

ДВУХВОЛОКОННАЯ РАЗВЕТВЛЯЮЩАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ ДЛИН ВОЛН 1,31 И 1,55 МКМ

Басиладзе Г. Д., Семов А. Е., Долгов А. И., Николаев Е. Я.

В настоящее время в ВОЛС широко используют второе и третье окна прозрачности кварцевых одномодовых волокон, располагающиеся в области длин волн 1,3 мкм и 1,55 мкм. Для ответвления канализируемых волокном световых потоков, в равных для обеих длин волн долях, требуются разветвители, коэффициент ответвления C_R которых не зависел бы от длины волны света. Такие разветвители должны легко и с незначительными оптическими потерями согласовываться с волоконно-оптическими компонентами линий связи. Последнее качество присуще одному из наиболее дешевых в изготовлении и надежных в эксплуатации разветвителей на основе биконического сужения двух сплавленных боковыми поверхностями на определенном протяжении стандартных одномодовых волокон с идентичными геометрическими и оптическими параметрами. Однако обычным сплавлением таких волокон без введения дополнительных технологических операций, приводящих к изменению постоянной распространения одного из волокон в биконическом сужении, не удастся добиться равенства коэффициентов ответвления на длинах волн, разнесенных более чем на 20 - 30 нм. Изготовленные из идентичных световодов разветвители являются спектрально зависимыми. Так, по данным [1, 2] деление по каналам разветвителя с $C_R = 3$ дБ (50:50) со сплавным биконическим сужением может изменяться на величину от 0,1 %/нм до 0,3 %/нм в зависимости от типа волокна, конфигурации сплавленной области, степени ее проплавления и длины волны проходящего света. Такое отклонение от заданного деления приемлемо лишь для линий связи, в которых допускаются изменения рабочей длины волны в пределах ± 10 нм.

При определенных режимах сплавления, длине растяжения, угле наклона конусов в биконическом сужении, возможно получение двухволнового 3-децибельного разветвителя из идентичных волокон [2]. Для этого процесс сплавления и растяжения должен быть остановлен тогда, когда кривые биений мощности на выходе разветвителя, соответствующие λ_1 и λ_2 , пересекаются на 50 %-ной отметке деления. Авторы [2] отмечают, что у такого разветвителя при отклонении длины волны проходящего света от номинала на ± 10 нм отношение связи изменяется на ± 6 %/нм. Это неприемлемо для реальных сетей связи, так как длины волн устанавливаемых источников света могут отличаться от номинала на ± 20 нм [3].

В ряде работ в таких, например, как [1, 4, 5, 6] были предложены и исследованы различные способы достижения неравенства постоянных распространения волокон в биконическом сужении разветвителя. Эти способы условно можно разделить на две группы. К первой относятся те из них, в основе которых лежит использование световодов с исходно отличающимися геометрическими и оптическими параметрами [5, 6]; ко второй – где используются исходно идентичные световоды, в одном из которых с помощью технологических приемов изменяют постоянную распространения при формировании биконического сужения [1, 4].

На наш взгляд, способы, относящиеся ко второй группе, более перспективны, так как обеспечивают большую степень унификации волоконных портов разветвителя.

Для изменения постоянной распространения в одном из свариваемых идентичных волокон в [1, 4] участок для сопряжения с другим волокном предварительно разогревали и перетягивали для уменьшения его диаметра. Причем в случае [4] волокна сплавляли в скрученном друг с другом состоянии. Отметим, что с помощью определенных технологических приемов этот способ позволяет добиться и обратного эффекта – т.е. получать спектрально-селективные разветвители. Так, в [7] описан спектрально-селективный разветвитель, делящий световой поток с двумя длинами волн на два отдельных, соответствующих этим длинам волн, потока. Здесь тонкое волокно с определенным шагом накручивалось на толстое, место скрутки разогревалось и растягивалось в процессе сплавления.

В настоящей работе мы исследовали возможность подавления спектральной зависимости биконического сплавного разветвителя, выполненного из пары номинально идентичных волокон, у одного из которых на участке, сопрягаемом с другим волокном, предварительно стравливалась часть кварцевой оболочки. Хорошо отработанный и контролируемый процесс травления оболочки позволял получать волокна с наперед заданными геометрическими параметрами. Перед сплавлением волокна по аналогии с [4, 6] определенным образом скручивались друг с другом, сплавлялись и растягивались для получения адиабатического биконического перехода.

