



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H01S 3/067 (2021.02); H01S 3/06754 (2021.02); H01S 3/06795 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020143738, 29.12.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.12.2020

Дата регистрации:
08.09.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.12.2020

(45) Опубликовано: 08.09.2021 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦИС, НОЦ
Фотоника и ИК-техника, для Тарабрина

(72) Автор(ы):

Воропаев Василий Сергеевич (RU),
Батов Даниил Тимофеевич (RU),
Власов Дмитрий Сергеевич (RU),
Воронец Андрей Иванович (RU),
Донодин Александр Игоревич (RU),
Карасик Валерий Ефимович (RU),
Лазарев Владимир Алексеевич (RU),
Тарабрин Михаил Константинович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2566385 C1, 27.10.2015. RU
2547343 C1, 10.04.2015. RU 2690864 C2,
06.06.2019. US 6724972 B2, 20.04.2004. EP 1488482
A4, 23.11.2005.

(54) Волоконный тулиевый усилитель мощности ультракоротких импульсов на длине волны 1,9 мкм

(57) Реферат:

Полезная модель относится к лазерной технике, в частности к волоконным лазерным системам, генерирующими оптическое излучение на длине волны 1,9 мкм в виде ультракоротких импульсов с пиковой мощностью до 250 кВт и регулируемой длительностью в диапазоне от десятков фемтосекунд до единиц пикосекунд. Лазерные системы подобного типа могут использоваться для: создания широкополосного лазерного излучения (суперконтинуума) в среднем ИК-диапазоне, научных применений, прецизионной обработки материалов, хирургии, детекторов газа. Технический результат заключается в получении импульсов с регулируемой длительностью в диапазоне от десятков фемтосекунд до единиц пикосекунд с

пиковой мощностью до 250 кВт на длине волны 1900 нм. Указанный технический результат достигается тем, что тулиевый полностью волоконный усилитель мощности задающего генератора содержит тулиевый полностью волоконный задающий генератор с синхронизацией мод, соединенный с волоконно-оптическим изолитором, который соединен с волоконно-оптическим ответителем оптического излучения, который соединен с германосиликатным световодом с нормальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм, выход которого соединен с контроллером поляризации оптического излучения, соединенным в свою очередь с сигнальным входом, работающим на длине волны

1
2
3
8
8
3
0
6
2
U
R

R
U
2
0
6
3
8
8
U
1

1,9 мкм, спектрально-селективного волоконного мультиплексора, вход накачки которого, работающий на длине волны 1,55 мкм, соединен с волоконно-оптическим изолятором, который соединен с лазерным источником непрерывного излучения на длине волны 1,55 мкм. Выход спектрально-селективного волоконного мультиплексора, содержащий излучение на длинах волн 1,55 и 1,9 мкм, соединен с активным германосиликатным волоконным световодом, легированым ионами туния, с нормальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм. Другой конец активного волоконного световода соединен с волоконным световодом с увеличенным диаметром поля моды с аномальной дисперсией групповых скоростей на длине волны

1,9 мкм для компрессии импульсов. Волоконный световод с увеличенным диаметром поля моды позволяет сжать импульс во временной области до длительностей менее 100 фс с пиковой мощностью до 250 кВт. Все волоконно-оптические компоненты имеют входы и выходы, сделанные из кварцевого одномодового световода, отвечающего стандарту ITU-TG652. D. В качестве настраиваемого элемента длительности ультракоротких импульсов используется контроллер поляризации излучения, который позволяет варьировать длительность в пределах от десятков фемтосекунд до единиц пикосекунд. Благодаря полностью волоконной конструкции устройство обладает компактностью. 2 ил.

