

# ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ МУЛЬТИПЛЕКСОРЫ/ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОРЫ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

С.Г.Дементьев, Н.Т.Ключник, В.А.Кузнецов, М.Я.Яковлев

*Рассмотрены возможности создания сплавных одномодовых мультиплексоров/демультиплексоров с повышенным коэффициентом оптической изоляции (до 60 дБ) и низкими потерями. Представлены технология и оборудование для изготовления данных устройств. Исследованы оптические характеристики изготовленных образцов. Приведены результаты испытания на воздействие температуры.*

*Fiber-optic multiplexer-demultiplexer for data-transmission systems (S.G.Demytyev, N.T.Klyuchnik, V.A.Kuznetsov, M.Ya.Yakovlev). Possibilities of creation fused fiber-optic multiplexer-demultiplexer having high isolation (60 dB) and low losses are considered. The technology and the equipment applied to manufacturing of the given devices are considered. Optical characteristics of the made samples of fiber-optic multiplexer-demultiplexer are investigated.*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы широкое распространение получили волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) со спектральным уплотнением каналов (WDM). Для их построения используются специальные оптические устройства – мультиплексоры/демультиплексоры. Данные устройства представляют собой вид спектрально-селективных разветвителей. Необходимо отметить, что в качестве мультиплексоров и демультиплексоров используются одни и те же обратимые оптические устройства спектрального уплотнения, которые далее будем называть демультиплексорами.

В основе работы демультиплексора лежит принцип спектральной селекции длин волн. Спектральная селекция может осуществляться двумя способами: на основе дифракции и на основе интерференции. Демультиплексоры на основе дифракции используют элементы с угловой дисперсией, такие как дифракционные решетки, которые пространственно разделяют длины волн (каналы) по элементам линейки фотодетекторов или торцам оптических волокон [1]. Демультиплексоры на основе интерференции используют свойства таких устройств, как спектрально-селективные сплавные разветвители и оптические фильтры.

В настоящее время демультиплексоры начинают активно применять для построения локальных систем передачи информации, а также в аппаратуре различного рода подвижных объектов. В частности, часто стоит задача организации дуплексных систем связи с передачей информации по одному оптическому волокну одновременно в обоих направлениях. В таких системах применяются двухканальные

демультиплексоры с уплотнением по длинам волн 1310 и 1550 нм.

Среди различных типов двухканальных устройств WDM широкое применение находят демультиплексоры на основе сплавных одномодовых разветвителей типа 1x2. Такие устройства отличаются достаточно высоким уровнем оптических характеристик при относительно низкой стоимости изделий.

Одним из основных требований при изготовлении демультиплексоров является достижение высокого значения коэффициента оптической изоляции каналов при демультиплексировании и малого значения вносимых потерь. Кроме того, необходима достаточная стойкость к воздействию внешних факторов, в частности, к изменению температуры (от –60 до +85°С).

Анализ характеристик элементной базы ВОСП, выпускаемой в настоящее время рядом зарубежных фирм и отечественных предприятий показывает, что характеристики промышленных демультиплексоров не в полной мере соответствуют указанным требованиям. Поэтому является актуальным разработка процессов создания демультиплексоров с улучшенными оптическими характеристиками и повышенной стойкостью к внешним воздействиям.

В настоящей работе рассмотрены вопросы технологии изготовления демультиплексоров на основе сплавных одномодовых разветвителей, представлены результаты исследования оптических характеристик и температурных испытаний изготовленных образцов.

## 2. ПРИНЦИП РАБОТЫ ОДНОМОДОВОГО СПЛАВНОГО ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОРА

Структура двухканального одномодового демультиплексора приведена на рис. 1. Такие устройства изготавливают на основе технологии сплавных биконических разветвителей. При этом производится сплавление в зоне нагрева и растяжение сплавленного участка двух кварцевых световодов. В результате формируется рабочая область демультиплексора – общая суженная зона, ограниченная с двух сторон плавными коническими переходами, которая является областью связи [2]. Уровень мощности, переданной из одного волокна во второе, зависит от длины волны излучения, передаваемого по волокну, и длины области связи  $L$ .