В процессе сплавления и растяжения сплавленного оболочками участка сопряженных волокон осуществляется контроль за качеством процесса сплавления посредством отслеживания хода перекачки мощности из возбужденного излучателем волокна в ответвление. На рис. 1 схематически представлена структура биконического сужения разветвителя, где P_0 – мощность излучения во входном волокне, 1 – входное волокно, 2 – прямоточное выходное волокно, 3 – выходное волокно-ответвление.



Рис. 1. Структура биконического сужения разветвителя

Как известно, например [8], мощности на выходе прямоточного волокна P_2 и волокна ответвления P_3 по мере растяжения области сплавления волокон изменяются по закону:

$$P_2 = P_0 \sin^2(c), \quad P_3 = P_0 \cos^2(c), \quad (1)$$

где $c \approx 0,5|\varphi_e - \varphi_0|$, $|\varphi_e - \varphi_0|$ - фазовый сдвиг между симметричной и антисимметричной модами в определенный момент растяжения в том сечении расширяющегося конуса, где моды вновь преобразуются в собственные моды исходных одномодовых волокон.

При изготовлении одноволнового разветвителя этот процесс контролируется на рабочей длине волны разветвителя. Процесс останавливается в момент достижения необходимого коэффициента связи C_R между волокнами, определяемого по формуле:

$$C_R = 10 \lg \frac{P_2}{P_2 + P_3}, \quad (2)$$

При изготовлении двухволновых разветвителей в процессе исследований контролировались выходные мощности на обеих рабочих длинах волн.

В данном случае, поскольку деление по каналам 2 и 3 на обеих длинах волн при равных P_0 должны совпадать, т.е. $P_2\lambda_1 = P_2\lambda_2$ и $P_3\lambda_1 = P_3\lambda_2$, то очевидно, что необходимо добиться того, чтобы в какой-то момент растяжения области сплавления волокон фазовые сдвиги симметричной и антисимметричной мод на обеих длинах волн совпадали.

На рис. 2а приведены полученные в наших экспериментах кривые изменения мощности на выходе прямого канала разветвителя в процессе растяжения области сплавления с совпадающими по внешнему диаметру в этой области волокнами. На рисунке обозначены пересечения кривых в точках А, В и С. Отметим, что кривые на рис. 2 аналогичны полученным в работе [4] и согласуются с соотношениями (2). При наличии определенных технических возможностей остановка процесса растяжения в точке, соответствующей заданному коэффициенту деления, позволила бы получить необходимый разветвитель. Однако на практике это оказывается трудно достижимым по двум основным причинам. Во-первых, из-за не совсем полного совпадения параметров номинально идентичных волокон практически невозможно обеспечить повторяемость взаимоположения кривых, а, следовательно, и получение заранее ожидаемого результата. Во-вторых, механизмы, осуществляющие растяжение, нагревательное устройство, схема контроля обладают определенными точностными ограничениями в воспроизведении технологических операций. А, как мы видим, в точках пересечения В и С кривые обладают значительной крутизной, и незначительные неточности, в данном случае в отслеживании и фиксации момента остановки растяжения, приведут к значительному расхождению с требуемым результатом.

Перечисленные факторы препятствуют реализации существующей теоретической возможности получения разветвителя с равными коэффициентами деления на обеих длинах волн.

Анализ приведенных кривых показывает, что для гарантированного получения разветвителя с заданными параметрами необходимо:

1. Уменьшение соотношения $\Delta R/\Delta L$ в точке пересечения;

2. Обеспечение повторяемости местоположения пересечения кривых в соответствии с заданным C_R .

Очевидно, что наиболее благоприятным для выполнения этих условий является пересечение в пределах первого биения кривых. Причем наиболее привлекательными являются участки их перегиба (точки А на рис. 2), т.е. окрестности точек, со-

ответствующих $\frac{dP}{dL} = 0$. При этом необхо-

димо добиться того, чтобы соотношение $P_3 : P_4$ (на обеих длинах волн) соответ-

ствовало заданной величине. Это возможно только при условии, когда $|\varphi_e - \varphi_0| \neq n\pi$

в этих точках на обеих длинах волн. При-

чем для обеспечения повторяемости соотно-

шения $P_3 : P_2$ должны быть созданы

технологические условия, которые опре-

деленно могли бы задавать необходимое

фазовое отставание взаимодействующих

друг с другом мод на λ_1 и λ_2 и легко кон-

тролирувались. Такими контролируемыми

параметрами в наших экспериментах яв-

лялись длина l и диаметр d протравленно-

го участка одного из сплавляемых друг с

другом световодов и шаг скрутки про-

травленного световода с непотравленным.