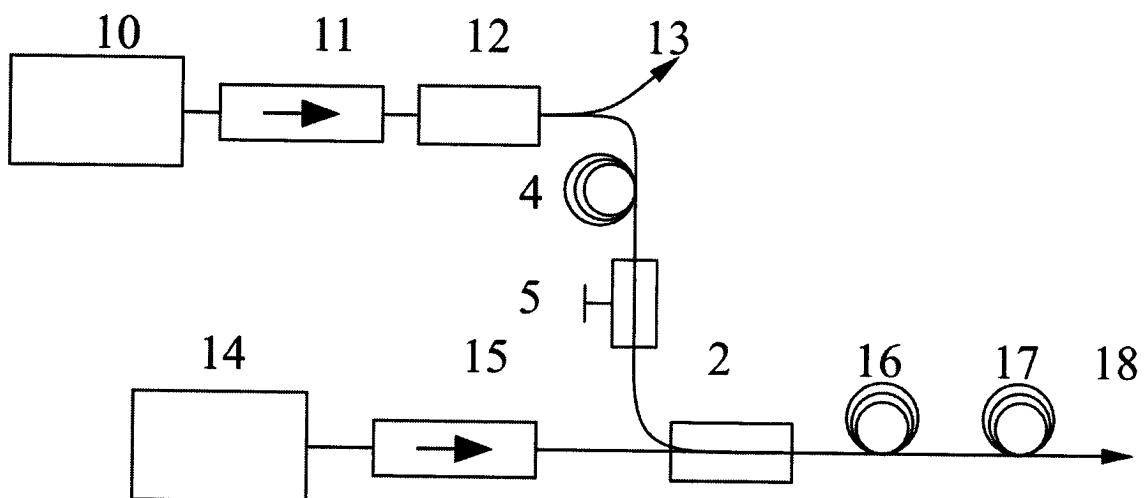


Рис.2

Область техники

Полезная модель относится к лазерной технике, в частности к волоконным лазерным системам, генерирующими оптическое излучение на длине волны 1,9 мкм в виде ультракоротких импульсов с пиковой мощностью до 250 кВт и регулируемой

- 5 длительностью в диапазоне от десятков фемтосекунд до единиц пикосекунд. Лазеры подобного типа могут использоваться для: создания лазерного широкополосного излучения (суперконтинуума) в среднем ИК-диапазоне, научных применений, прецизионной обработки материалов, хирургии, детекторов газа. Суперконтинуум в среднем ИК-диапазоне может быть использован для: прецизионной спектроскопии, 10 диагностики заболеваний человека, обнаружения взрывчатых веществ в воздухе, оптической когерентной томографии.

Уровень техники

Известно множество устройств, предназначенных для получения излучения с помощью тулиевых волоконных источников (патент US 20130188660 A1, опубл.

- 15 25.07.2013; патент EP 2521505 B1, опубл. 06.09.2017; патент CN 105337146 A, опубл. 17.02.2016; патент CN 105406329 A, опубл. 16.03.2016; патент CN 205231454 U, опубл. 11.05.2016; патент CN 110429459 A, опубл. 08.11.2019; патент РФ на изобретение №2682628 C1, опубл. 19.03.2019; патент РФ на изобретение №2693542 C1, опубл. 03.07.2019; патент РФ на изобретение №2690864 C2, опубл. 06.06.2019).

- 20 25.07.2013; патент EP 2521505 B1, опубл. 06.09.2017; патент CN 105337146 A, опубл. 17.02.2016; патент CN 105406329 A, опубл. 16.03.2016; патент CN 205231454 U, опубл. 11.05.2016; патент CN 110429459 A, опубл. 08.11.2019; патент РФ на изобретение №2682628 C1, опубл. 19.03.2019; патент РФ на изобретение №2693542 C1, опубл. 03.07.2019; патент РФ на изобретение №2690864 C2, опубл. 06.06.2019).
- 25 Например, известен полностью волоконный фемтосекундный лазер с усилителем в виде тулиевого активного волоконного световода (патент США US 8792158 B2, опубл. 29.07.2014). Усиление в данном патенте реализуется в активном волоконном световоде, легированном ионами тулия, с аномальной дисперсией групповых скоростей, что требует использование более длинной ветви для растягивания импульсов по сравнению
- 25 с активными волокнами с нормальной дисперсией групповых скоростей, что усложняет конструкцию.

- 30 Наиболее близким аналогом (прототипом) предлагаемого устройства можно признать усилитель ультракоротких импульсов, описанный в работе: Chen Y. et al. «High Energy Ultrafast Laser at 2 μ m Using Dispersion Engineered Thulium-Doped Fiber» // IEEE Photonics Journal. - 2019. - Т. 11. - №. 6. - С. 1-12. В схеме прототипа полностью волоконный усилитель состоит из задающего генератора с пассивной синхронизацией мод, выход которого соединен с изолятором оптического излучения, который соединен со спектрально-селективным мультиплексором оптического излучения. Высокомощная эрбьевая накачка соединена с другим входом спектрально-селективного мультиплексора, 35 соединенным, в свою очередь, с тулиевым волоконным световодом с нормальной дисперсией.

