



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21), (22) Заявка: **2008140185/28, 09.10.2008**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**09.10.2008**(43) Дата публикации заявки: **20.04.2010**(45) Опубликовано: **10.09.2010** Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 6873639 B2, 29.03.2005. EP 0270346 A1, 08.06.1988. SU 148117 A1, 05.06.1962. JP 6034834 A, 02.10.1994. US 2006/078009 A1, 13.04.2006. SU 1793504 A1, 07.02.1993. US 6826335 B1, 30.11.2004. БУТУСОВ М.М ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. - ЛЕНИНГРАД: МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1987, с.202-204.**

Адрес для переписки:  
**630090, г.Новосибирск, ул. Пирогова, 2,  
Новосибирский государственный  
университет, отдел по защите ИС**

(72) Автор(ы):

**Кобцев Сергей Михайлович (RU),  
Смирнов Сергей Валерьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

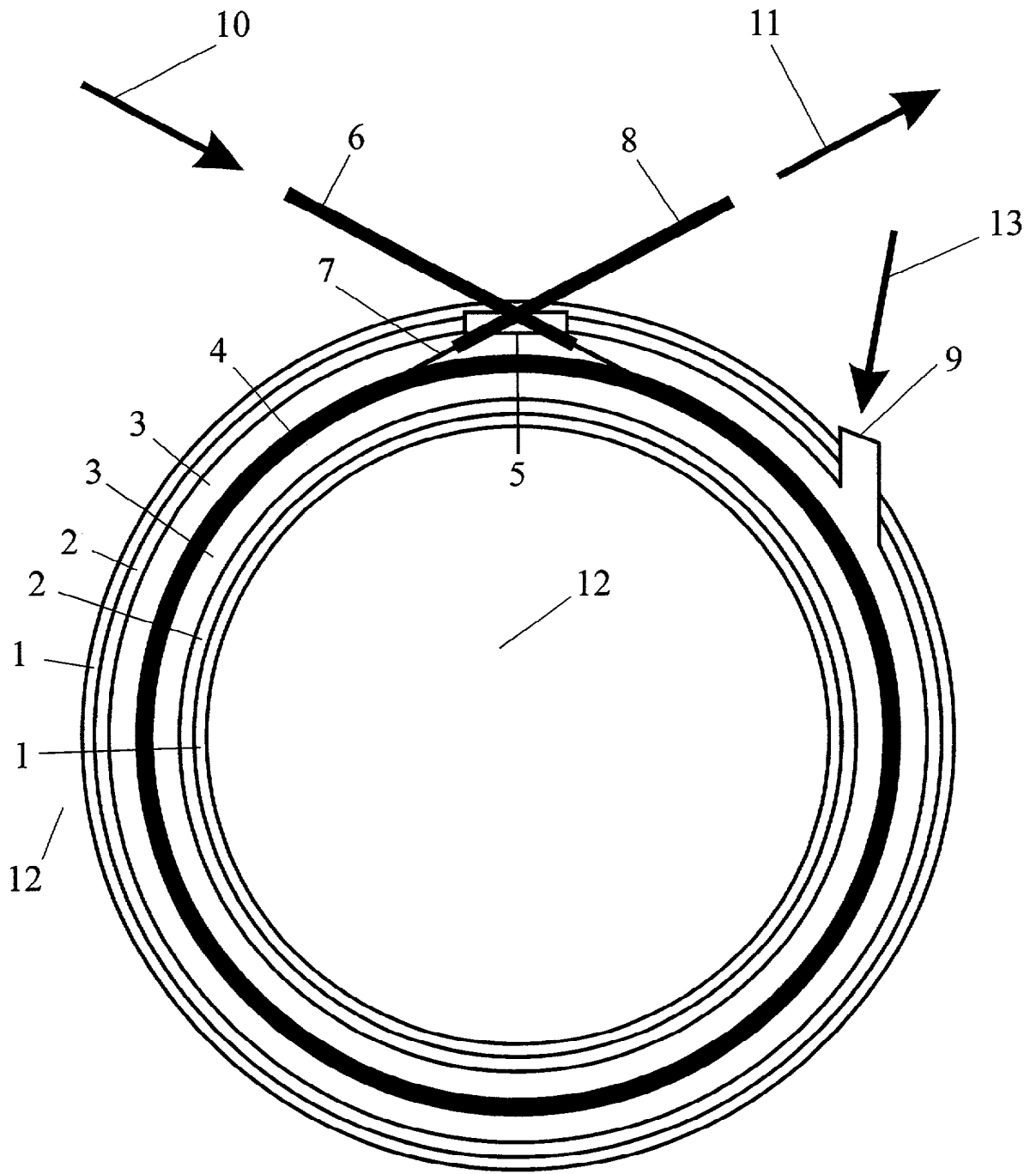
**Государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования Новосибирский  
государственный университет (НГУ) (RU),  
ЗАО "Техноскан-лазерные системы" (RU)**

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА**

(57) Реферат:

Устройство состоит из одного или более источников накачки и замкнутого объема. В замкнутый объем введен один или более отрезков усиливающего оптического волокна, вход и выход которых выведены за его пределы. Замкнутый объем снабжен одним или более окнами для входа и выхода отрезков усиливающего оптического волокна, имеет одно или более окон для ввода излучения накачки и обеспечивает условия полного внутреннего отражения оптического излучения

от источника накачки, так что излучение накачки неоднократно проходит через замкнутый объем, пересекая усиливающее оптическое волокно. Замкнутый объем может иметь торообразную форму. Технический результат заключается в упрощении процедуры изготовления устройства для усиления оптического сигнала, сокращении времени изготовления и снижении себестоимости, а также в снижении требований к качеству пучка источников оптической накачки. 24 з.п. ф-лы, 9 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
*H01S 3/063* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2008140185/28, 09.10.2008**

(24) Effective date for property rights:  
**09.10.2008**

(43) Application published: **20.04.2010**

(45) Date of publication: **10.09.2010 Bull. 25**

Mail address:  
**630090, g.Novosibirsk, ul. Pirogova, 2,  
Novosibirskij gosudarstvennyj universitet, otdel  
po zashchite IS**

(72) Inventor(s):

**Kobtsev Sergej Michajlovich (RU),  
Smirnov Sergej Valer'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie  
vysshego professional'nogo obrazovanija  
Novosibirskij gosudarstvennyj universitet (NGU)  
(RU),  
ZAO "Tekhnoskan-lazernye sistemy" (RU)**

**(54) OPTICAL SIGNAL AMPLIFICATION DEVICE**

(57) Abstract:

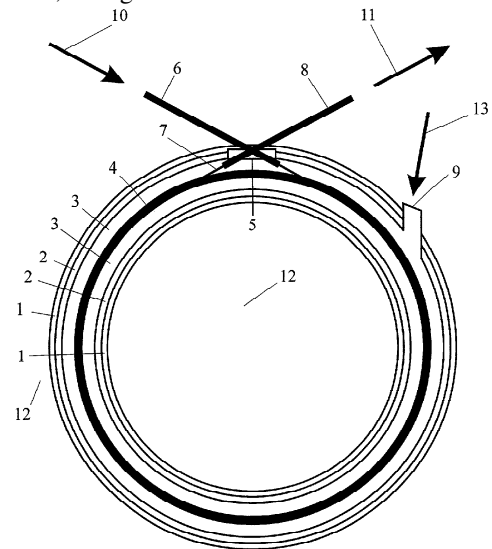
FIELD: physics.

SUBSTANCE: device consists of one or more pumping sources and an enclosed volume. In the enclosed volume there is one or more sections of amplifying optical fibre, the input and output of which come out the said volume. The enclosed volume has one or more windows for inlet and outlet of sections of the amplifying optical fibre, has one or more windows for entry of pumping radiation and provides conditions for total internal reflection of optical radiation from the pumping source, so that the pumping radiation repeatedly passes through the enclosed volume while crossing the amplifying optical fibre. The enclosed volume is torus-shaped.

EFFECT: simple procedure of manufacturing an optical signal amplification device, cutting on manufacturing time and lower cost, and fewer requirements for beam quality of optical pumping

sources.

25 cl, 9 dwg



Фиг. 1

RU 2 399 128 C2

RU 2 399 128 C2

Изобретение относится к области оптики, в частности к технике лазеров и оптических усилителей.

#### Уровень техники

Усилители оптического сигнала играют ключевую роль в области оптических телекоммуникаций, лазерной техники и фотоники. Так, оптические усилители являются неотъемлемой частью современных высокоскоростных оптических линий связи и служат для компенсации затухания передаваемого сигнала, а также в схемах периодической компрессии оптических импульсов, кодирующих передаваемую информацию. Другим исключительно важным и широко распространенным применением оптических усилителей являются лазеры и лазерные системы. Действительно любая схема лазера включает оптический усилитель и систему положительной обратной связи (оптический резонатор). Мощные лазерные системы, используемые в промышленности для резки металлов, сварки и других технологических процессов, состоят обычно из задающего лазера и одного или нескольких оптических усилителей, обеспечивающих высокий уровень мощности оптического излучения на выходе из лазерной системы. Чрезвычайная широта области применений лазеров и лазерной техники обуславливает актуальность задачи усовершенствования устройств для усиления оптического сигнала.

