



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011138270/28, 17.02.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.02.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:

17.02.2009 US 61/153,271;

19.08.2009 US 12/544,136;

15.01.2010 US 61/295,562;

16.02.2010 US 12/706,576

(43) Дата публикации заявки: 27.03.2013 Бюл. № 9

(45) Опубликовано: 20.05.2015 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 2005201652 A1, 15.09.2005. US
2006204188 A1, 14.09.2006. US 5696782 A1,
09.12.1997. US 5497442 A, 05.03.1996

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 19.09.2011

(86) Заявка РСТ:
US 2010/024368 (17.02.2010)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2010/144160 (16.12.2010)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ЗЕДИКЕР Марк С. (US),
РИНЗЛЕР Чарльз К. (US),
ФЭРКЛОТ Брайан О. (US),
МОКСЛИ Джоел Ф. (US),
КОБЛИК Йешая (US)

(73) Патентообладатель(и):

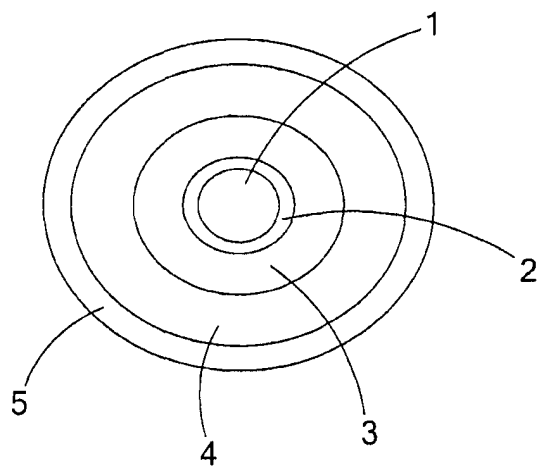
ФОРО ЭНЕРДЖИ ИНК. (US)

(54) ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ НА БОЛЬШОЕ РАССТОЯНИЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к конструкции и составу волоконно-оптических кабелей и лазерных систем. Предложены система и устройство для передачи энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния без значительной потери мощности. Кроме того, предложены системы и конфигурации волоконно-оптического кабеля и структуры оптического волокна, предназначенные для доставки энергии лазерного излучения на

большие расстояния к инструменту или поверхности для приведения в действие или работы инструмента или выполнения операции на поверхности. Технический результат - исключение потерь, вызванных нелинейными эффектами, обеспечение передачи энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния без значительной потери мощности. 5 н. и 12 з.п. ф-лы, 7 ил., 5 табл.



ФИГ. 1А

RU 2 5 5 1 3 9 2 C 2

RU 2 5 5 1 3 9 2 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2011138270/28, 17.02.2010**

(24) Effective date for property rights:
17.02.2010

Priority:

(30) Convention priority:
17.02.2009 US 61/153,271;
19.08.2009 US 12/544,136;
15.01.2010 US 61/295,562;
16.02.2010 US 12/706,576

(43) Application published: **27.03.2013 Bull. № 9**

(45) Date of publication: **20.05.2015 Bull. № 14**

(85) Commencement of national phase: **19.09.2011**

(86) PCT application:
US 2010/024368 (17.02.2010)

(87) PCT publication:
WO 2010/144160 (16.12.2010)

Mail address:

129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):

ZEDIKER Mark S. (US),
RINZLER Charl'z K. (US),
FEhRKLOT Brajan O. (US),
MOKSLI Dzhoel F. (US),
KOBLIK Jeshaja (US)

(73) Proprietor(s):

FORO EhNERDZhI INK. (US)

(54) **FIBRE-OPTIC CABLE FOR LONG-DISTANCE TRANSMISSION OF HIGH-POWER LASER RADIATION**

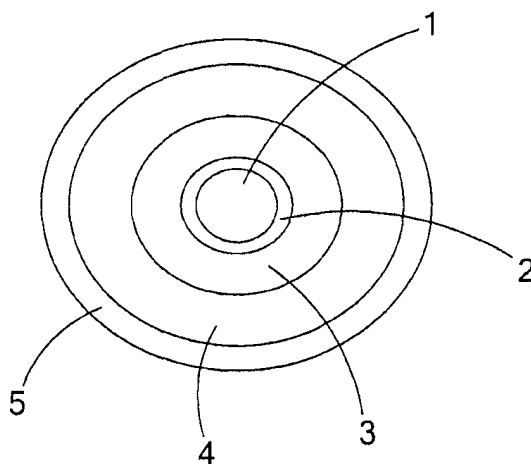
(57) Abstract:

FIELD: physics, optics.