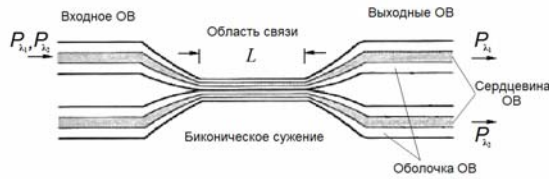


Рис. 1. Схематическое изображение сплавного демультиплексора

Анализ одномодового биконического разветвителя обычно основывается на рассмотрении распространяющихся в нем двух (четной и нечетной) фундаментальных мод [3, 4]. В результате такого анализа определяются значения мощности оптического излучения  $P_1$  и  $P_2$  в выходных каналах разветвителя:

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \end{pmatrix} = P_0 \begin{bmatrix} \cos^2(C(\lambda)L) \\ \sin^2(C(\lambda)L) \end{bmatrix} \quad (1)$$

где  $P_0$  – значение входной мощности;  $C(\lambda)$  – коэффициент связи;  $L$  – длина области связи.

Коэффициент связи, определяющий степень взаимодействия между собственными модами волновода с постоянным поперечным сечением и постоянным ПП на длине взаимодействия, рассчитывается по формуле:

$$C(\lambda) = \frac{3\pi\lambda}{32n_{cl}a^2} \left[ \left( 1 + \frac{1}{V(\lambda)} \right)^{-2} + \left( 1 + \frac{n_{air}^2}{n_{cl}^2} \cdot \frac{1}{V(\lambda)} \right)^{-2} \right] \quad (2)$$

где  $2a$  – диаметр перетяжки;  $n_{cl}$ ,  $n_{air}$  – показатели преломления кварцевой оболочки и окружающей перетяжку среды;  $\lambda$  – длина волны оптического излучения.

Параметр  $V(\lambda)$  определяется выражением:

$$V(\lambda) = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_{cl}^2 - n_{air}^2} \quad (3)$$

Анализ приведенных соотношений показывает, что величина оптической мощности в

выходных каналах сплавного разветвителя зависит от длины и диаметра перетяжки (области связи), длины волны излучения и ПП кварцевой оболочки и среды, в которую помещен сплавной участок волокон. Так как для реального сплавного разветвителя значение  $L$  фиксировано, а коэффициент связи  $C$  зависит от длины волны излучения, такой разветвитель будет обладать спектрально-селективными свойствами.

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента деления от длины перетяжки для излучения с длиной волны 1310 нм и 1550 нм [5].

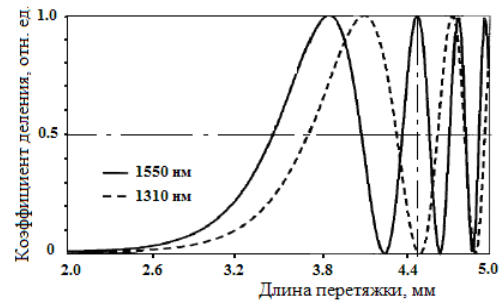


Рис. 2. Зависимость относительной мощности оптического излучения в выходном канале демультиплексора от длины перетяжки для двух длин волн (1310 и 1550 нм).

Как видно из рисунка при определенной длине перетяжки (области связи), достигается разделение двух длин волн, т.е. режим демультиплексирования. Таким образом, изготавливая разветвитель с областью связи определенной длины, добиваются объединения или разделения длин волн.

Основными характеристиками демультиплексора являются вносимые потери  $A$  и коэффициент изоляции  $K_{из}$ . Для двухканального устройства указанные параметры определяются следующими выражениями:

$$A = 10 \lg \frac{P_0}{P_i}; \quad K_{из} = 10 \lg \frac{P_0}{P_j} \quad (4)$$

где  $P_0$  – оптическая мощность во входном канале на длине волны  $\lambda_i$ ,  $P_i$  – оптическая мощность на выходе  $i$ -го канала на длине волны  $\lambda_i$ ,  $P_j$  – оптическая мощность в  $j$ -ом канале на длине волны  $\lambda_i$ .

С целью повышения коэффициента изоляции используется каскадное соединение демультиплексоров, показанное на рис. 3.

В этом случае характеристики демультиплексора определяются следующими выражениями:

$$A = \sum_{m=1}^N A_m + (N-1) \cdot A_{св}; \quad K = \sum_{m=1}^N K_m \quad (5)$$

где  $N$  – число каскадов последовательно соединенных демультиплексоров,  $A_m$  и  $K_m$  –

вносимые потери и коэффициент изоляции демультиплексора с номером  $m$  соответственно,  $A_{св}$  – потери в сварном соединении волокон.