Известно устройство для усиления оптического сигнала, в том числе и для получения лазерной генерации, состоящее из оптического волокна, сердцевина которого легирована редкоземельными металлами (эрбием или эрбием и иттербием). С помощью оптических ответвителей в волокно вводится сигнал и излучение накачки; излучение накачки создает инверсию населенностей уровней редкоземельных металлов; при прохождении по волокну с инверсной населенностью уровней происходит усиление оптического сигнала (патент US 5161050 [1]). Недостатком такой схемы является относительно невысокий уровень мощности усиленного сигнала, что связано с существенным ограничением мощности излучения накачки, которое можно заводить в волокно через ответвитель. Типичные ограничения на мощность заводимого через ответвитель излучения составляют 1-3 Вт.

Известны устройства для усиления оптического сигнала и лазерной генерации, включающие оптическое волокно с двумя оболочками - внутренней и внешней, и схемы введения оптического сигнала и излучения накачки в волокно. Кварцевая сердцевина волокна легирована редкоземельными металлами и обеспечивает усиление распространяющегося по ней оптического сигнала. Излучение накачки распространяется по внутренней кварцевой оболочке волокна и пересекает сердцевину, поглощаясь атомами редкоземельных металлов и создавая в них инверсную населенность квантовых уровней энергии (статья Optics Letters. - 1998. - Vol.23. - P.1037-1039 [2]). Недостатком таких устройств является сложность одновременного введения в волокно оптического сигнала и накачки. Для введения излучения накачки в оптическое волокно с двумя оболочками одновременно с введением оптического сигнала используются дихроичные зеркала, боковая накачка через многомодовые ответвители, а также введение накачки через бороздки, вытравленные на поверхности оболочек волокна. Однако ни одна из этих схем введения излучения накачки не обеспечивает достаточно простого, эффективного и одновременно надежного способа введения излучения накачки в волоконный усилитель или лазер, особенно в случае использования нескольких источников накачки при создании мощных лазеров.

Наиболее близким аналогом-прототипом предлагаемому изобретению является

устройство, защищенное патентом US 7221822 [3] «Многоволоконное устройство для мощных волоконных лазеров и усилителей». Конструкция прототипа включает два или более отрезка оптического волокна. Как минимум, по одному из отрезков волокон распространяется оптическое излучение накачки, еще, как минимум, один из отрезков волокна служит для усиления оптического сигнала, для чего его сердцевина легирована редкоземельными металлами. Боковые поверхности смежных отрезков оптических волокон находятся в оптическом контакте друг с другом на длине, обеспечивающей необходимое поглощение излучения накачки в усиливающем волокне. Отрезки оптических волокон, входящие в состав устройства, в средней части имеют общую оболочку, образующую замкнутый объем; концы отрезков, выходящие за пределы замкнутого объема, служат для ввода-вывода излучения. Как минимум, в один из отрезков усиливающих оптических волокон вводится оптический сигнал, как минимум, еще в одно из волокон вводится излучение накачки. Поскольку волокна в устройстве находятся в оптическом контакте, излучение накачки, распространяющееся в оболочечных модах, как минимум, одного из волокон, проникает в одно или несколько активных волокон, где поглощается атомами редкоземельных металлов и создает инверсную населенность их уровней. Это приводит к эффективному усилению оптического сигнала, распространяющегося в активном волокне.

Недостатком прототипа является сложность изготовления системы, состоящей из двух или более волокон, боковые поверхности которых находятся в оптическом контакте друг с другом на достаточно большой длине, обеспечивающей эффективное поглощение излучения накачки в усиливающем волокне. Так, например, в патенте описан способ изготовления, состоящий в том, что две или более заготовок оптических волокон вытягиваются под определенным давлением и с определенной скоростью в башне для вытяжки оптических волокон, причем давление и скорость выбираются таким образом, чтобы обеспечить продольный оптический контакт боковых поверхностей оптических волокон. Таким образом, для изготовления устройства-прототипа требуются большие дорогостоящие стационарные промышленные установки по вытяжке волокна, что обуславливает высокую себестоимость изготовления устройства-прототипа, особенно в случае изготовления малых партий устройств, либо устройств, состоящих из нестандартных волокон. Еще одним недостатком прототипа является необходимость введения излучения накачки в оптическое волокно, сопряженная с необходимостью использования источника накачки с высоким качеством оптического пучка, отличающихся меньшей надежностью и более высокой стоимостью от источников накачки с более низким качеством пучка.

Задачей, решаемой настоящим изобретением, является создание устройства для усиления оптического сигнала, которое позволило бы упростить процедуру его изготовления, сократить время изготовления одного образца и существенно снизить его себестоимость, а также снизить требования на качество пучка источников оптической накачки.

Сущность изобретения

Поставленная задача решена за счет того, что в известном устройстве, состоящем из одного или более источников накачки и замкнутого объема, в который введен один или более отрезков усиливающего оптического волокна, вход и выход которых выведены за пределы замкнутого объема, замкнутый объем, имеющий, например, - торообразную форму, снабжен одним или более окнами для входа и выхода отрезков

усиливающего оптического волокна и имеет одно или более окон для ввода излучения накачки и обеспечивает условия полного внутреннего отражения оптического излучения от источника накачки, так что излучение накачки неоднократно проходит через замкнутый объем и пересекает усиливающее волокно.

5 Замкнутый объем имеет торообразную форму, т.е. имеет вид трубки, начало и конец которой соединены, что позволяет излучению накачки неоднократно проходить через замкнутый объем. Трубка с соединенными началом и концом может, например, образовывать окружность (при этом замкнутый объем представляет собой тор) или  
10 спираль, начало и конец которой соединены.

Замкнутый объем имеет стенку, изготовленную из материала, прозрачного для оптического излучения накачки, например из стекла, кварца или другого материала, которая может быть покрыта (или не покрыта) с внешней поверхности оболочкой.

15 Пространство между усиливающим оптическим волокном, находящимся в замкнутом объеме, и внутренней поверхностью стенки замкнутого объема равномерно заполняется материалом, прозрачным для оптического излучения накачки, который может быть в жидком, гелеобразном или другом состоянии (материал заполнения). При этом абсолютное значение разности показателей  
20 преломления стенки замкнутого объема и материала заполнения не должен превосходить величины, обеспечивающей превышение коэффициента усиления оптического сигнала над коэффициентом его затухания в устройстве, а также превышение возможностей теплоотвода из устройства над суммарной мощностью потерь оптического излучения накачки и оптического сигнала в устройстве.

25 Средняя часть одного или более отрезков усиливающего оптического волокна, размещенная в замкнутом объеме, может состоять из сердцевины и оболочки, показатели преломления которых обеспечивают распространение оптического сигнала в сердцевине усиливающего волокна за счет эффекта полного внутреннего  
30 отражения на границе сердцевины с оболочкой.

Средняя часть усиливающего оптического волокна, размещенная в замкнутом объеме, может иметь однородный показатель преломления по поперечному сечению, превышающий показатель преломления материала заполнения.

35 Пространство между усиливающим оптическим волокном и внутренней поверхностью стенки замкнутого объема равномерно заполнено материалом заполнения. При этом возможны следующие варианты соотношений показателей преломления материалов, образующих элементы системы: материала стенки замкнутого объема -  $n_2$ , материала заполнения -  $n_3$ , внешней среды, окружающей  
40 замкнутый объем -  $n_{12}$ , наименьшего по поперечному сечению показателя преломления среднего участка отрезка усиливающего волокна -  $n_{7min}$ :

- первый вариант

$$n_{7min} > n_3 > n_{12}$$

45 Здесь первое неравенство означает возможность входа излучения в усиливающее волокно из материала заполнения, второе неравенство обуславливает невыход излучения в окружающую среду из замкнутого объема за счет полного внутреннего отражения на границе с окружающей средой.

- второй вариант

50  $n_{7min} > n_3 > n_2$

Здесь первое неравенство означает возможность входа излучения в усиливающее волокно из материала заполнения, второе неравенство обеспечивает возможность полного внутреннего отражения на границе материала заполнения со стенкой

замкнутого объема.

- третий вариант (для устройства, внешняя поверхность стенки замкнутого объема которого покрыта оболочкой с показателем преломления  $n_1$ )

$$n_{7\min} > n_3 > n_1$$

Здесь первое неравенство означает возможность входа излучения в усиливающее волокно из материала заполнения, второе неравенство обуславливает невыход излучения в оболочку из замкнутого объема за счет полного внутреннего отражения на границе оболочки со стенкой замкнутого объема.