SUBSTANCE: invention relates to the structure and composition of fibre-optic cables and laser systems. The invention provides a system and a device for transmitting high-power laser radiation over a long distance without significant loss of power. The invention also provides systems and configuration of a fibre-optic cable and the structure of optical fibre, designed to transmit laser radiation over long distances to a tool or a surface to activate or operate the tool or perform operations on the surface.

EFFECT: preventing losses caused by nonlinear effects, facilitating transmission of high-power laser radiation over long distances without significant loss of power.

17 cl, 7 dwg, 5 tbl



Фиг. 1А

Эта заявка является частично продолжающейся заявки №12/544136 на патент США, поданной 19 августа 2009 года, под названием “Method and apparatus for delivering high power laser energy over long distances”, по которой в соответствии с §119(e)(1) раздела 35 кодекса законов США испрашивается преимущество приоритета по дате подачи 17 октября 2008 года предварительной заявки №61/106472 на патент США под названием “Transmission of high optical power levels via optical fibers for applications such as rock drilling and power transmission”; а по этой заявке в соответствии с §119(e)(1) раздела 35 кодекса законов США испрашивается преимущество приоритета предварительной заявки №61/295562 на патент США, поданной 15 января 2010 года, под названием “Optical fiber cable for transmission of high power laser energy over great distances” и предварительной заявки №61/153271 на патент США, поданной 17 февраля 2009 года, под названием “Method and apparatus for an armored high power optical fiber for providing boreholes in the Earth”; полное раскрытие каждой из упомянутых выше обыкновенных и предварительных заявок на патенты включено в эту заявку путем ссылки.

Это изобретение было сделано при поддержке государства в рамках заказа DE-AR0000044, выданного управлением перспективных исследований в области энергетики (ARPA-E) Министерства энергетики. Государство имеет определенные права на это изобретение.

Предпосылки создания изобретения

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к конструкции и составу волоконно-оптических кабелей и лазерных систем с использованием таких кабелей, которые обеспечивают возможность передачи энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния, и эти расстояния и уровни передаваемой мощности ранее считались недостижимыми. Кроме того, настоящее изобретение относится к конструкции таких кабелей, выдерживающей суровые атмосферные условия. В частности, настоящее изобретение относится к уникальному и новому сочетанию оптического волокна и многослойной структуры для таких кабелей.

Используемый в этой заявке термин «энергия лазерного излучения высокой мощности» означает, за исключением случаев, когда указано иное, лазерный пучок, имеющий мощность по меньшей мере около 5 кВт (киловатт). Используемый в этой заявке термин «большие расстояния» означает, за исключением случаев, когда указано иное, по меньшей мере около 500 м (метров). Используемые в этой заявке термины «значительная потеря мощности» и «значительные потери мощности» означают больше чем около 2,0 дБ/км (децибел/километр) на выбранной длине волны. Используемый в этой заявке термин «значительная передача мощности» означает передачу по меньшей мере около 50%.

Описание уровня техники

До настоящего изобретения считалось, что существует парадигма, заключающаяся в том, что передача энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния без значительной потери мощности является недостижимой. Вследствие этого также считалось, что нет основания для конструирования или исследования структуры оптического волокна или волоконно-оптического кабеля, предназначенного для передачи энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния.

Потери мощности в оптическом волокне на больших расстояниях происходят по многим причинам, включая потери на поглощение, в частности потери на поглощение из-за гидроксильных ионов (ОН⁻); рэлеевское рассеяние; бриллюэновское рассеяние; рамановское рассеяние; дефекты; включения и изгибные потери. Эти проблемы

изложены в литературе.