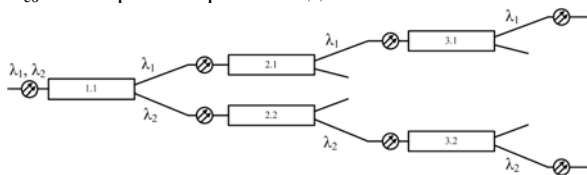


Рис. 3. Демультиплексор с повышенным коэффициентом оптической изоляции ( $N = 3$ ).

### 3. МЕТОДИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОРОВ

Технология изготовления демультиплексоров аналогична технологии изготовления сплавных волоконных разветвителей и основана на сплавлении двух одномодовых волокон с одновременной растяжкой зоны соединения с целью получения плавного биконического перехода, необходимого для оптической связи между волокнами [2]. Метод получения сплавных волоконных структур иллюстрируется рис. 4.

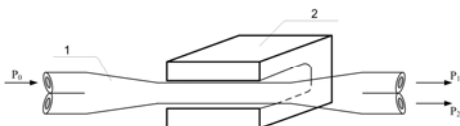


Рис. 4. Метод изготовления сплавных волоконных демультиплексоров: 1 – оптические волокна, 2 – нагреватель

Очищенные от защитного покрытия участки оптических волокон соединяются между собой боковыми поверхностями, закрепляются на подвижных каретках устройства растяжки и помещаются в зону нагрева нагревателя. После нагрева до температуры, обеспечивающей сплавление волокон, производится растяжка зоны сплавления с целью получения плавного биконического перехода. Основными технологическими параметрами при изготовлении разветвителей являются температура нагрева волокон и скорость растяжения зоны сплавления. Для обеспечения плотного соединения волокон между собой может использоваться их скрутка вокруг продольной оси.

В процессе растяжки зоны сплавления измеряются текущие значения мощности излучения  $P_1$  и  $P_2$  в выходных портах. Процесс останавливается после заданного количества осцилляций выходной оптической мощности при достижении минимального значения мощности в одном из выходных каналов.

Сформированная таким образом сплавная структура закреплялась на подложке из кварцевого стекла с использованием акриловой полимерной композиции с добавлением

наполнителя, обеспечивающего низкое значение температурного коэффициента расширения. Для последующей герметизации такая структура помещалась в металлический цилиндрический корпус диаметром 3 мм и длиной 65 мм.

### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Производилось изготовление демультиплексоров на установке для изготовления разветвителей FCI-0201 фирмы NTT AT (Япония), в которой для нагрева волокон используется керамический микронагреватель. Использование керамического микронагревателя позволяет повысить стабильность температуры в зоне нагрева, что улучшает воспроизводимость процесса. Для изготовления использовалось одномодовое оптическое волокно типа SMF-28 с диаметром (сердцевина/оболочка) 8/125 мкм, диаметром модового пятна 9,2 мкм на длине волны 1310 нм и числовой апертурой  $NA = 0,14$ .

В результате отработки технологии определены оптимальные температурно-временные параметры процесса. Температура нагрева зоны сплавления волокон составляла 1500–1550°C, скорость растяжения  $v(t)$  выбиралась в пределах от 0 до 60 мкм/с.

На рис. 5 приведена гистограмма распределения вносимых потерь демультиплексоров, полученная на основе измерения характеристик образцов в партии 50 шт. Анализ гистограммы показывает, что вносимые потери изготовленных образцов не превышают 0,1 дБ, причем более 80% от общего количества разветвителей имеют потери не превышающие 0,05 дБ.

Оптическая изоляция каналов демультиплексора составляла 18–20 дБ. Для получения более высоких значений изоляции использовалось каскадное соединение нескольких демультиплексоров.

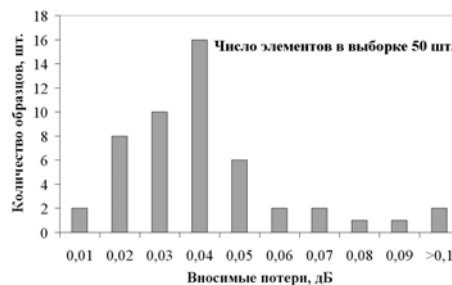


Рис. 5. Гистограмма распределения вносимых потерь демультиплексоров

Демультиплексор с повышенной оптической изоляцией изготавливался путем последовательного соединения трех каскадов сплавных демультиплексоров в соответствии с

рис. 3. Соединение волокон производилось методом сварки. Экспериментально полученная гистограмма распределения вносимых потерь в сварном соединении приведена на рис. 6. Среднее значение потерь составило 0,03 дБ.