Внутренний и внешний радиусы замкнутого объема должны обеспечивать выполнение условия полного внутреннего отражения для лучей накачки, идущих внутри замкнутого объема в плоскости, содержащей внешний и внутренний радиусы его, по касательной к внутренней стенке замкнутого объема. Это достигается, например, в следующих вариантах:

- первый вариант: замкнутый объем выполнен в форме тора, стенка которого покрыта снаружи оболочкой, причем радиусы тора удовлетворяют соотношению  $r/R > n_1/n_3$ ,

где  $r$  - малый (внутренний) радиус тора,  $R$  - большой (внешний) радиус тора,  $n_1$  - показатель преломления оболочки стенки тора,  $n_3$  - показатель преломления материала заполнения;

- второй вариант: замкнутый объем выполнен в форме тора, радиусы которого удовлетворяют соотношению

$$r/R > n_{12}/n_3,$$

где  $r$  - малый (внутренний) радиус тора,  $R$  - большой (внешний) радиус тора,  $n_3$  - показатель преломления материала заполнения,  $n_{12}$  - показатель преломления внешней среды, окружающей замкнутый объем;

- третий вариант: замкнутый объем выполнен в форме тора, радиусы которого удовлетворяют соотношению

$$r/R > n_2/n_3,$$

где  $r$  - малый (внутренний) радиус тора,  $R$  - большой (внешний) радиус тора,  $n_2$  - показатель преломления стенки тора,  $n_3$  - показатель преломления материала заполнения.

На одно или более окон для ввода оптического излучения накачки может быть нанесено просветляющее оптическое покрытие для уменьшения оптических потерь излучения накачки при вводе в замкнутый объем.

Окна в стенке замкнутого объема для входа и выхода отрезков усиливающего оптического волокна могут иметь светоотражающее покрытие для уменьшения потерь излучения накачки, распространяющегося внутри замкнутого объема.

Одно или более окон для ввода оптического излучения накачки могут быть выполнены в виде бороздок на внешней поверхности стенки замкнутого объема, причем бороздки имеют как минимум две боковые стенки, как минимум одна из них шлифована, оптическое излучение накачки вводится через шлифованные боковые стенки бороздки, размеры которых достаточны для введения оптического пучка лучей накачки под углом Брюстера, а угол, который образуют шлифованные боковые стенки бороздки к внешней поверхности стенки замкнутого объема, позволяет введенному в замкнутый объем оптическому излучению накачки распространяться, испытывая полное внутреннее отражение на стенке замкнутого объема.

Одно или более окон для ввода излучения накачки могут быть выполнены в виде герметизируемых отверстий в стенке замкнутого объема, через которые внутрь

замкнутого объема дополнительно введены отрезки оптического волокна накачки, по которым излучение накачки вводится внутрь замкнутого объема. При этом, по крайней мере, часть длины каждого отрезка волокна накачки, расположенной внутри замкнутого объема, лишена оболочки, так что излучение накачки выходит из волокна накачки через его боковую поверхность в замкнутый объем, причем числовая апертура волокна накачки обеспечивает выход излучения накачки в замкнутый объем в диапазоне углов, для которых выполняются условия полного внутреннего отражения, а показатель преломления волокна накачки не превосходит показателя преломления материала заполнения. Одно или более окон для ввода излучения накачки может быть объединено с одним или более окнами для входа и выхода отрезков усиливающего оптического волокна.

Излучение накачки может быть введено в замкнутый объем в двух противоположных направлениях.

Замкнутый объем может иметь дополнительные ввод и вывод для прокачки материала заполнения.

Как минимум один из отрезков усиливающего оптического волокна может быть использован в качестве усиливающей среды для получения лазерной генерации. Для этого вход и выход отрезка усиливающего волокна должны быть встроены в лазерный резонатор, имеющий как минимум одно частично пропускающее зеркало, либо (в случае кольцевого резонатора) ответвитель для вывода генерируемого лазерного излучения.

В устройстве, включающем, как минимум, два отрезка усиливающего оптического волокна, как минимум, один из отрезков усиливающего оптического волокна может быть использован в качестве усиливающей среды для получения лазерной генерации, а еще как минимум один - для усиления генерируемого лазерного излучения. Для этого вход и выход первого отрезка усиливающего волокна должны быть встроены в лазерный резонатор, имеющий, как минимум, одно частично пропускающее зеркало, либо (в случае кольцевого резонатора) ответвитель для вывода генерируемого лазерного излучения. Генерируемое при этом лазерное излучение, отводимое из резонатора через частично пропускающее зеркало, либо через ответвитель, вводится во второй отрезок усиливающего волокна устройства, где происходит его усиление. В результате с выхода второго отрезка усиливающего волокна может быть получено мощное лазерное излучение (мощностью до нескольких Вт и больше).

Для механической фиксации устройства могут быть использованы места присоединения окон для ввода оптического излучения накачки к стенке замкнутого объема, места герметизации окон в стенке замкнутого объема для входа и выхода отрезков усиливающего оптического волокна, ввод и вывод для прокачки материала заполнения.

#### Перечень чертежей

Описание предлагаемого устройства для усиления оптического сигнала поясняется чертежами: фиг.1 - схема устройства для усиления оптического сигнала; фиг.2 - поперечный разрез замкнутого объема; фиг.3 - поперечный разрез замкнутого объема с другим числом усиливающих волокон; фиг.4 - схема устройства с изображением хода лучей оптического излучения накачки в замкнутом объеме; фиг.5 - схема устройства для усиления оптического сигнала с окном для ввода излучения накачки в виде бороздки; фиг.6 - ход лучей накачки при вводе внутрь замкнутого объема через входное окно в виде бороздки; фиг.7 - вариант схемы устройства, в котором полное внутреннее отражение излучения накачки происходит на внутренней границе стенки



замкнутого объема, с изображением хода лучей оптического излучения накачки в замкнутом объеме; фиг.8 - вариант схемы устройства, в котором полное внутреннее отражение излучения накачки происходит на внешней границе стенки замкнутого объема с внешней средой, с изображением хода лучей оптического излучения накачки в замкнутом объеме; фиг.9 - вариант схемы устройства, в котором излучение накачки вводится в замкнутый объем через окно для ввода накачки по волокну накачки.

На чертежах: 1 - оболочка стенки замкнутого объема, 2 - стенка замкнутого объема, 3 - материал заполнения, 4 - один или более витков усиливающего оптического волокна, 5 - герметизируемое окно в стенке замкнутого объема для входа и выхода отрезков усиливающего оптического волокна, 6 - вход усиливающего волокна, 7 - средняя часть усиливающего волокна, 8 - выход усиливающего волокна, 9 - окно для ввода излучения накачки, ориентированное под углом Брюстера и (или) покрытое просветляющим оптическим покрытием, 10 - направление распространения входящего в усиливающее устройство оптического сигнала, 11 - направление распространения выходящего усиленного оптического сигнала, 12 - внешняя среда, 13 - излучение накачки, 14 - окно для ввода излучения накачки, выполненное в виде бороздки на стенке замкнутого объема, 15 - шлифованная боковая стенка бороздки, через которую вводится оптическое излучение накачки, 16 - излучение накачки, прошедшее через боковую стенку бороздки внутрь стенки замкнутого объема, 17 - окно для ввода излучения накачки, выполненное в виде герметизируемого отверстия в стенке замкнутого объема, 18 - волокно накачки.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения - работа устройства

Излучение накачки 13 вводится через окно 9 внутрь замкнутого торообразного объема, ограниченного стенкой 2 (см. фиг.4), которая может быть изготовлена из стекла, кварца или другого материала, прозрачного для оптического излучения накачки. Наружная поверхность стенки 2 замкнутого объема может быть покрыта оболочкой 1. Прошедшее через окно 9 излучение накачки 13 распространяется внутри замкнутого объема, заполненного материалом заполнения 3. При этом излучение накачки 13 падает на стенку 2 замкнутого объема, преломляется на границе раздела материала заполнения 3 и стенки 2, заходит внутрь стенки 2 замкнутого объема, доходит до границы раздела стенки 2 замкнутого объема и оболочки 1 стенки замкнутого объема и испытывает там полное внутреннее отражение, возвращаясь в стенку 2 и далее в материал заполнения 3. Полное внутреннее отражение излучения накачки 13 от стенки 2 замкнутого объема происходит многократно, как показано на фиг.3, в результате чего излучение накачки 13 многократно пересекает замкнутый объем и введенный в него через окно 5 средний участок 7 усиливающего оптического волокна, делающий внутри замкнутого объема один или более витков 4. Проходя через средний участок усиливающего волокна 7, образующего витки 4, излучение накачки 13 создает инверсию населенностей квантовых уровней энергии. Усиливаемый оптический сигнал 10 вводится во входной участок 6 усиливающего волокна, откуда, распространяясь по волокну, попадает в средний участок усиливающего волокна 7, образующий витки 4, где усиливается за счет созданной инверсной населенности квантовых уровней энергии. После этого усиленный оптический сигнал попадает в выходной участок 8 усиливающего волокна и на выход устройства 11. Для работы устройства необходимо изготовление замкнутого объема с подходящей геометрией и правильный выбор показателей преломления материалов. Так, для того, чтобы излучение накачки 13, распространяющееся в материале заполнения 3 в замкнутом

объеме, вошло в образующую витки 4 среднюю часть 7 отрезка усиливающего волокна и не испытало при этом полного внутреннего отражения, наименьший по поперечному сечению средней части 7 отрезка усиливающего волокна показатель преломления должен быть больше показателя преломления материала заполнения 3.