Например, в 2006, Crystal Fiber White Paper, под названием “Towards 100 kW fiber laser system scaling up power in fiber lasers for beam combining”, на странице 4 указано, что в случае вынужденного бриллюэновского рассеяния (ВБР) «порог возрастает как квадрат диаметра модового поля (ДМП) сигнала и обратно пропорционально эффективной длине волокна. Следовательно, для повышения мощности желательно иметь большой размер сердцевины и меньшую длину волокна». В статье Corning, NIST-SOFM 2004, под названием “Stimulated Brillouin scattering: An overview of measurements, system impairments, and applications” на странице 1 указано, что «из рассеяний трех типов [рэлеевского, рамановского и бриллюэновского] вынужденное бриллюэновское рассеяние (ВБР) признается доминирующим для нелинейности оптического волокна». Далее в статье Corning на странице 3 указано, что «кривая выходной мощности ... также показывает, что мощность сигнала снижается при повышении входной мощности сверх определенного предела. Этот вредный результат будет эффективно ограничивать выходную мощность сигнала, но будет продолжаться передача мощности для стоксова (отраженного) сигнала с помощью электрострикционного процесса, который лежит в основе явления вынужденного бриллюэновского рассеяния». При этом в статье Corning на странице 4 указано, что «вынужденное бриллюэновское рассеяние известно как сильно ограничивающее проектирование различных оптических систем передачи, усилителей и лазеров».

Эта воспринимаемая парадигма, выраженная в уровне техники, в соответствии с которой считается, что существует связь между длиной волокна и передаваемой мощностью, также показана в Muto et al., “Laser cutting for thick concrete by multi-pass techniques”, May 31, 2007, Vol.5, Supplement, pp.S39-S41, Chinese Optics Letters, при этом, хотя Muto установил, что мощность 4 кВт доставляется по волокну длиной 1 км, когда к волокну прикладывается мощность 5 кВт от лазера, однако Muto не смог исключить явление вынужденного рамановского рассеяния (ВРР). Как показано в статье Muto, это вредное явление эффективно ограничивает выходную мощность по мере увеличения длины или мощности. Явление вынужденного рамановского рассеяния наблюдается в спектре, который показан на фиг. 3 статьи Muto, в этом описании эта фигура представлена как фиг.2. На фиг.2 лазерный пучок показан в виде полосы 200 и вынужденное рамановское рассеяние показано в виде полосы 201. Таким образом, до настоящего изобретения считалось, что при увеличении входной мощности от лазера или длины волокна выходная мощность волокна не будет повышаться вследствие вынужденного бриллюэновского рассеяния, вынужденного рамановского рассеяния и других нелинейных явлений. В частности, при вынужденном бриллюэновском рассеянии выходная мощность передается по волокну обратно ко входу. Кроме того, вынужденное бриллюэновское рассеяние, вынужденное рамановское рассеяние, а также другие вредные нелинейные эффекты в дополнение к ограничению величины мощности, которую можно передавать на выход волокна, могут приводить к нагреву волокна и в конечном счете к повреждению. Поэтому, как признает Muto на странице S41, «установлено, что доставка мощности 10 кВт возможна по волокну длиной 250 м при диаметре сердцевины 150 мкм. Физическим явлением, которое ограничивает передаваемую мощность, является вынужденное рамановское рассеяние». Таким образом, Muto, как это до него делали другие, считал невозможным доставку энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния.

Настоящим изобретением эта парадигма длина-мощность разрушается и область доставки энергии лазерного излучения высокой мощности выводится за пределы этой

парадигмы за счет создания системы с лазером и волоконно-оптическим кабелем, в которой исключаются эти и другие потери, вызываемые нелинейными эффектами, и которая обеспечивает передачу энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния без значительной потери мощности.

5 Сущность изобретения

Желательно иметь волоконно-оптический кабель, который обеспечивает доставку энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния и без значительной потери мощности. Помимо всего прочего, настоящим изобретением удовлетворяется эта потребность путем создания изделий, описанных в этой заявке.

10 Поэтому в этой заявке предложен волоконно-оптический кабель для передачи энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния, кабель может иметь длину, которая больше чем около 0,5 км, больше чем 2 км, больше чем около 3 км или больше чем около 5 км; кабель представляет собой слоистую структуру, содержащую: сердцевину; оболочку; покрытие; первый защитный слой и второй защитный слой,
15 кабель способен передавать энергию лазерного излучения, имеющую мощность выше чем или равную около 1 кВт, около 5 кВт или около 10 кВт, на протяжении длины кабеля при потере мощности меньше чем около 2 дБ/км, предпочтительно меньше чем около 1 дБ/км и более предпочтительно меньше чем около 0,3 дБ/км на выбранной длине волны. Кроме того, предложен такой волоконно-оптический кабель, по которому
20 к инструменту или поверхности доставляется энергия лазерного излучения, имеющая спектр, который является по существу свободным от явления вынужденного рамановского рассеяния.