- 40 Однако из-за отсутствия компрессора в прототипе, длительность импульсов составляет 1,98 пс, что существенно больше значения, осуществляемого в данной полезной модели.

40 Раскрытие полезной модели

- 45 Технический результат, на достижение которого направлена предлагаемая полезная модель, заключается в получении ультракоротких импульсов с регулируемой длительностью в диапазоне от десятков фемтосекунд до единиц пикосекунд с максимальной пиковой мощностью до 250 кВт с использованием полностью волоконной схемы.

Указанный технический результат достигается тем, что излучение ультракоротких импульсов на длине волны 1,9 мкм из полностью волоконного лазера с синхронизацией мод проходит через волоконно-оптический изолятор, который используется для

- предотвращения попадания обратного излучения в лазер, далее излучение проходит через волоконно-оптический ответвитель, с помощью которого от 1 до 5 процентов излучения выводится на приемник излучения для контроля режима генерации, остальная часть излучения проходит через германосиликатный волоконный световод с нормальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм для растяжения во времени импульсов перед процессом усиления, далее излучение проходит через контроллер поляризации, с помощью которого осуществляется настройка поляризации излучения, попадающего в усилитель, далее излучение попадает во вход волоконного спектрально-селективного мультиплексора, работающий на длине волны 1,9 мкм, непрерывное излучение от лазерного источника накачки на длине волны 1,55 мкм проходит через второй вход волоконного спектрально-селективного мультиплексора, работающий на длине волны 1,55 мкм, таким образом на выходе волоконного спектрально-селективного мультиплексора распространяется непрерывное излучение накачки на длине волны 1,55 мкм вместе с ультракороткими импульсами на длине волны 1,9 мкм, выход волоконного спектрально-селективного мультиплексора соединен с активным тулиевым световодом с нормальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм, в котором происходит усиление ультракоротких импульсов и одновременное увеличение их длительности, далее излучение поступает в волоконный световод с увеличенным диаметром поля моды и аномальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм для компрессии импульсов до минимальных длительностей и достижения максимальных значений пиковой мощности.

Все волоконно-оптические компоненты имеют входы и выходы, сделанные из кварцевого одномодового световода отвечающего стандарту ITU-TG652.D.

- В качестве настраиваемого элемента длительности ультракоротких импульсов используется контроллер поляризации излучения. Настройка поляризации излучения перед процессом усиления позволяет варьировать длительность в пределах от десятков фемтосекунд до единиц пикосекунд.

Благодаря полностью волоконной конструкции устройство обладает компактностью и конструктивно расположено в едином корпусе.

- 30 Перечень рисунков

На рис. 1 изображена структура последовательной цепи элементов предлагаемого тулиевого полностью волоконного задающего генератора ультракоротких импульсов.

- На рис. 2 изображена структура последовательной цепи элементов предлагаемого тулиевого полностью волоконного усилителя мощности задающего генератора ультракоротких импульсов.

Осуществление полезной модели

- На рис. 1 изображены: 1 - лазерный источник непрерывного излучения на длине волны 1,55 мкм с максимальной мощностью 3 Вт; 2 - спектрально-селективный волоконный мультиплексор оптического излучения (1,55/1,9); 3 - активный волоконный световод, легированный ионами туния, с аномальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм; 4 - германосиликатный волоконный световод с нормальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм; 5 - контроллер поляризации оптического излучения; 6 - волоконно-оптический изолятор-поляризатор оптического излучения; 7 - волоконно-оптический ответвитель оптического излучения; 8 - выходной разъем лазера со скошенным торцем волокна под углом 8-9 градусов к оптической оси для минимизации обратных отражений; 9 - одностенные углеродные нанотрубки, расположенные в оптической розетке между двумя разъемами FC/APC.