5 Для обеспечения многократного прохождения излучения накачки 13 через замкнутый объем необходимо, чтобы показатель преломления материала заполнения 3, заполняющего замкнутый объем, был больше показателя преломления оболочки 1, покрывающей наружную поверхность стенки 2. Наряду с последним условием на  
10 показатели преломления, другое условие должно быть наложено на геометрию замкнутого объема. Так, замкнутый объем может быть выполнен в форме тора, при этом отношение малого и большого радиусов тора должно быть не меньше отношения показателей преломления оболочки 1 стенки тора и материала  
15 заполнения 3. Замкнутый объем может быть выполнен в виде трубки, замкнутой в виде кольца, при этом должно выполняться условие

$$(R-d)/R > n_1/n_3,$$

где R - наименьший радиус кривизны кольцеобразной трубки, в форме которой выполнен замкнутый объем, d - максимальная толщина такой трубки, n<sub>1</sub> - показатель  
20 преломления оболочки 1 замкнутого объема, n<sub>3</sub> - показатель преломления материала заполнения 3.

В другом варианте устройства внешняя поверхность замкнутого объема может не покрываться оболочкой, при этом полное внутреннее отражение оптического  
25 излучения накачки 13 происходит на границе стенки замкнутого объема с материалом заполнения 3 (см. фиг.7). Так, излучение накачки 13 вводится через окно 9 внутрь замкнутого торообразного объема, ограниченного стенками 2. Прошедшее через окно 9 излучение накачки 13 распространяется внутри замкнутого объема, заполненного материалом заполнения 3. При этом излучение накачки 13 падает на  
30 стенку 2 замкнутого объема, испытывает там полное внутреннее отражение и возвращается в материал заполнения 3. Полное внутреннее отражение излучения накачки 13 от стенки 2 замкнутого объема происходит многократно, как показано на фиг.7, в результате чего излучение накачки 13 многократно пересекает замкнутый  
35 объем и введенный в него через окно 5 средний участок 7 усиливающего оптического волокна, делающий внутри замкнутого объема один или более витков 4. Проходя через средний участок усиливающего волокна 7, образующего витки 4, излучение накачки 13 создает инверсию населенностей квантовых уровней энергии. Усиливаемый оптический сигнал 10 вводится во входной участок 6 усиливающего волокна, откуда,  
40 распространяясь по волокну, попадает в средний участок усиливающего волокна 7, образующий витки 4, где усиливается за счет созданной инверсной населенности квантовых уровней энергии. После этого усиленный оптический сигнал попадает в выходной участок 8 усиливающего волокна и на выход устройства 11. Для  
45 обеспечения многократного прохождения излучения накачки 13 через замкнутый объем необходимо, чтобы показатель преломления материала заполнения 3 был больше показателя преломления материала стенки 2 замкнутого объема. Наряду с последним условием на показатели преломления, другое условие должно быть  
50 наложено на геометрию замкнутого объема. Так, замкнутый объем может быть выполнен в форме тора, при этом отношение малого и большого радиусов тора должно быть не меньше отношения показателей преломления стенки 2 тора и материала заполнения 3. Замкнутый объем может быть выполнен в виде трубки, замкнутой в виде кольца, при этом должно выполняться условие

$$(R-d)/R > n_2/n_3,$$

где R - наименьший радиус кривизны кольцеобразной трубки, в форме которой выполнен замкнутый объем, d - максимальная толщина такой трубки,  $n_2$  - показатель преломления стенки 2 замкнутого объема,  $n_3$  - показатель преломления материала заполнения 3.

В другом варианте устройства внешняя поверхность замкнутого объема также может не покрываться оболочкой, при этом полное внутреннее отражение оптического излучения накачки 13 происходит на границе стенки замкнутого объема с внешней средой 12 (см. фиг.8). Так, излучение накачки 13 вводится через окно 9 внутрь замкнутого торообразного объема, ограниченного стенками 2. Прошедшее через окно 9 излучение накачки 13 распространяется внутри замкнутого объема, заполненного материалом заполнения 3. При этом излучение накачки 13 падает на стенку 2 замкнутого объема, преломляется на границе раздела материала заполнения 3 и стенки 2, заходит внутрь стенки 2 замкнутого объема, доходит до границы раздела стенки 2 замкнутого объема и внешней среды 12 и испытывает там полное внутреннее отражение, возвращаясь в стенку 2 и далее в материал заполнения 3. Полное внутреннее отражение излучения накачки 13 от стенки 2 замкнутого объема происходит многократно, как показано на фиг.8, в результате чего излучение накачки 13 многократно пересекает замкнутый объем и введенный в него через окно 5 средний участок 7 усиливающего оптического волокна, делающий внутри замкнутого объема один или более витков 4. Проходя через средний участок усиливающего волокна 7, образующего витки 4, излучение накачки 13 создает инверсию населенностей квантовых уровней энергии. Усиливаемый оптический сигнал 10 вводится во входной участок 6 усиливающего волокна, откуда, распространяясь по волокну, попадает в средний участок усиливающего волокна 7, образующий витки 4, где усиливается за счет созданной инверсной населенности квантовых уровней энергии. После этого усиленный оптический сигнал попадает в выходной участок 8 усиливающего волокна и на выход устройства 11. Для обеспечения многократного прохождения излучения накачки 13 через замкнутый объем необходимо, чтобы показатель преломления материала заполнения 3 был больше показателя преломления внешней среды 12. Наряду с последним условием на показатели преломления, другое условие должно быть наложено на геометрию замкнутого объема. Так, замкнутый объем может быть выполнен в форме тора, при этом отношение малого и большого радиусов тора должно быть не меньше отношения показателей преломления внешней среды 12 и материала заполнения 3. Замкнутый объем может быть выполнен в виде трубки, замкнутой в виде кольца, при этом должно выполняться условие

$$(R-d)/R > n_1/n_3,$$

где R - наименьший радиус кривизны кольцеобразной трубки, в форме которой выполнен замкнутый объем, d - максимальная толщина такой трубки,  $n_3$  - показатель преломления материала заполнения 3,  $n_1$  - показатель преломления внешней среды 12.

Средняя часть 7 одного или более отрезков усиливающих волокон, входящих в состав устройства, может иметь однородный показатель преломления по поперечному сечению, причем значение показателя преломления средней части усиливающего волокна должно быть больше показателя преломления материала заполнения 3. При этом усиливаемый оптический сигнал распространяется в средней части 7 отрезка (-ов) усиливающего волокна, не выходя из него в материал заполнения 3 за счет эффекта полного внутреннего отражения.

Средняя часть 7 одного или более отрезков усиливающих волокон, входящих в состав устройства, может состоять из сердцевины и оболочки, причем показатель преломления сердцевины отрезка усиливающего волокна больше показателя преломления оболочки замкнутого объема. При этом усиливаемый оптический сигнал распространяется в сердцевине средней части 7 отрезка (-ов) усиливающего волокна, не выходя из нее в материал заполнения 3 за счет эффекта полного внутреннего отражения.

Одно или несколько окон для ввода излучения накачки могут быть выполнены в виде бороздок 14 на стенке 2 замкнутого объема. Бороздки 14 имеют как минимум две боковых стенки, как минимум одна из которых шлифована. Шлифованная стенка 15 бороздки 14 ориентирована под углом Брюстера к вводимому в замкнутый объем пучку излучения накачки 13. Ориентация стенки 15 бороздки 14 относительно поверхности стенки 2 замкнутого объема дает возможность вводить излучение накачки 13 внутрь замкнутого объема в диапазоне углов, позволяющем излучению накачки 13 распространяться, испытывая полное внутреннее отражение и многократно пересекая замкнутый объем, как показано на фиг.5. В остальном работа устройства аналогична описанной выше.

Показатели преломления материала заполнения 3 и стенки 2 замкнутого объема подбираются достаточно близкими друг к другу для уменьшения мощности рассеиваемого излучения. Действительно при введении излучения накачки 13 через окно 9 или через окно, выполненное в виде бороздки 14, излучение накачки попадает сначала в стенку 2 замкнутого объема, проходя через стенку 2, излучение накачки падает на границу стенки 2 и материала заполнения 3. При этом часть энергии уходит в виде отраженной волны обратно в стенку 2 замкнутого объема и далее в оболочку 1 и (или) во внешнюю среду 12. Для более эффективной работы устройства необходимо минимизировать потери энергии, для чего следует уменьшить абсолютное значение разности показателей преломления стенки 2 замкнутого объема и материала заполнения 3. Максимально допустимое значение указанного модуля разности показателей преломления должно выбираться из двух условий: превышение коэффициента усиления оптического сигнала над коэффициентом его затухания в устройстве, а также условия превышения возможностей теплоотвода из устройства над суммарной мощностью потерь оптического излучения накачки и оптического сигнала в устройстве.