Предложена система для доставки энергии лазерного излучения высокой мощности к инструменту, при этом система имеет мощный лазер, имеющий мощность по меньшей
25 мере около 1 кВт, по меньшей мере около 5 кВт или по меньшей мере около 10 кВт. Система имеет волоконно-оптический кабель, имеющий сердцевину; оболочку; покрытие и первый защитный слой. Система имеет инструмент. Кабель в системе имеет первый и второй концы и длину между первым и вторым концами; длина кабеля больше чем 0,5 км, больше чем около 1 км, больше чем около 2 км или больше чем около 3 км.
30 Первый конец кабеля оптически связан или соединен с лазером, и второй конец кабеля связан инструментом, а предпочтительно оптически связан или соединен с ним. Лазерный пучок от по меньшей мере части лазера передается по кабелю и имеет мощность по меньшей мере около 1 кВт на первом конце кабеля, а потеря мощности лазерного пучка в кабеле от первого конца до второго конца на выбранной длине волны составляет
35 меньше чем около 2 дБ/км и предпочтительно составляет меньше чем около 1 дБ/км, и более предпочтительно, составляет меньше чем около 0,5 дБ/км. Кроме того, предложен такой волоконно-оптический кабель, которым к инструменту или поверхности доставляется энергия лазерного излучения, имеющая спектр, в котором явление вынужденного рамановского спектра по существу отсутствует.

40 Предложена катушка волоконно-оптического кабеля для передачи энергии лазерного излучения на большие расстояния. Катушка имеет кабель, намотанный вокруг катушки, при этом кабель можно сматывать с катушки и наматывать на нее, и поэтому он является перематываемым. Кабель имеет длину больше чем около 0,5 км, около 1 км, около 2 км или около 3 км и содержит: сердцевину; оболочку; покрытие; первый защитный
45 слой и второй защитный слой. По длине кабеля можно передавать энергию лазерного излучения высокой мощности при потере мощности меньше чем около 2 дБ/км, и более предпочтительно, меньшей мере около 1 дБ/км, и еще более предпочтительно, меньше чем около 0,5 дБ/км, и в еще большей степени предпочтительно, около 0,3 дБ/км. Для

облегчения транспортировки кабеля грузовой машиной наружный диаметр намотанной катушки составляет меньше чем около 6 м.

Краткое описание чертежей

На чертежах:

- 5 фиг. 1А - поперечное сечение, необязательно в масштабе, структуры волоконно-оптического кабеля настоящего изобретения;
- фиг.1В - продольное сечение волоконно-оптического кабеля из фиг.1А;
- фиг.2 - вид спектра из предшествующего уровня техники с показом наличия явления вынужденного рамановского рассеяния;
- 10 фиг.3 - функциональная схема испытательной системы; и
- фиг. 4-6 - спектры энергии лазерного излучения, передаваемой в соответствии с настоящим изобретением с показом отсутствия явления вынужденного рамановского рассеяния.

Описание чертежей и предпочтительных осуществлений

- 15 В общем настоящее изобретение относится к волоконно-оптическим структурам, предназначенным для передачи энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния без значительной потери мощности. Это изобретение также относится к структуре волоконно-оптических кабелей и без ограничения к структуре таких кабелей, которые предназначены для использования в суровых атмосферных
- 20 условиях.

- Итак, на фиг. 1А и 1В представлен в целом волоконно-оптический кабель, имеющий сердцевину 1, оболочку 2, покрытие 3, первый защитный слой 4 и второй защитный слой 5. Хотя показанное на фигурах является концентрическим, понятно, что
- 25 компоненты могут быть расположены со смещением от оси, со смещением от оси и без смещения от оси на различных местах и что сердцевина, сердцевина и оболочка, а также сердцевина, оболочка и покрытие могут быть длиннее или короче одного или нескольких защитных слоев.

