

07;12

Мультиплексор/демультиплексор для техники спектрального уплотнения CWDM

© В.К. Сахаров, Л.П. Прокофьева, В.В. Щербаков

ЗАО „Центр–ВОСПИ“, Москва

E-mail: center-vospi@mtu-net.ru

Поступило в Редакцию 16 апреля 2003 г.

В окончательной редакции 7 июля 2003 г.

Повышение пропускной способности существующих и вновь создаваемых оптических линий и сетей связи (обмена данными) связано с использованием спектрального уплотнения. Необходимыми устройствами в технике спектрального уплотнения являются оптические мультиплексоры и демультиплексоры — для объединения нескольких оптических несущих в одном оптоволоконном тракте и для выполнения обратной функции. Представляется мультиплексор/демультиплексор, изготовленный на основе сплавных одномодовых разветвителей.

1. Введение. В настоящее время технология изготовления одномодовых сплавных разветвителей достаточно хорошо отработана и на ее основе изготавливают волоконные разветвители самого разного функционального назначения [1,2]. Данная работа посвящена вопросу использования разветвителей в устройствах для спектрального уплотнения.

Известно, что наибольшая эффективность спектрального уплотнения в современных системах связи и обмена данными на одномодовых световодах обеспечивается техникой DWDM — dense wavelength-division multiplexing. Интервал между каналами составляет 3.2; 1.6 и 0.8 nm (400, 200 или 100 GHz) и даже меньше. Элементную базу составляют стабилизированные по частоте полупроводниковые лазеры, оптические мультиплексоры и демультиплексоры, переключатели, кросс-коннекторы, циркуляторы и многие другие устройства; в случае протяженных линий применяются оптические усилители — волоконные, полупроводниковые и рамановские. Использование тех-

ники DWDM связано технологической сложностью комплектующих устройств и соответственно их значительной стоимостью.

Альтернативу технике DWDM предоставляет техника спектрального уплотнения CWDM — *course wavelength-division multiplexing*. Здесь интервал между каналами больше, обычно 20 nm, пропускная способность меньше, но технические требования к используемым устройствам существенно ниже. Например, могут быть использованы более простые и дешевые полупроводниковые лазеры.

Предметом рассмотрения настоящей работы являются мультиплексоры и демultipлексоры CWDM — устройства для объединения нескольких оптических несущих и для выполнения обратной операции, т. е. выделения и разведения несущих.

Изготовление оптических мультиплексоров/демultipлексоров возможно [3] на основе таких оптических устройств, как тонкопленочные интерференционные фильтры, дифракционные решетки, световоды с брэгговской решеткой, световолоконные упорядоченные жгуты (AWG — *arrayed waveguide grating*) и др. Возможность использования одномодовых волоконных разветвителей для объединения и разделения более чем двух длин волн в общих чертах обсуждалась еще в работе [4], однако, на наш взгляд, этот вопрос требует дополнительного освещения.

2. Разветвитель-мультиплексор. Одномодовые сплавные разветвители типа „ 2×2 “ получают с помощью вытягивания и сплавления в зоне нагрева двух кварцевых световодов. В результате формируется рабочая область разветвителя — ограниченная с двух сторон плавными коническими переходами общая суженная зона. Рабочая область разветвителя „упаковывается“ в защитный корпус, световоды-выводы с двух сторон разветвителя используются для ввода и вывода излучения.

Для контроля процесса изготовления простого разветвителя, используемого как делитель/сумматор оптической мощности, в один из световодов заводится излучение лазерного диода на выбранной длине волны, а на двух выводах измеряется мощность излучения. Технологический процесс останавливается в момент достижения заданного отношения мощности на выходах. Коэффициенты ответвления при этом слабо зависят от длины волны и в интервале 30 ÷ 40 nm практически постоянны.