Одно или несколько окон для ввода излучения накачки могут быть выполнены в виде отверстий 17 в стенке замкнутого объема, через которые внутрь замкнутого объема введены отрезки волокна накачки 18, причем в данной конструкции одно или несколько окон для ввода излучения накачки в виде отверстий 17 могут быть объединены вместе с окнами 5 для входа и выхода отрезков усиливающего оптического волокна. Излучение накачки 13 вводится в один или более отрезок волокна накачки 18 и, распространяясь по нему, входит внутрь замкнутого объема. Волокно накачки 18 лишено оболочки по крайней мере на части длины, расположенной внутри замкнутого объема, так что излучение накачки 13 выходит из волокна накачки через его боковую поверхность в материал заполнения 3. При этом числовая апертура волокна накачки обеспечивает выход излучения накачки 13 в материал заполнения 3 в диапазоне углов, для которых выполняются условия полного внутреннего отражения излучения накачки 13 на границе замкнутого объема. Далее излучение накачки 13 распространяется внутри замкнутого объема, многократно пересекая его и отрезки усиливающего волокна 7, образующие витки 4, и не выходя из

замкнутого объема за счет эффекта полного внутреннего отражения на его границе. В остальном работа устройства аналогична описанному выше.

Для увеличения возможностей теплоотода из устройства, особенно для создания устройств усиления оптического сигнала с высокой мощностью, можно использовать прокачку текучего материала заполнения 3. С этой целью замкнутый объем может быть дополнительно снабжен вводом и выводом для прокачки материала заполнения 3.

Излучение накачки 13 может распространяться в замкнутом объеме сразу в двух (встречных) направлениях. Для этого замкнутый объем должен быть снабжен двумя или более окнами 9 или бороздками 14, причем как минимум через одно из окон излучение вводится в замкнутый объем в одном направлении, а еще через одно - в противоположном направлении. Другим вариантом является наличие как минимум одного окна 9, поддерживающего ввод излучения в замкнутый объем сразу в двух противоположных направлениях, либо использование сразу двух шлифованных боковых стенок 15 как минимум одной бороздки 14 для ввода излучения накачки в замкнутый объем в двух противоположных направлениях.

Для уменьшения потерь энергии накачки при вводе в замкнутый объем, окна 9 и боковые стенки 15 бороздок 14 могут покрываться просветляющим оптическим покрытием.

Для уменьшения потерь энергии, обусловленных поглощением излучения накачки 13 в окне 5 и выходом излучения накачки 13 через окно 5 для входа и выхода отрезков усиливающего волокна, окно 5 может покрываться светоотражающим покрытием. При этом по крайней мере часть излучения накачки 13, попадающее при распространении внутри замкнутого объема на окно 5, будет возвращена обратно в замкнутый объем, что повысит эффективность работы устройства.

Описываемое устройство может использоваться как в качестве усилителя оптического сигнала, так и в качестве активной среды для получения лазерной генерации. При наличии двух и более отрезков усиливающего волокна в замкнутом объеме устройство может использоваться для этих целей одновременно. В последнем случае лазерное излучение, генерируемое с помощью одного из отрезков усиливающего волокна, может быть подано на вход второго отрезка усиливающего волокна, не занятого для лазерной генерации, в результате чего будет получено усиленное лазерное излучение с высоким уровнем мощности.

Для механической фиксации устройства, особенно в отсутствие оболочки 1 стенки 2 замкнутого объема, могут использоваться места присоединения к стенке 2 окон 9 для ввода излучения накачки, ввод и вывод для прокачки материала заполнения 3, а также места герметизации окон 5 в стенке 2 замкнутого объема.

Таким образом, предлагаемое изобретение является эффективным волоконным усилителем, который может иметь одну или несколько независимых пар входов/выходов, может быть легко изготовлен без создания специальных производственных условий и использования сложного производственного оборудования. Дополнительным преимуществом устройства является возможность использования дешевых лазерных источников накачки с низким качеством пучка.

Использованные источники информации

1. Патент US 5161050.
2. Optics Letters. - 1998. - Vol.23. - P.1037-1039.
3. Патент US 7221822.

## Формула изобретения

1. Устройство для усиления оптического сигнала, состоящее из одного или более источников накачки и замкнутого объема, в который введен один или более отрезков усиливающего оптического волокна, вход и выход которых выведены за пределы замкнутого объема, отличающееся тем, что замкнутый объем, имеющий, например, торообразную форму, снабжен одним или более окнами для входа и выхода отрезков усиливающего оптического волокна и имеет одно или более окон для ввода излучения накачки и обеспечивает условия полного внутреннего отражения оптического излучения от источника накачки, так что излучение накачки неоднократно проходит через замкнутый объем, пересекая усиливающее оптическое волокно.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что замкнутый объем имеет стенку, изготовленную из стекла, кварца или другого материала, прозрачного для оптического излучения накачки.

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что замкнутый объем имеет стенку, изготовленную из материала, прозрачного для излучения накачки, причем внешняя поверхность стенки покрыта оболочкой, обеспечивающей полное внутреннее отражение излучения накачки.

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что средняя часть одного или более отрезков усиливающего оптического волокна, размещенная в замкнутом объеме, состоит из сердцевины и оболочки, показатели преломления которых обеспечивают распространение излучения оптического сигнала в сердцевине усиливающего волокна за счет эффекта полного внутреннего отражения на границе сердцевины с оболочкой.

5. Устройство по п.1, отличающееся тем, что пространство между усиливающим оптическим волокном и внутренней поверхностью стенки замкнутого объема равномерно заполнено материалом заполнения, прозрачным для оптического излучения накачки, который может быть в жидком, гелеобразном или другом состоянии.

6. Устройство по п.5, отличающееся тем, что абсолютное значение разности показателей преломления стенки замкнутого объема и материала заполнения не превосходит величины, обеспечивающей превышение коэффициента усиления оптического сигнала над коэффициентом его затухания в устройстве, а также превышение возможностей теплоотвода из устройства над суммарной мощностью потерь оптического излучения накачки и оптического сигнала в устройстве.

7. Устройство по п.5, отличающееся тем, что средняя часть усиливающего оптического волокна, размещенная в замкнутом объеме, имеет однородный показатель преломления по поперечному сечению, превышающий показатель преломления материала заполнения.

8. Устройство по п.5, отличающееся тем, что показатели преломления материалов удовлетворяют следующим условиям:

$$n_{7\min} > n_3 > n_{12},$$

где  $n_3$  - показатель преломления материала заполнения,  $n_{7\min}$  - наименьший по поперечному сечению показатель преломления среднего участка отрезка усиливающего волокна,  $n_{12}$  - показатель преломления внешней среды, окружающей замкнутый объем.

9. Устройство по п.5, отличающееся тем, что стенка замкнутого объема покрыта снаружи оболочкой с показателем преломления  $n_1$ , показатель преломления материала заполнения равен  $n_3$ , а наименьший по поперечному сечению показатель преломления среднего участка отрезка усиливающего волокна равен  $n_{7\min}$ , причем

$$n_{7\min} > n_3 > n_1$$

10. Устройство по п.5, отличающееся тем, что показатели преломления материалов удовлетворяют следующим условиям:

$$n_{7\min} > n_3 > n_2$$

5 где  $n_2$  - показатель преломления стенки замкнутого объема,  $n_3$  - показатель преломления материала заполнения,  $n_{7\min}$  - наименьший по поперечному сечению показатель преломления среднего участка отрезка усиливающего волокна.

11. Устройство по п.5, отличающееся тем, что замкнутый объем выполнен в форме тора, стенка которого покрыта снаружи оболочкой, причем радиусы тора удовлетворяют соотношению:

$$r/R > n_1/n_3$$

15 где  $r$  - малый (внутренний) радиус тора,  $R$  - большой (внешний) радиус тора,  $n_1$  - показатель преломления оболочки стенки тора,  $n_3$  - показатель преломления материала заполнения.

12. Устройство по п.5, отличающееся тем, что замкнутый объем выполнен в форме тора, радиусы которого удовлетворяют соотношению:

$$r/R > n_{12}/n_3$$

20 где  $r$  - малый (внутренний) радиус тора,  $R$  - большой (внешний) радиус тора,  $n_3$  - показатель преломления материала заполнения,  $n_{12}$  - показатель преломления внешней среды, окружающей замкнутый объем.

13. Устройство по п.5, отличающееся тем, что замкнутый объем выполнен в форме тора, радиусы которого удовлетворяют соотношению:

$$r/R > n_2/n_3$$

25 где  $r$  - малый (внутренний) радиус тора,  $R$  - большой (внешний) радиус тора,  $n_2$  - показатель преломления стенки тора,  $n_3$  - показатель преломления материала заполнения.

30 14. Устройство по п.1, отличающееся тем, что на одно или более окон для ввода оптического излучения накачки нанесено просветляющее оптическое покрытие.

15. Устройство по п.1, отличающееся тем, что окна в стенке замкнутого объема для входа и выхода отрезков усиливающего оптического волокна имеют светоотражающее покрытие.

35 16. Устройство по п.1, отличающееся тем, что одно или более окон для ввода оптического излучения накачки выполнены в виде бороздок на внешней поверхности стенки замкнутого объема, причем бороздки имеют как минимум две боковые стенки, как минимум одна из них шлифована, оптическое излучение накачки вводится через шлифованные боковые стенки бороздки, размеры которых достаточны для введения оптического пучка лучей накачки под углом Брюстера, а угол, который образуют шлифованные боковые стенки бороздки к внешней поверхности стенки замкнутого объема, позволяет введенному в замкнутый объем оптическому излучению накачки распространяться, испытывая полное внутреннее отражение на стенке замкнутого объема.