- Предпочтительно, чтобы сердцевина 1 была образована из плавленого кварца, имеющего содержание воды не больше чем 0,25 частей на миллион. Сердцевину можно
- 30 образовать из других материалов, таких как материалы, раскрытые в заявке № 12/544136 на патент США, все раскрытие которой включено в эту заявку путем ссылки. Доступные материалы повышенной чистоты и материалы наивысшей чистоты являются предпочтительными для использования в сердцевине. Благодаря этим материалам повышенной чистоты минимизируются потери на рассеяние, обусловленные дефектами
- 35 и включениями. Сердцевина имеет диаметр от около 200 до около 700 мкм, предпочтительно от около 500 до около 600 мкм и более предпочтительно около 600 мкм. Используемый в этой заявке термин «около» охватывает пределы плюс-минус 10%.

- Предпочтительно, чтобы оболочка 2 была образована из легированного фтором
- 40 плавленого кварца. Оболочку можно образовать из других материалов, таких как плавленый кварц, легированный ионами с изменяющимся показателем (германия), а также материалов, раскрытых в заявке № 12/544136 на патент США, раскрытие которой включено в эту заявку путем ссылки. В зависимости от используемой длины волны и диаметра сердцевины толщина оболочки составляет от около 50 мкм до около 250 мкм,
- 45 предпочтительно от около 40 мкм до около 70 мкм и более предпочтительно около 60 мкм. Термин «толщина», используемый в этой заявке относительно многослойной структуры, означает расстояние между внутренним диаметром слоя и его внешним диаметром. Толщина оболочки зависит от размера сердцевины и предполагаемой длины

волны и связана с ними. В общем случае при длине волны 1,1 мкм внешний диаметр оболочки должен быть равен $1,1 \times$ внешний диаметр сердцевины или больше; а при длине волны 1,5 мкм внешний диаметр оболочки должен быть равен $1,5 \times$ внешний диаметр сердцевины или больше. Хотя показана единственная оболочка, понятно, что

5 можно использовать многочисленные оболочки.

Предпочтительно, чтобы покрытие 3 было образовано из высокотемпературного акрилатного полимера, для более высоких температур желательно иметь полиимидное покрытие. Покрытие может быть образовано из других материалов, таких как металл, а также материалов, раскрытых в заявке № 12/544136 на патент США, раскрытия

10 которой включены в эту заявку путем ссылки. Толщина покрытия составляет от около 50 мкм до около 250 мкм, предпочтительно от около 40 мкм до около 150 мкм и более предпочтительно около 90 мкм. Толщина покрытия может быть даже больше для случая экстремальных сред, условий и специального применения или она может быть меньше для случая сред и применений, которые являются менее трудными. Можно

15 специально приспособливать защиту сердцевины и оболочки к конкретной среде и/или физическим опасностям, которые могут встречаться и/или предполагаться при конкретном использовании кабеля.

Первый защитный слой 4 и второй защитный слой 5 могут быть одинаковыми или они могут быть разными, или они могут быть единственным составным слоем,

20 содержащим разные материалы. Предпочтительно, чтобы первый и второй защитные слои были из разных материалов.

Предпочтительно, чтобы первый защитный слой был тиксотропным гелем. В этом предпочтительном осуществлении этот слой прежде всего предотвращает потери на поглощение в волокне в результате действия гидроксильных ионов и вибрации.

25 Тиксотропный гель предохраняет волокно от механического повреждения, обусловленного вибрациями, а также обеспечивает опору для волокна при подвешивании в вертикальном положении, поскольку его вязкость повышается, когда он является неподвижным. Для обеспечения удаления водорода палладиевую добавку можно добавлять к тиксотропному гелю. Водород, который диффундирует в волокно, может

30 создавать проблему для сердцевин, легированных ионами германия или аналогичными ионами. При использовании сердцевины, легированной чистым кремнием, его влияние меньше. Первый защитный слой можно образовать из других материалов, таких как материалы, раскрытые в заявке № 12/544136 на патент США, все раскрытие которой включено в эту заявку путем ссылки. Толщину первого защитного слоя следует выбирать

35 на основании среды и условий использования, а также необходимой гибкости и/или жесткости кабеля. Поэтому состав и толщину первого защитного слоя можно специально приспособливать для защиты сердцевины, оболочки и покрытия от конкретной среды и/или физических опасностей, которые могут встречаться и/или предполагаться при конкретном использовании кабеля. Таким образом, использование предпочтительного

40 тиксотропного геля обеспечивает двойную выгоду от добавления его при изготовлении кабеля, а также обеспечивает механическую защиту сердцевины по окончании изготовления кабеля.