Последний параметр и определяет

фазовое отставание и обуславливается

параметрами l и, в большей степени, d . В

наших экспериментах l задается кон-

струкцией оборудования для травления и во

всех опытах оставалась неизменной. Шаг

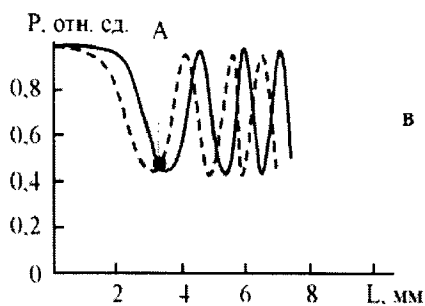
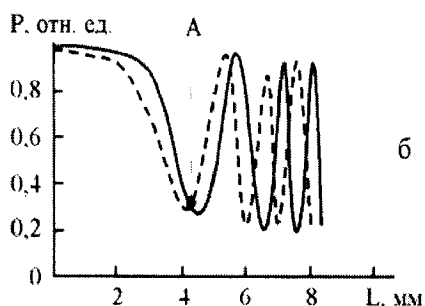
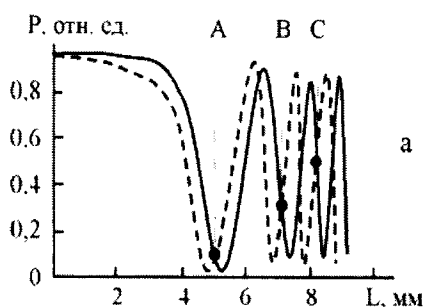


Рис. 2. Изменение мощности на выходе разветвителя в процессе его изготовления

$$-\lambda_1 = 1,31 \text{ мкм}, \text{ -- } \lambda_2 = 1,55 \text{ мкм}$$

ответственно, для длин волн 1,31 мкм и 1,55 мкм по мере растяжения области сплав-

ления волокон L . Кривая на рис. 2б соответствует разветвителю с протравленным

световодом до диаметра $d = 115$ мкм, а рис.2в – до $d = 110$ мкм. Точками А на обоих рисунках обозначены пересечения кривых $P_{2\lambda_1}(L)$ и $P_{2\lambda_2}(L)$ на выходе прямого световода. В сравнении с кривыми на рис.2а, наблюдаются более пологие изгибы в первом их пересечении, что упрощает технологическую задачу прекращения растяжения в момент пересечения кривых. Вместе с тем мы видим, что положение первых максимумов перекачки (минимумы кривых) наряду с общим уровнем остальных максимумов перекачки мощности в смежный световод с изменением d изменяется. Уменьшение d ведет к уменьшению уровня перекачиваемой мощности. Это свидетельствует о возможности получения разветвителя с необходимым соотношением $P_3:P_2$ путем подбора соответствующего значения d .

Таким образом, экспериментальные исследования метода сплавления разветвителя из идентичных световодов, оболочка одного из которых вдоль участка сопряжения с другим световодом частично стравлена, показали реальную возможность использования метода для получения разветвителей с совпадающими соотношениями деления мощности по выходным каналам для двух заданных рабочих длин волн.

Литература

1. Пат. 4798438 США, МКИ G 02 В 6/42. Method of making a single-mode evanescent-wave coupler having reduced wavelength dependence / Moore D., Marcus M. – Оpubл. 17.01.89.
2. Moore D., Tekippe V. Wavelength-dependent coupling in single-mode fused biconical taper couplers // SPIE. – 1986. – Vol. 722. – P. 11-18.
3. Dahlmeyer D. Messungen an LWL-Komponenten bei verschiedenen Wellenlängen // NTZ Informationstechn.+ Telecommun. – 1998. – Т. 51, N 8. – S. 50-53.
4. Mortimore D.B. Wavelength-flattened fused couplers // Electron. Lett. – 1985. – Vol. 21, N 17. – P. 742-743.
5. Пат. ЕПВ 0293289 А2, МКИ G 02 В 6/28. Wavelength independent coupler and method of manufacture thereof / Sweeny K., Corke M., Schmidt K. – Оpubл. 30.11.88, Bull. 88/48.
6. Takeuche Y., Node J. Novel fiber coupler tapering process using a microheater // IEE Photonics Technology Letters. – 1992. – Vol. 4, N 5. – P. 465-467.
7. Пат. Великобрит. 2191597 А, МКИ G 02 В 6/26. Interwined monomode fibre-optic coupler / Stewart W. – Оpubл. 12.1987.
8. Payne F.P. Fused single-mode optical fibre couplers // J. Inst. Electronics and Telecom. Engrs. – 1986. – Vol. 32, N 4. – P. 319-326.