На рис. 2 изображены: 10 - тулиевый полностью волоконный задающий генератор

ультракоротких импульсов на длине волны 1,9 мкм; 11 - волоконно-оптический изолятор на длине волны 1,9 мкм; 12 - волоконно-оптический ответвитель; 13 - контрольный выход лазера; 4 - германосиликатный волоконный световод с нормальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм; 5 - контроллер поляризации оптического излучения; 14 - лазерный источник непрерывного излучения на длине волны 1,55 мкм с максимальной мощностью 6 Вт; 15 - волоконно-оптический изолятор на длине волны 1,55 мкм; 2 - спектрально-селективный волоконный мультиплексор оптического излучения (1,55/1,9); 16 - активный волоконный световод, легированный ионами туния, с нормальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм; 17 - волоконный световод с увеличенным диаметром поля моды и аномальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм; 18 - выходной волоконный разъем усилителя со скошенным торцем волокна под углом 8-9 градусов к оптической оси для минимизации обратных отражений. Предлагаемое устройство работает следующим образом.

В качестве задающего генератора ультракоротких импульсов используется полностью волоконный тулиевый лазер ультракоротких импульсов с гибридной синхронизацией мод с длительностью импульсов 330 фс с частотой повторения 24 МГц на длине волны 1,9 мкм, схема которого представлена на рисунке 1. Накачка осуществляется с помощью лазерного источника непрерывного излучения (1, рис. 1) на длине волны 1,55 мкм с максимальной мощностью 3 Вт. Излучение накачки вводится в резонатор с помощью спектрально-селективного волоконного мультиплексора оптического излучения (2, рис. 1) и попадает в активный алюмосиликатный световод (3, рис. 1), легированный ионами туния, (0,8% (масс.) Tm, 3,6% (масс.) Al) со ступенчатым профилем показателя преломления (разность показателей преломления сердцевины и оболочки составляет 0,012) с диаметром сердцевины 10 мкм диаметром оболочки 125 мкм дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм - 70,56 ps^2/km длиной 1,25 м, 98% излучения накачки поглощается в активном световоде. С другой стороны, активного световода располагается германосиликатный световод (4, рис. 1) с содержанием оксида германия в сердцевине ~ 30 мол. % диаметром сердцевины 2,2 мкм разницей показателей преломления 0,0324 дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм равной 108 ps^2/km длиной 3,22 м для регулировки дисперсии групповой задержки резонатора лазера. Из резонатора выводится 81% излучения с помощью волоконно-оптического сплавного ответвителя (7, рис. 1). Для однонаправленной генерации используется изолятор-поляризатор (6, рис. 1), который также является важным компонентом метода синхронизации мод, основанного на нелинейной эволюции поляризации. В качестве медленного насыщающегося поглотителя для самозапуска режима синхронизации мод используются одностенные углеродные нанотрубки, расположенные в оптической розетке между двумя разъемами FC/APC (9, рис. 1). Для настройки режима синхронизации мод используются контроллеры поляризации 5. Все волоконно-оптические компоненты имеют входы и выходы, сделанные из квartzового одномодового световода отвечающего стандарту ITU-TG652.D, суммарная длина данного типа световода в резонаторе составляет 4,02 м.

При мощности накачки 800 мВт мощность излучения задающего генератора на выходе волоконного разъема (8, рис. 1) в режиме синхронизации мод составляет 8 мВт. Ширина спектральной плотности мощности на половине высоты составляет 22 нм, длительность импульсов на половине высоты составляет 330 фс. Отношение сигнал/шум составляет 60 дБ. Лазер работает в режиме генерации растянутых импульсов.

Мощность излучения задающего генератора увеличивается в полностью волоконном усилителе, схема которого показана на рисунке 2. На выходе лазера (10, рис. 2)

расположен волоконно-оптический изолятор (11, рис. 2), который используется для предотвращения попадания обратного излучения в лазер. После изолятора расположен волоконно-оптический ответвитель (12, рис. 2), который отводит часть излучения (1-5%) на приемник с помощью выхода (13, рис. 2) для контроля режимы работы лазера,

