

49. Демультимплексор со спектральным разделением каналов

К. С. Коренной^{1,2}, А. Ф. Скочилов¹, Э. Р. Муслимов²

¹ АО «Научно-производственное объединение «Государственный институт прикладной оптики», Казань, Россия

² Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева — КАИ, Казань, Россия

В работе показаны основные средства, предназначенные для спектрального демультимплексирования сигнала, выявлены недостатки современных демультимплексоров на основе дифракционных решёток. Разработана модель, которая наиболее эффективно позволяет разделять сигналы по длинам волн с учётом технических особенностей группы оптоволокон, принимающих разделённый сигнал.

Ключевые слова: Демультимплексор, Гризма, Дифракционная решётка.

Цитирование: Коренной, К. С. Демультимплексор со спектральным разделением каналов / К. С. Коренной, А. Ф. Скочилов, Э. Р. Муслимов // HOLOEXPO 2018 : XV международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — С. 206–208.

В настоящее время наиболее активно развивающейся индустрией средств связи, относящейся к одному из важнейших стратегических государственных ресурсов, является телекоммуникация. Согласно данным IDC, рынок телекоммуникационных услуг продемонстрировал уверенный рост и уже в 2015 г. составил порядка \$1,49 трлн., при этом спрос и качество на различные услуги связи постоянно растёт. На сегодняшний день наиболее широко применяемым способом передачи данных является построение волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Оптическое волокно (ОВ) обладает огромными возможностями для передачи информации по высокоскоростному каналу, однако максимально достижимая скорость передачи данных ограничена электроникой и составляет порядка 40 Гбит/с. Дальнейшее увеличение скорости решается либо увеличением количества каналов, либо использованием технологии спектрального мультиплексирования — WDM (Wavelength Division Multiplexing). Суть WDM (в отечественной литературе — спектральное уплотнение/разделение) заключается в одновременной передаче по одному ОВ нескольких независимых информационных сигналов с дальнейшим их разделением по длинам волн. Именно системы WDM успешно решают задачи наиболее эффективного использования сети при минимальных экономических затратах.

На сегодняшний день известны 3 технологии спектрального разделения сигналов:

- 1) CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), шаг разделения каналов составляет 20 нм;
- 2) DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), шаг разделения каналов составляет 0,8 нм;
- 3) HDWDM (High-Dense Wavelength Division Multiplexing), шаг разделения каналов составляет 0,8–0,4 нм.

Для каждого конкретного случая используется соответствующая технология разделения, однако для большинства задач наиболее оптимальным выбором является CWDM технология. Для разделения каналов по длинам волн существует несколько видов решений: использование демультимплексоров на основе много-

слойных тонкопленочных оптических фильтров, волоконных брэгговских решёток (ВБР) или дифракционных решёток.

Классический демультимплексор со спектральным разделением каналов на основе дифракционной решётки содержит коллимационную систему, дифракционную решётку и фокусирующую систему [1]. Существуют варианты, при которых коллимационная и фокусирующая система представляют собой один элемент [2] или отсутствует какая-либо из этих систем [3]. В таких демультимплексорах наиболее часто применяются нарезные дифракционные решётки, однако во многих случаях их голограммный аналог будет более предпочтительным вариантом ввиду меньшего значения уровня рассеянного света.

Далее конструкция демультимплексора усовершенствуется введением в его состав оптического элемента, сочетающего в себе функции разложения сигнала по длинам волн и их фокусировки. Оптическая схема таких демультимплексоров содержит гризму — комбинацию призмы (ы) и дифракционной решётки. На рис. 1 показана модель демультимплексора, которую разработали авторы работы [4]. В ней использовалась призма, на наклонную грань которой нанесена нарезная отражательная дифракционная решётка, при этом поверхность 1, которая принимает входящий неразделённый и выходящий разделённый сигнал, имеет асферическую форму.

Такой демультимплексор обладает хорошими теоретическими результатами моделирования (интервал

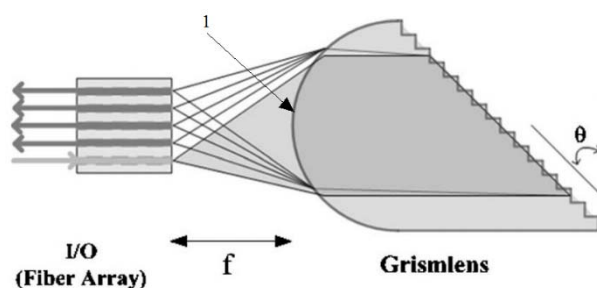


Рис. 1. Демультимплексор с фокусирующей гризмой

между каналами по длинам волн составляет 0,8 нм; дифракционная эффективность $\approx 75\%$), однако, как было сказано выше, нарезная решётка имеет более высокое значение уровня рассеянного света. Кроме того, процесс изготовления такой гризмы трудновыполним: в случае изготовления бракованной решётки её рабочая поверхность будет нуждаться в переполіровке, при этом толщина гризмы будет уменьшаться, тем самым приводя к перерасчёту всех параметров гризмы для достижения оптимального результата. Также стоит отметить, что с учетом абберационных характеристик, потери при передаче сигнала в группу ОВ, принимающих разделённый сигнал, составляют 23 % (без учета дифракционной эффективности решётки).

Целью данного исследования является разработка демультиплексора, который бы не имел недостатков различных прототипов. Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- демультиплексор должен содержать в себе минимальное количество оптических деталей для уменьшения потерь сигнала и упрощения юстировки;
- демультиплексор должен иметь минимальные потери сигнала вследствие аббераций оптической системы;
- значение уровня рассеянного света демультиплексора должно быть существенно ниже аналога.