45 17. Устройство по п.1, отличающееся тем, что одно или более окон для ввода излучения накачки выполнены в виде герметизируемых отверстий в стенке замкнутого объема, через которые внутрь замкнутого объема дополнительно введены отрезки оптического волокна накачки, по которым излучение накачки вводится внутрь замкнутого объема, при этом по крайней мере часть длины каждого отрезка волокна накачки, расположенной внутри замкнутого объема, лишена оболочки, так, что излучение накачки выходит из волокна накачки через его боковую поверхность в

замкнутый объем, причем числовая апертура волокна накачки обеспечивает выход излучения накачки в замкнутый объем в диапазоне углов, для которых выполняются условия полного внутреннего отражения, а показатель преломления волокна накачки не превосходит показателя преломления материала заполнения.

5 18. Устройство по п.17, отличающееся тем, что одно или более окон для ввода излучения накачки объединено с одним или более окнами для входа и выхода отрезков усиливающего оптического волокна.

10 19. Устройство по п.1, отличающееся тем, что имеет одно или более окон для ввода излучения накачки в замкнутый объем в двух противоположных направлениях.

20. Устройство по п.1, отличающееся тем, что замкнутый объем дополнительно снабжен вводом и выводом для прокачки материала заполнения.

15 21. Устройство по п.1, отличающееся тем, что как минимум один из отрезков усиливающего оптического волокна служит в качестве усиливающей среды для получения лазерной генерации.

20 22. Устройство по п.1, отличающееся тем, что содержит два или более отрезков усиливающего оптического волокна, как минимум один из которых служит в качестве усиливающей среды для получения лазерной генерации, а еще как минимум один - для усиления генерируемого лазерного излучения.

25 23. Устройство по п.1, отличающееся тем, что для механической фиксации устройства могут быть использованы места присоединения окон для ввода оптического излучения накачки к стенке замкнутого объема, места герметизации окон в стенке замкнутого объема для входа и выхода отрезков усиливающего оптического волокна, ввод и вывод для прокачки материала заполнения.

24. Устройство по п.1, отличающееся тем, что один или более отрезков усиливающего волокна образуют внутри замкнутого объема один или несколько витков.

30 25. Устройство по п.1, отличающееся тем, что замкнутый объем выполнен в виде спиралеобразной трубки, начало и конец которой соединены.