5 т.к. при внешних воздействиях лазер может перейти в режим генерации непрерывного излучения или режим модуляции добротности. Оставшаяся часть излучения (90-95%, в ответителе так же есть потери несколько процентов) проходит через германосиликатный волоконный световод (4, рис. 2), который был описан выше и используется в лазере, с нормальной дисперсией групповых скоростей на длине волны

10 1,9 мкм для увеличения длительности ультракоротких импульсов. Растворение импульса необходимо для предотвращения нелинейного распада импульса во время усиления. Длина германосиликатного световода составляет 3,085 м. Суммарная длина волоконных световодов оптических компонентов до германосиликатного составляет 2,015 м. Далее излучение распространяется в волоконном световоде длиной 0,756 м, который является

15 входом, работающим на длине волны 1,9 мкм, в спектрально-селективный мультиплексор (2, рис. 2), данный световод установлен в механический контроллер поляризации (5, рис. 2), который работает за счет изменения двулучепреломления в световоде путем его сдавливания и скручивания. В другой вход спектрально-селективного мультиплексора, работающий на длине волны 1,55 мкм, поступает

20 непрерывное излучение накачки из лазерного источника на длине волны 1,55 мкм (14, рис. 2), защищенного от обратного излучения с помощью изолятора (15, рис. 2). Спектрально-селективный мультиплексор объединяет непрерывное излучение накачки и излучение ультракоротких импульсов и направляет его в активных световод (16, рис. 2). Для усиления используется активный германосиликатный световод, легированный

25 ионами туния (0,9 мол. % Tm^{3+} , 36 мол. % GeO_2), со ступенчатым профилем показателем преломления с разницей между показателями преломления сердцевины и оболочки 0,045, диаметр сердцевины которого составляет 2,2 мкм, диаметр оболочки - 125 мкм. Дисперсия групповых скоростей активного световода на длине волны 1,9 мкм составляет

30 130,55 ps^2/km . Длина активного световода составляет 2,123 м. В активном световоде поглощается ~ 98% излучения накачки. Ультракороткие импульсы, проходя через активный световод, усиливаются и растягиваются во времени. Далее для компрессии импульсов излучение попадает в кварцевый световод с увеличенным диаметром поля моды (17, рис. 2) со ступенчатым профилем показателя преломления с разницей между

35 показателями преломления сердцевины и оболочки 0,112 длиной 2,366 м, диаметр сердцевины которого равен 20 мкм, диаметр оболочки - 125 мкм, дисперсия групповых скоростей данного световода является аномальной на длине волны 1,9 мкм и близкой к значению кварцевого стекла. Увеличенный диаметр поля моды позволяет повысить пиковую мощность импульса по сравнению со стандартными телекоммуникационными

40 световодами. Все волоконно-оптические компоненты имеют входы и выходы, сделанные из кварцевого одномодового световода отвечающего стандарту ITU-TG652.D.

Рабочий режим лазерной системы достигается при мощности излучения накачки лазерного источника (14, рис. 2) равной 4 Вт, при этом на выходе усилителя (18, рис. 2), который выполнен в виде углового коннектора FC/APC, мощность излучения равна 45 600 мВт. В процессе распространения импульса во всех элементах усилителя импульс приобретает нелинейный набег фазы, который приводит к тому, что на выходе усилителя импульс превращается в группу импульсов, внутри которой находится импульс, содержащий 60% энергии, и группа из нескольких импульсов с остаточной энергией, при

этом суммарная энергия импульсов составляет 25 нДж, а энергия, содержащаяся в основном импульсе, составляет 15 нДж. Процесс усиления и компрессии сильно зависит от поляризации излучения, это связано с зависимостью нелинейного коэффициента световодов от состояния поляризации излучения. Таким образом, настраивая

5 поляризацию, удается изменять длительность импульсов на выходе усилителя в диапазоне от 60 до 1270 фс. При этом пиковая мощность достигает значения 250 кВт при длительности импульсов 60 фс.

10 Лазеры подобного типа могут использоваться для: создания лазерного широкополосного излучения (суперконтинуума) в среднем ИК-диапазоне, научных применений, прецизионной обработки материалов, хирургии, детекторов газа. Суперконтинуум в среднем ИК-диапазоне может быть использован для: прецизионной спектроскопии, диагностики заболеваний человека, обнаружения взрывчатых веществ в воздухе, оптической когерентной томографии.

