапазона длин волн вблизи 1.5 мкм на основе однодого кварцевого волокна с боковой полировкой и периодической рельефной решетки 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 волоконно-оптических линиях связи.

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 SiP-973686 международной программы «Наука во имя мира».

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