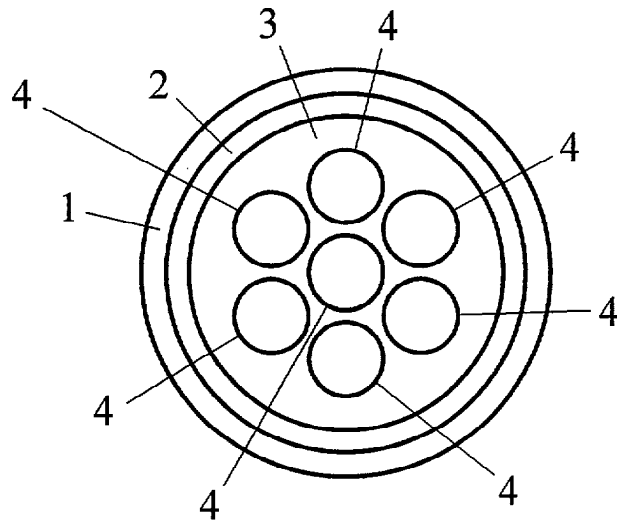
35

40

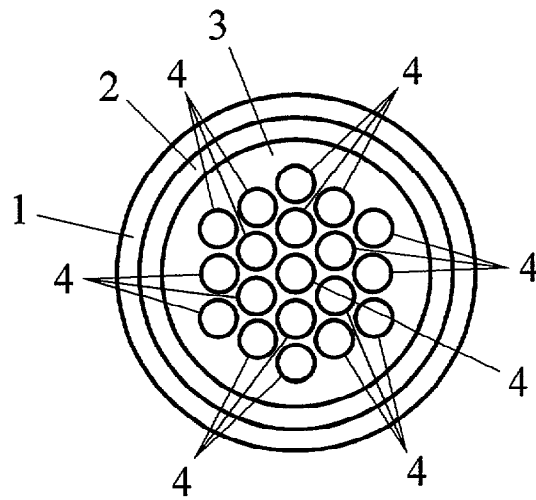
45

50

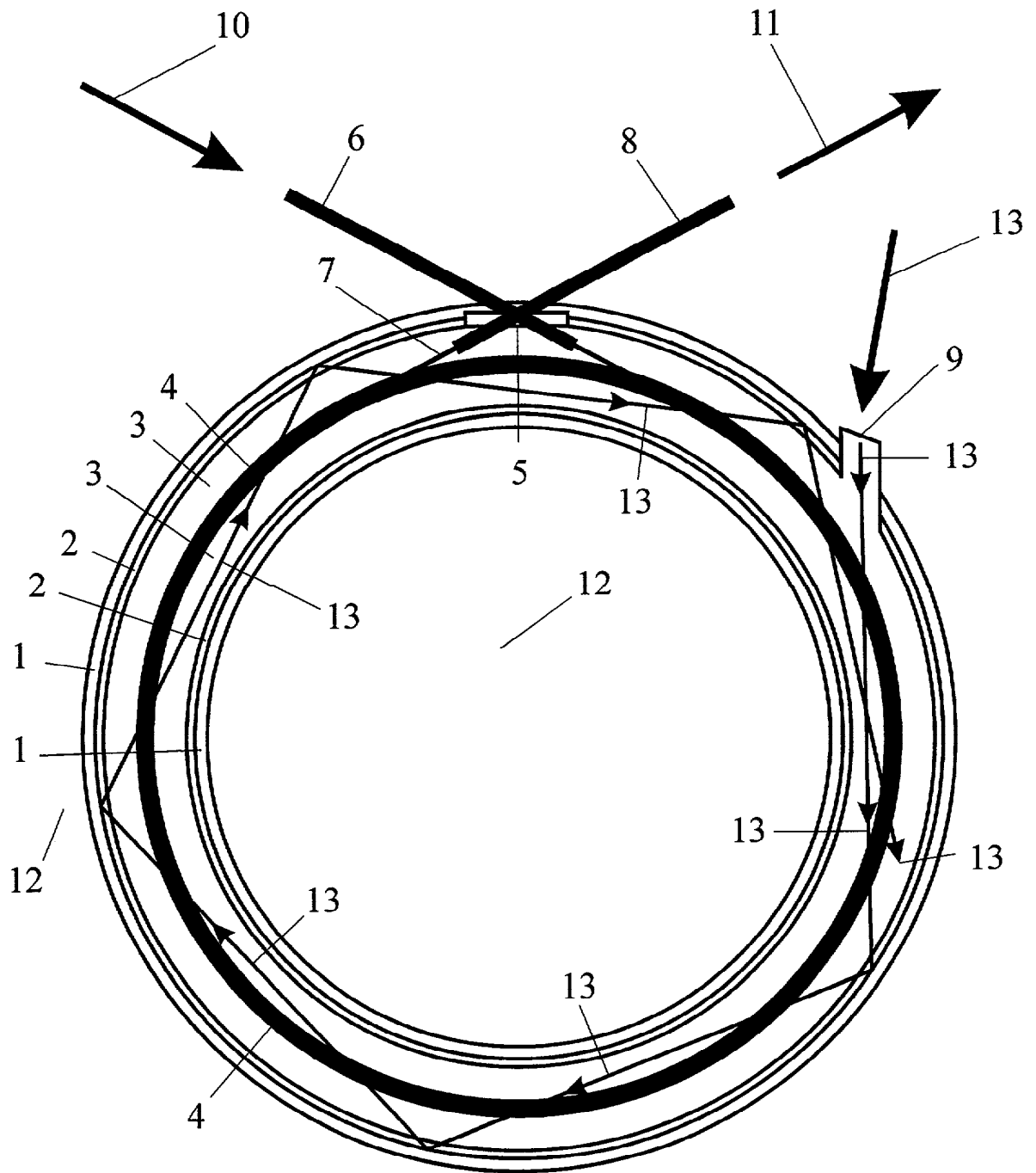




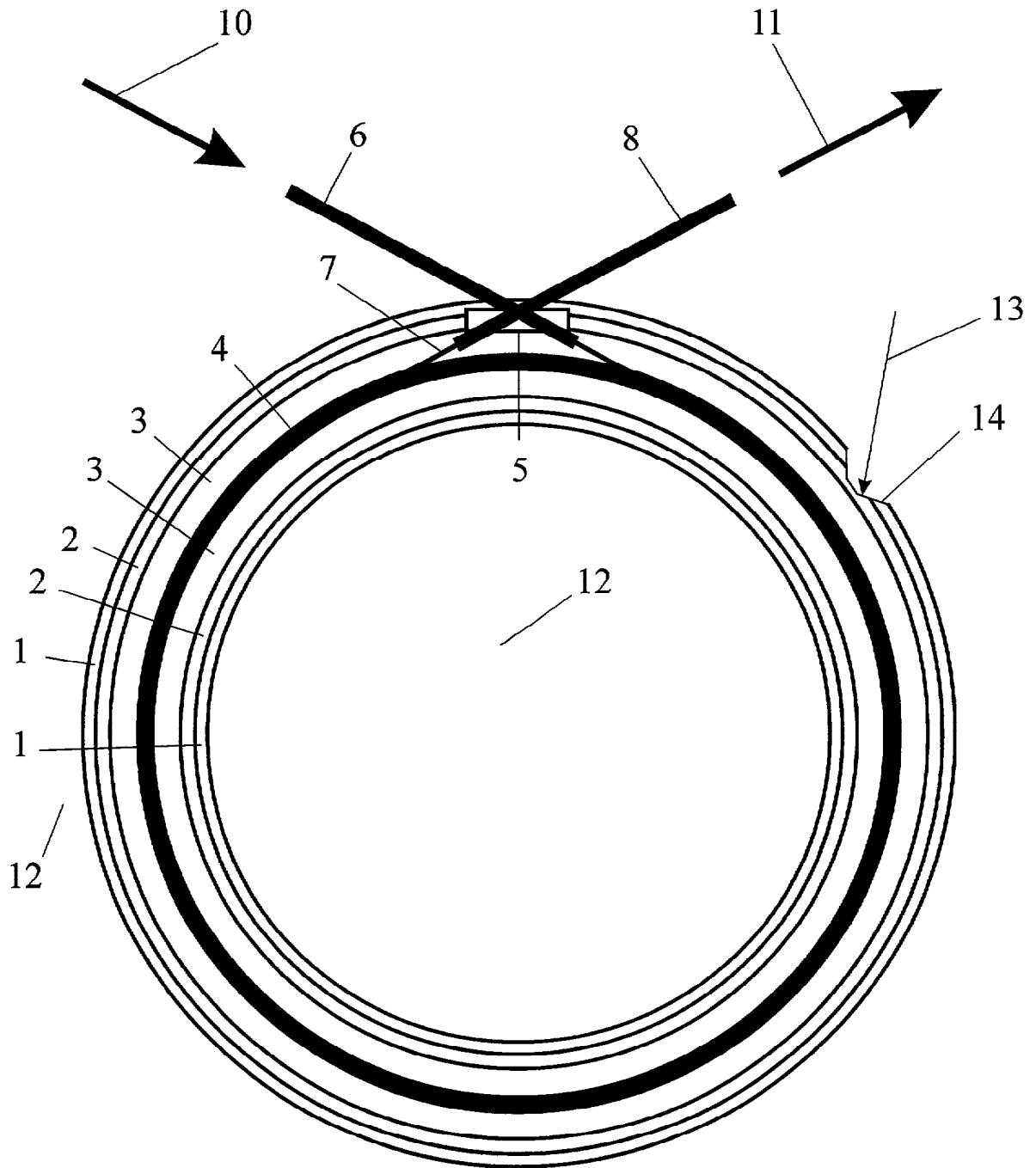
**Фиг. 2**



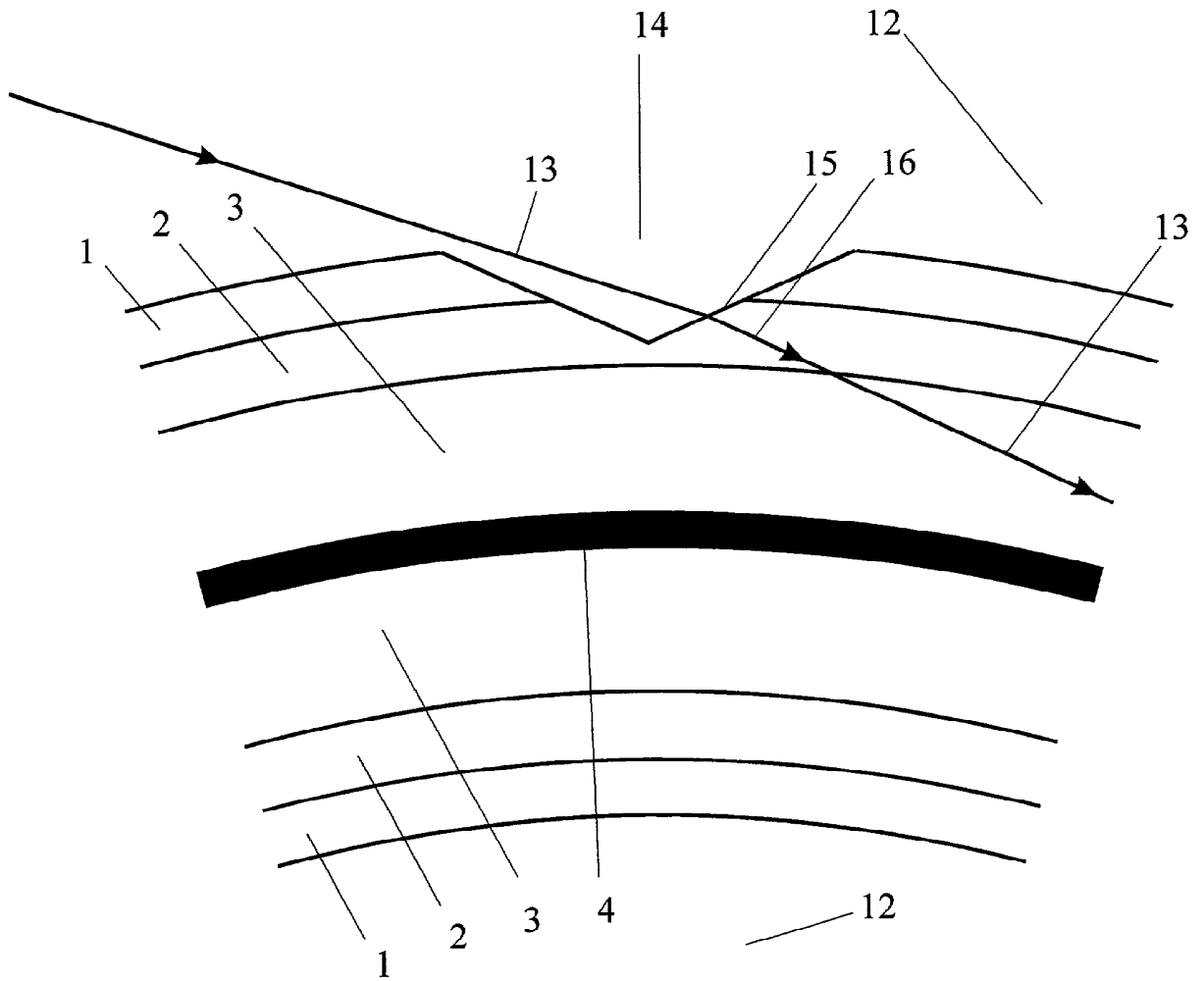