Если растяжение и сплавление световодов продолжить дальше, то можно наблюдать процесс периодической перекачки оптической мощности излучения из одного выходного порта в другой. Спектраль-

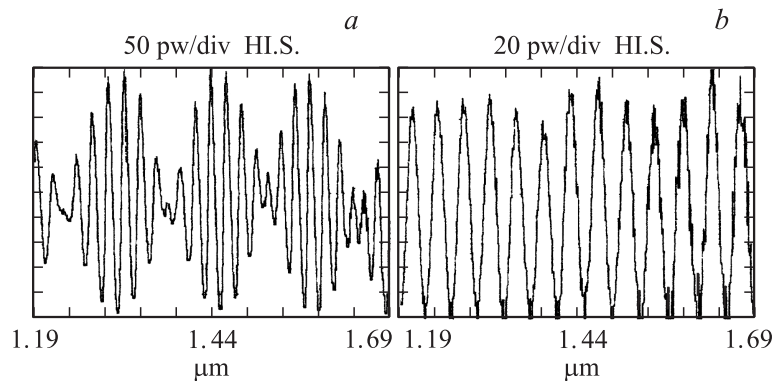


Рис. 1. Спектры излучения на выходах разветвителей на основе: *a* — световода $\Delta n/n \approx 3 \cdot 10^{-3}$, *b* — световода $\Delta n/n \approx 10^{-2}$.

ные свойства разветвителя становятся значительно более выраженными — коэффициенты ответвления представляют собой осциллирующие функции при изменении длины волны излучения. Такие разветвители называют мультиплексорами, или разветвителями WDM. Механизм возникновения спектральных осцилляций и их период определяются связью распространяющихся и взаимодействующих мод в рабочей области разветвителя [5].

Для изготовления разветвителей-мультиплексоров использовалась установка с графитовым нагревателем [6], обеспечивающая температуру сплавления порядка $19\,000^\circ\text{C}$; для контроля и измерений спектральных характеристик применялись широкополосный источник излучения — лампа накаливания, и оптический спектрометр Anritsu-4008.

В технологии изготовления разветвителей-мультиплексоров имеются трудности, связанные с тем, что спектры коэффициентов ответвления не всегда имеют вид осциллирующей функции, экстремумы которой достигают значений, близких 0 и 1, что соответствует полной перекачке излучения в какой-либо один порт. На рис. 1, *a* приведен спектр излучения на выходе разветвителя, изготовленного из одномодового световода SM-28 со значением скачка показателя преломления на границе сердцевина-оболочка $\Delta n/n \approx 3 \cdot 10^{-3}$, а на рис. 1, *b* — спектр разветвителя на основе специально изготовленного одномодового све-

товода со скачком показателя преломления $\Delta n/n \approx 10^{-2}$. Как можно видеть, в первом случае существенная перекачка излучения из одного выходного порта в другой возможна лишь в некоторых узких спектральных областях, в то время как во втором случае возможна полная перекачка во всем спектральном диапазоне от 1.2 до 1.7 μm .

Спектр на рис. 1, *a* представляет собой синусоидальную функцию с малым периодом $\Delta\lambda \approx 24 \text{ nm}$, дополнительно промодулированную функцией с большим периодом $\Delta\Lambda \approx 150 \text{ nm}$. Спектр имеет вид биений двух колебаний с разностной частотой, соответствующей периоду $\Delta\Lambda$; его можно интерпретировать [7] как наложение спектров двух коэффициентов ответвления, соответствующих процессам перекачки волн с двумя ортогонально-ориентированными поляризациями, что, в свою очередь, является следствием двулучепреломления в рабочей зоне разветвителя.

В спектре на рис. 1, *b* дополнительная модуляция практически отсутствует — результат действия двулучепреломления не проявляется. Таким образом, для изготовления разветвителей-мультиплексоров предпочтительны не стандартные одномодовые световоды, а световоды с высоким значением скачка показателя преломления $\Delta n/n$.

Особенностью нестандартных световодов являлось то, что диаметр их сердцевин меньше диаметра сердцевин серийных одномодовых световодов (соответственно 7 и 10 μm). Это могло бы быть причиной больших дополнительных оптических потерь при встраивании разветвителей-мультиплексоров и устройств на их основе в линии на стандартных световодах, но, как будет видно ниже, эти потери весьма невелики.