Для снижения уровня рассеянного света целесообразно заменить нарезную дифракционную решётку (ДР) на её голограммный аналог. При этом при оптимизации параметров схемы записи можно добиться высокой дифракционной эффективности во всём рабочем диапазоне длин волн (более 80 %).

В АО «НПО ГИПО» разработано и успешно реализовано производство гризмы для систем телекоммуникаций [5] (рис. 2).

Данная гризма содержит два усечённых цилиндра и пропускающую голограммную дифракционную решётку (ПГДР) между ними, и в сочетании с другими оптическими элементами (коллиматором и фокусирующим объективом) может быть использована в качестве демультиплексора со спектральным разделением каналов. В результате разработана новая оптическая схема



Рис. 2. Гризма для систем телекоммуникаций

демультиплексора со спектральным разделением каналов (рис. 3):

Гризма содержит в своём составе два усечённых цилиндра и вогнутую ПГДР (ПВГДР) между ними, при этом несклеиваемые торцевые поверхности усечённых цилиндров имеют асферическую форму, а склеиваемые — сферическую. Оптическая схема, полученная в ходе оптимизации вариативных параметров, имеет следующие характеристики:

- геометрический радиус пятен рассеяния на всем рабочем спектральном диапазоне (окно прозрачности 1471–1611 нм) не превышает 15 мкм при нормальных условиях;
- с учетом абберационных характеристик и дифракционной эффективности, потери при передаче сигнала в группу ОВ, принимающих разделённый сигнал, во всём рабочем диапазоне длин волн составляют не более 20 %;
- расстояние между точками фокусировки превышает толщину ОВ.

В результате выполненной работы был получен оптимальный демультиплексор со спектральным разделением каналов для систем телекоммуникаций, потребительские характеристики которого (рабочий спектральный диапазон, количество каналов, режим работы, уровень вносимых потерь сигнала, интервал между каналами по длинам волн) отвечают всем современ-

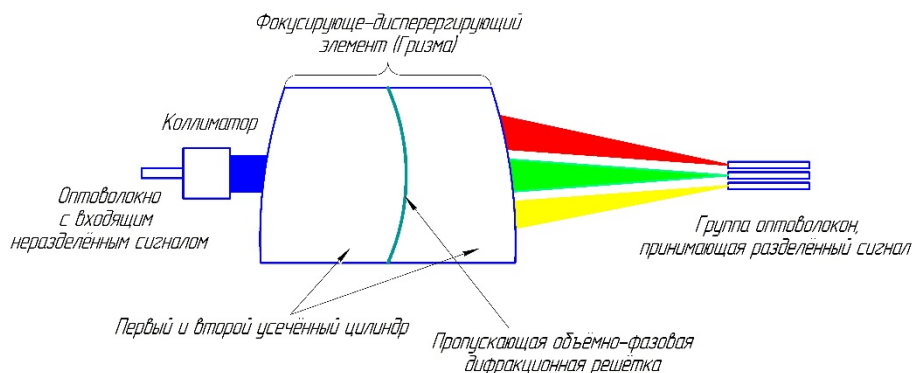


Рис. 3. Демультиплексор со спектральным разделением каналов

менным требованиям заказчика. Такой демультиплексор может быть успешно изготовлен в АО «НПО ГИПО».

Список источников

- [1] **Patent № 6,421,179 B1 US.** Wavelength division multiplexing system and method using a reconfigurable diffraction grating / M. A. Gutin, J. Castracane. — Publ. 16.07.02.
- [2] **Патент № 2,256,203 C2 RU.** Направление оптических сигналов с помощью подвижного дифракционного оптического элемента / И. Д. Однер, Э. С. Лакофф, Л. Д. Каллен, К. Д. Уоссон. — Оpubл. 10.07.05.
- [3] **Патент № 2,191,416 C2 RU.** Интегральные устройства мультиплексора и демультиплексора по длинам волн / Р. Х. Дьюк, Р. К. Уэйд, Б. В. Хантер, Д. Р. Дэмволф. — Оpubл. 20.10.02.
- [4] **Лан, Н.-С.** Hybrid grism-lens device for diffraction grating demultiplexers / Н.-С. Lan, С.-С. Cheng, С.-М. Wang, М.-J. Wu, J.-Y. Chang // Optical Engineering. — 2006. — Vol. 45. — № 8, 085002. — P. 1–5.
- [5] **Белокопытов, А. А.** Особенности разработки дисперсионных оптических элементов (гризм) для систем телекоммуникаций / А. А. Белокопытов, К. С. Коренной, Н. М. Шигапова // Сборник работ конференции «Оптические технологии в телекоммуникациях». — 2014. — С. 146.

Demultiplexer with channels spectral division

K. S. Korennoy^{1,2}, A. F. Skochilov¹, E. R. Muslimov²

¹ Scientific and Production Association “State Institute of Applied Optics”, Kazan, Russia

² Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan, Russia

In the presented paper, we show the main facilities intended for spectral demultiplexing of the signal, as well as we reveal downsides of modern demultiplexers developments based on diffraction gratings. A there is a developed model that separates signals over wavelengths most efficiently, taking into account the technical characteristics of an optical fibers group receiving a separated signal. Currently, the most optimal solution for increasing the data transfer rate is the use of WDM (Wavelength Division Multiplexing) technology. The essence of WDM (in the domestic literature — spectral multiplex / separation) consists of the simultaneous transmission of one or several independent information signals along one OF with their further separation by the wavelengths.

One of the variants of the demultiplexer is a model based on a diffraction grating. In this paper we consider a demultiplexer based on grism, which includes a concave holographic grating. The simulation results show that the obtained model can be successfully applied in telecommunication systems.

Keywords: Demultiplexer, Grism, Diffraction grating.