**Фиг. 3**



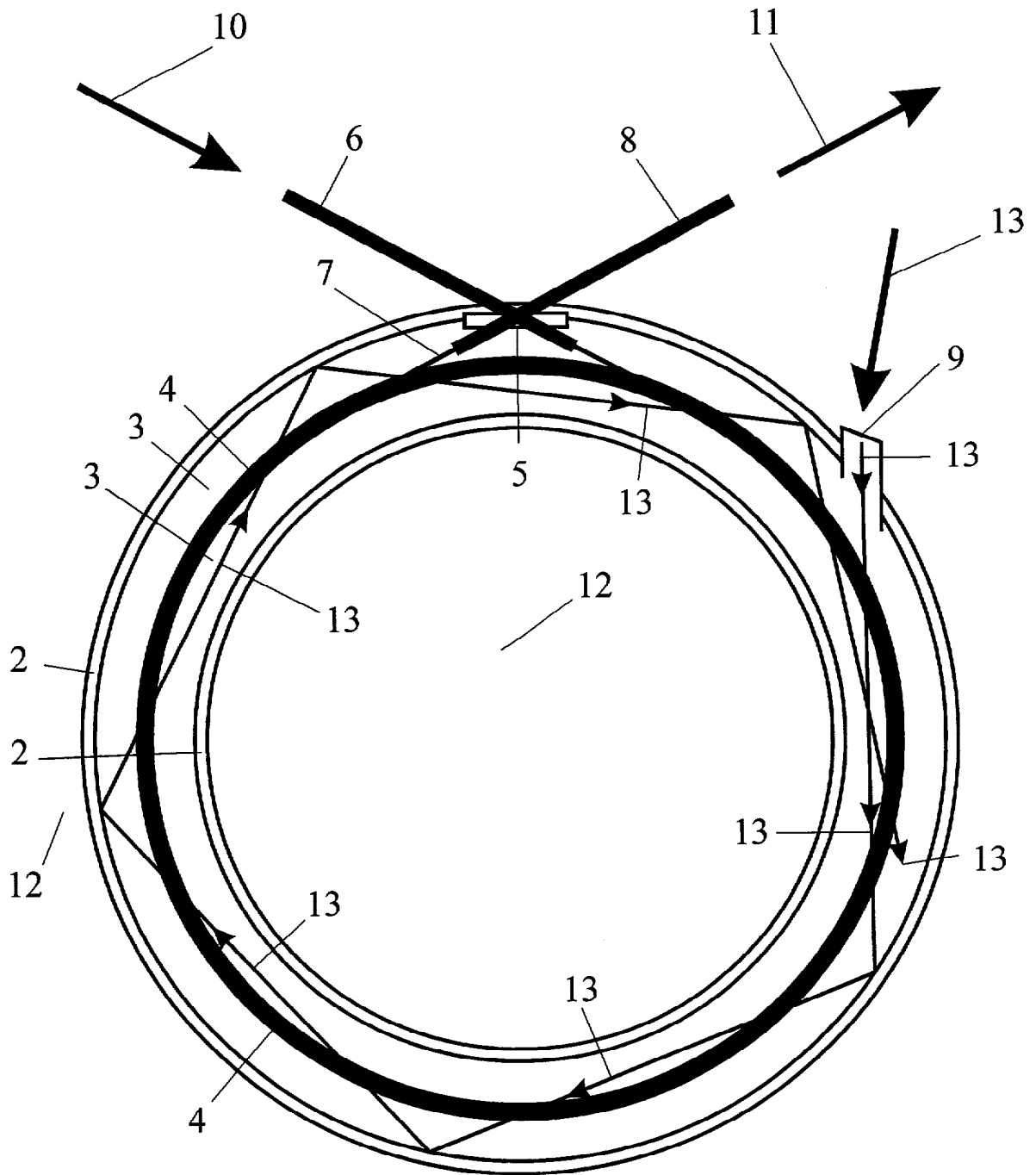
Фиг. 4



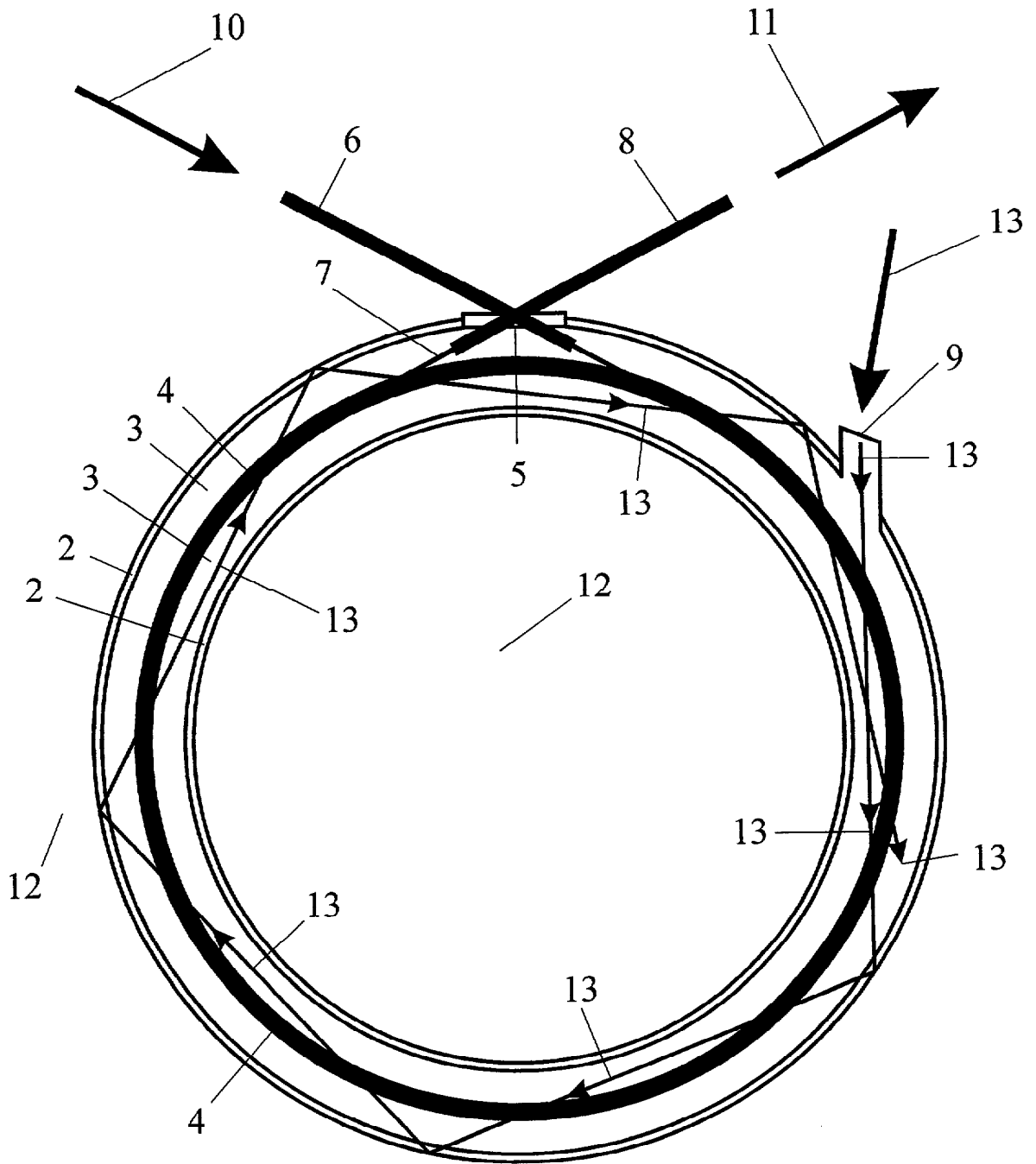
**Фиг. 5**



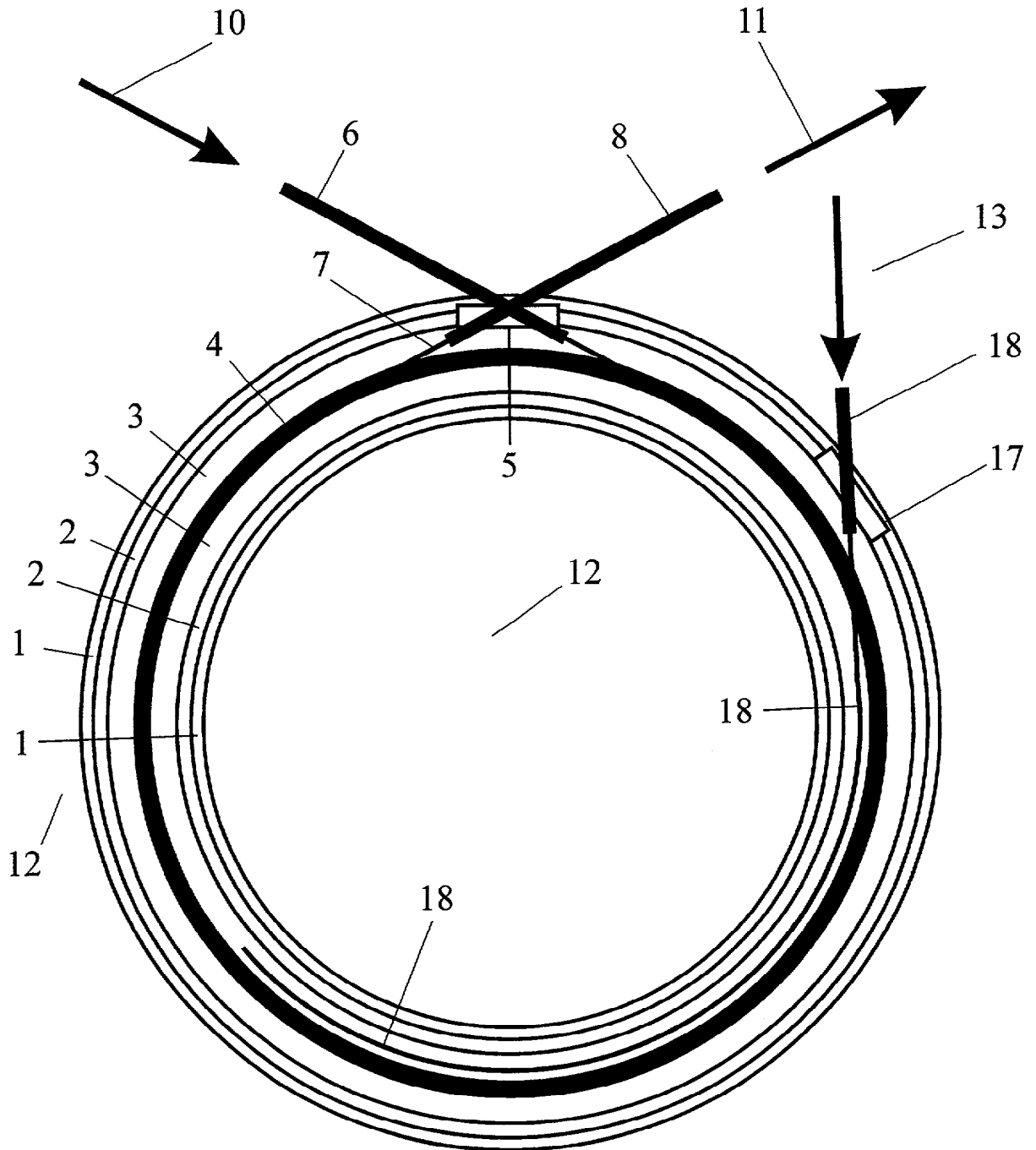
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9