Специфика изготовления разветвителей-мультиплексоров заключается в необходимости точной подстройки периода и фазы спектров на задаваемом ряде значений длин волн. Для рассматриваемого ниже 4-канального мультиплексора/демультиплексора требовались разветвители с периодом осцилляции в спектрах 40 и 80 nm и положением экстремумов на задаваемых номиналах длин волн с отклонениями не более $\pm 3 \text{ nm}$, суммарные потери 0.2 ÷ 0.5 dB, величина изоляции между каналами 20 ÷ 30 dB.

3. Конструкция мультиплексора/демультиплексора CWDM. Четырехканальный мультиплексор/демультиплексор с интервалом между каналами $\Delta\lambda = 20 \text{ nm}$ выполнен каскадированием трех разветвителей, световоды-выводы состыкованы с помощью сварных соединений, все

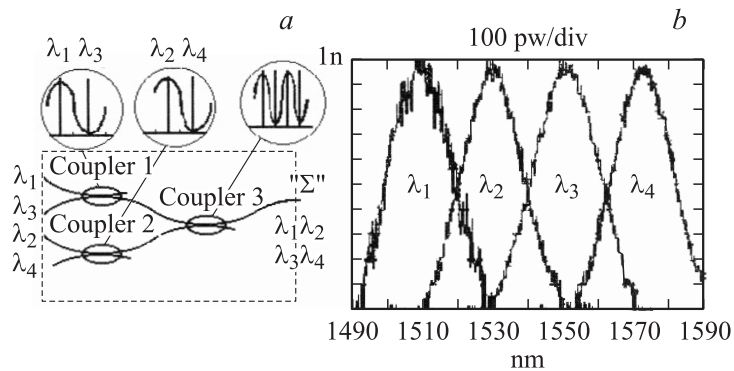


Рис. 2. Схема 4-канального мультиплексора/демультиплексора (а) и его спектральные характеристики (b).

устройство размещено в корпусе $10 \times 52 \times 112$ mm и залито эластомером. Номинальные значения длин волн каналов: $\lambda_1 = 1510$ nm, $\lambda_2 = 1530$ nm, $\lambda_3 = 1550$ nm и $\lambda_4 = 1570$ nm. Оптическая схема устройства приведена на рис. 2, а.

Экстремумы в спектрах коэффициентов ответвления для разветвителя 1 приходятся на длины волн λ_1 и λ_3 , а для разветвителя 2 соответственно на длины волн λ_2 и λ_4 (спектры разветвителей показаны на выносках). Таким образом, спектры коэффициентов передачи этих разветвителей имеют одинаковый период осцилляции, но сдвинуты относительно друг друга на четверть периода, т.е. на 20 nm. Разветвитель 3 имеет период осцилляции на спектрограммах в два раза меньший, его экстремумы находятся на длинах волн λ_1 , λ_2 , λ_3 и λ_4 .

Благодаря спектральным характеристикам разветвителей осуществляется функционирование данного устройства как мультиплексора — при подаче волн λ_1 и λ_3 на входы разветвителя 1 и волн λ_2 и λ_4 на входы разветвителя 2, волны парами $\{\lambda_1, \lambda_3\}$ и $\{\lambda_2, \lambda_4\}$ приходят к разветвителю 3, а после его прохода все волны оказываются на одном выводе „Σ“.

Нетрудно видеть, что это же устройство при обратном ходе излучения работает как демультиплексор — поданные на вывод „Σ“ четыре волны λ_1 , λ_2 , λ_3 и λ_4 после прохода через разветвитель 3 сначала разойдутся парами $\{\lambda_1, \lambda_3\}$ и $\{\lambda_2, \lambda_4\}$ на двух его выводах, а затем

после прохождения разветвителей 1 и 2 каждая волна выйдет на один из четырех выводов. Устройство может также работать одновременно как мультиплексор и демультиплексор, например, две волны λ_1 и λ_2 вводятся в линию, а две другие λ_3 и λ_4 , приходящие с дальнего конца линии, отводятся к фотоприемникам.