15 (57) Формула полезной модели

Тулиевый полностью волоконный усилитель мощности задающего генератора ультракоротких импульсов, отличающийся наличием в своем составе волоконного компрессора с увеличенным диаметром поля моды, позволяющим снизить длительность импульсов до десятков фемтосекунд и увеличить пиковую мощность до 250 кВт; 20 содержащий тулиевый полностью волоконный задающий генератор с синхронизацией мод, соединенный с волоконно-оптическим изолятором, который соединен с волоконно-оптическим ответвителем оптического излучения, который соединен с германосиликатным световодом с нормальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм, выход которого соединен с контроллером поляризации 25 оптического излучения, соединенным в свою очередь с сигнальным входом, работающим на длине волны 1,9 мкм, спектрально-селективного волоконного мультиплексора, вход накачки которого, работающий на длине волны 1,55 мкм, соединен с волоконно-оптическим изолятором, который соединен с лазерным источником непрерывного излучения на длине волны 1,55 мкм; выход спектрально-селективного волоконного 30 мультиплексора, содержащий излучение на длинах волн 1,55 и 1,9 мкм, соединен с активным германосиликатным волоконным световодом, легированным ионами туния, с нормальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 1,9 мкм; другой конец активного волоконного световода соединен с волоконным световодом с увеличенным диаметром поля моды с аномальной дисперсией групповых скоростей на длине волны 35 1,9 мкм для компрессии импульсов; в качестве настраиваемого элемента длительности ультракоротких импульсов использован контроллер поляризации излучения, позволяющий варьировать длительность в пределах от десятков фемтосекунд до единиц пикосекунд.

40

45

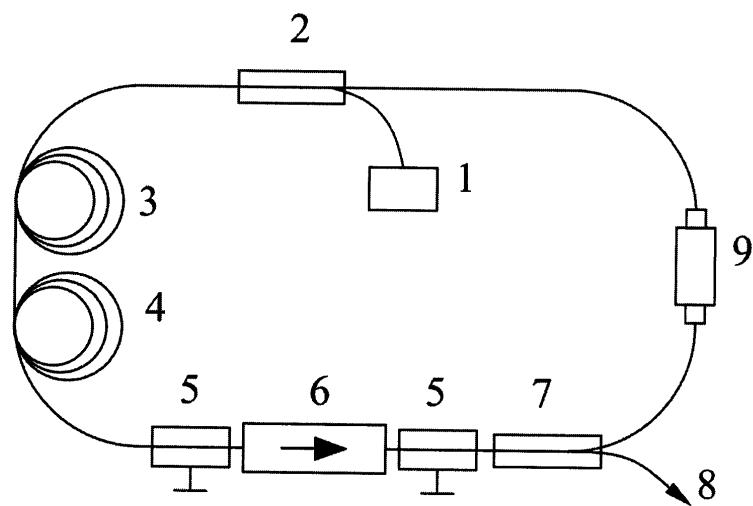


Рис.1

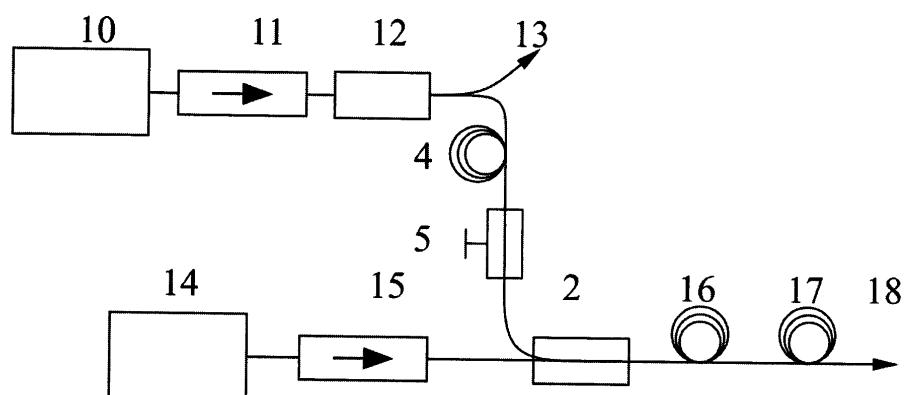


Рис.2