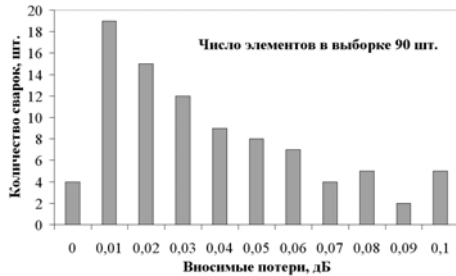


Рис. 6. Гистограмма распределения вносимых потерь на сварке при создании демультиплексора с повышенной оптической изоляцией

Вносимые потери трехкаскадного демультиплексора, включающие суммарные потери трех сплавных демультиплексоров и двух сварных соединений составили не более 0,4 дБ. Типичная спектральная характеристика такого демультиплексора приведена на рис. 7.

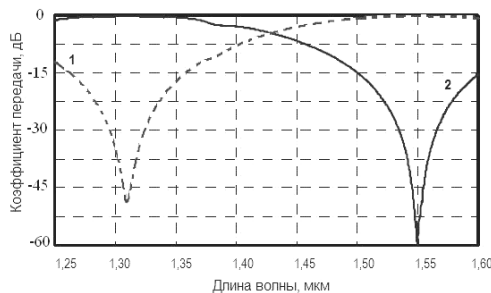


Рис. 7. Спектральная характеристика трехкаскадного демультиплексора: 1 и 2 – спектральные кривые, соответствующие каналам 1550 нм и 1310 нм соответственно.

Как видно из графика, малая величина вносимых сохраняется в широком спектральном интервале ( $\pm 50$  нм). Узкие минимумы на спектральных зависимостях соответствуют коэффициентам оптической изоляции.

Были проведены испытания демультиплексоров на стойкость к температурным воздействиям, которые включали испытания на воздействие максимальной повышенной температуры среды  $+85^{\circ}\text{C}$  и максимально пониженной температуры среды минус  $60^{\circ}\text{C}$ . Изменение величины вносимых потерь в указанном диапазоне температур не превышало 0,1 дБ, а минимальное значение коэффициента оптической изоляции составило 20 дБ. Типичная зависимость коэффициента оптической изоляции от температуры приведена на рис. 8.

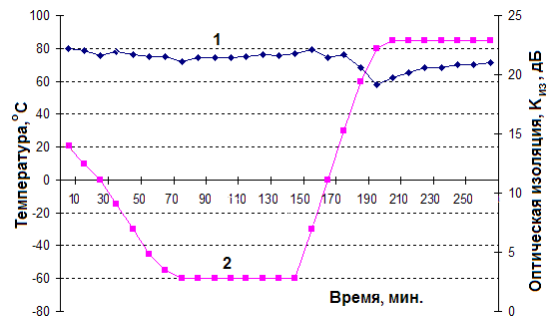


Рис.8. Экспериментальная зависимость коэффициента оптической изоляции (1) от температуры (2) однокаскадного демультиплексора.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ функционирования и метода изготовления сплавных одномодовых мультиплексоров/демультиплексоров.

Исследованы оптические характеристики изготовленных образцов. Показана возможность создания мультиплексоров/демультиплексоров с повышенной оптической изоляцией каналов (до 60 дБ) с потерями, не превышающими 0,4 дБ.

Экспериментально подтверждена устойчивость изготовленных мультиплексоров/демультиплексоров к изменению температуры среды от минус 60 до  $+85^{\circ}\text{C}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. В.Ш.Берикашвили, Н.Т.Ключник, К.Н.Костенко, М.Я.Яковлев. Интегрально-оптические волноводные дисперсионные элементы для ВОЛС // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2005. №2. С.10–16.
2. Ю.В.Рождественский. Сплавные волоконно-оптические мультиплексоры/демультиплексоры и их применение в телекоммуникационных системах // Фотон-экспресс. 2004. №1. С.16–18.
3. А.Б.Иванов. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС. 1999. 672 с.
4. D.Marcuse. Theory of dielectric optical waveguides. Boston: Academic Press. 1991. 380 p.
5. А.Н.Ключник, К.Н.Костенко, В.Ф.Фаловский, М.Я.Яковлев. Одномодовые спектрально-селективные разветвители для систем передачи информации // Высокие технологии в промышленности России Материалы 12 Международной научно-технической конференции. М.: ЦНИТИ "Техномаш". 2006. С.305–310.