Спектральные характеристики, приводимые на рис. 2, *b*, получены в режиме демультиплицирования — при вводе широкополосного излучения через порт „ Σ “ и измерении оптических спектров последовательно на каждом из 4 выводов. По результатам измерений отклонения центральных длин волн каналов от номиналов не превышали $2 \div 3$ nm, спектральная ширина каналов (по уровню 3 dB) — около 20 nm, изоляция каждого канала от всех соседних каналов — не менее 25 dB.

Как указано выше, устройство выполнено на световодах с меньшим диаметром сердцевины, чем у стандартных световодов. Собственные вносимые потери рассматриваемого устройства на световодах с диаметром сердцевины $d \approx 7 \mu\text{m}$ в обоих режимах по любому из 4 каналов $0.5 \div 1$ dB.

Была проведена оценка оптических потерь при проходе излучения через стык из световода с диаметром сердцевины $d_0 \approx 10 \mu\text{m}$ в световод с $d \approx 7 \mu\text{m}$, потери составляли величину около 2.5 dB. Однако в результате некоторого усложнения операций — сначала обычная сварка двух световодов, далее локальный разогрев участка световода с большим диаметром d_0 около места сварки и растяжение его на 2–3 mm — дополнительные вносимые потери существенно уменьшились и не превышали $0.8 \div 1.0$ dB. При этом суммарные потери в мультиплексоре/демультиплексоре при использовании его в оптических трактах, выполненных на стандартных световодах, не будут превышать 2.0 dB.

Отметим, что разрядность рассмотренного устройства можно достаточно легко нарастить. Один дополнительный канал можно получить путем добавления в конструкцию нового разветвителя с соответствующей характеристикой. Например, канал на длине волны $\lambda_5 = 1590$ nm будет образован присоединением к выводу „ λ_1 “ разветвителя, в спектре которого положение экстремумов приходится на длины волн 1510 и 1590 nm. Дорабатывая схему аналогичным образом и добавив еще три разветвителя, можно изготовить 8-канальный мультиплексор/демультиплексор с интервалом между каналами $\Delta\lambda = 20$ nm, работающий на длинах волн 1470, 1490, . . . , 1610 nm.

4. Заключение. В работе рассмотрены технология изготовления и спектральные свойства сплавных разветвителей-мультиплексоров, а также конструкция и характеристики оптических мультиплексоров/демультиплексоров для систем спектрального уплотнения CWDM. Подобные устройства могут работать в обоих диапазонах 1.3 и 1.55 μm , число каналов может наращиваться по мере необходимости.

В настоящее время просматривается перспектива использования отечественными разработчиками техники спектрального уплотнения CWDM. Это позволит при относительно небольших затратах в несколько раз повысить пропускную способность существующих линий и сетей, избежать необходимости прокладки новых оптических кабелей и обеспечить запас для будущих модернизаций.

Список литературы

- [1] *Trippe V.* // Proc. SPIE. 1990. V. 1085. P. 75–91.
- [2] *Daxhelet X., Conthier* // Proc. SPIE. 2001. V. 42161. P. 67–77.
- [3] *Anderson D.* // WDM Solutions. 2001. June. P. 97–99.
- [4] *Hill K.O., Johnson D.C., Lamont R.G.* // ICIO-OFC'85 (5th International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication). Oct. 1–4, 1985. Venezia. Technical Digest. V. 1. P. 567–570.
- [5] *Yariv A.* // IEEE J. of Quant. Electr. 1975. V. QE-9. P. 919.
- [6] *Герасимов Е.Г., Гнатюк Л.Н., Сахаров В.К.* // Электронная промышленность. 1987. В. 8. С. 59–60.
- [7] *Yataki M.S., Payne D.N., Varnham M.P.* // OFC'85 (3th Optical Fiber Communication Conference). Feb. 11–14, 1985. San Diego. Proccegings. P. 108–110.