Предпочтительно, чтобы второй защитный слой был стальной трубкой из нержавеющей стали, выполненной из нержавеющей стали 316. Предпочтительно, чтобы

45 второй защитный слой придавал физическую прочность волокну на протяжении больших расстояний, а также обеспечивал защиту от физического повреждения и среды, в которой кабель может использоваться. Второй защитный слой можно образовать из других материалов, таких как материалы, раскрытые в заявке № 12/544136 на патент

США, все раскрытие которой включено в эту заявку путем ссылки. Толщину второго защитного слоя следует выбирать на основании требований к использованию и среды, в которой кабель должен использоваться. Толщина также может зависеть от массы и прочности материала, из которого его выполняют. Таким образом, толщину и состав второго защитного слоя можно специально приспособлять для защиты сердцевины, оболочки и покрытия от конкретной среды и/или физических опасностей, которые могут встречаться и/или предполагаться при конкретном использовании кабеля.

Волоконно-оптические кабели могут иметь длину больше чем около 0,5 км (километров), больше чем около 1 км, больше чем около 2 км, больше чем около 3 км, больше чем около 4 км или больше чем около 5 км. Предпочтительные волокна с использованием предпочтительных первого и второго защитных слоев могут выдерживать температуры до около 300°C, давления до около 3000 фунт/дюйм² (20,684 МПа) и максимальные 36000 фунт/дюйм² (248,2 МПа) и агрессивные среды на протяжении длины волокна без существенной потери мощности и в течение длительного периода времени. Волоконно-оптические кабели могут иметь потерю мощности на заданной длине волны меньше чем около 2,0 дБ/км, меньше чем около 1,5 дБ/км, меньше чем около 1,0 дБ/км, меньше чем около 0,5 дБ/км и меньше чем около 0,3 дБ/км. Волоконно-оптические кабели могут иметь передачу мощности по меньшей мере около 50%, по меньшей мере около 60%, по меньшей мере около 80% и по меньшей мере около 90%.

Гибкость и/или жесткость кабеля можно изменять, исходя из размера и типов материалов, которые используются в различных слоях кабеля. Поэтому в зависимости от применения может быть желательным более жесткий или более гибкий кабель. Предпочтительно, чтобы кабели имели достаточную гибкость и прочность для многократного наматывания на катушку или барабан, имеющий наружный диаметр не больше чем около 6 м, или сматывания с них. При такой величине наружного диаметра катушку можно транспортировать на грузовом автомобиле по дорогам общего пользования. Поэтому настоящее изобретение охватывает катушку или барабан, имеющий наружный диаметр меньше чем 6 м и содержащий от 0,5 м до 5 км волоконно-оптического кабеля настоящего изобретения; катушку или барабан, имеющий наружный диаметр меньше чем около 6 м и содержащий волоконно-оптический кабель настоящего изобретения длиной больше чем около 0,5 км (километров), больше чем около 1 км, больше чем около 2 км, больше чем около 3 км, больше чем около 4 км и больше чем около 5 км.

Мощный лазер любого типа можно применять в качестве источника энергии лазерного излучения при совместном использовании с волоконно-оптическими кабелями настоящего изобретения. Примеры таких лазеров раскрыты в заявке № 12/544136 на патент США, раскрытия которого включены в эту заявку путем ссылки. Состав и конструкцию волоконно-оптического кабеля, в частности состав сердцевины и оболочки, следует выбирать из условия оптимального снижения потери мощности для конкретного пучка, который генерируется лазером. Заявитель полагает, что лазеры, которые генерируют пучок, имеющий длину волны от около 800 нм до около 2000 нм, можно рассматривать как соответствующие требованиям, предъявляемым к потере мощности, то есть можно получать выгоду при использовании кабелей настоящего изобретения. Однако при длинах волн от около 1060 нм до около 1100 нм и от около 1470 нм до около 1600 нм получается более значительная потенциальная выгода. Мощные инфракрасные лазеры являются предпочтительными. В настоящее время при длинах волн около 1490 нм, около 1550 нм и около 1080 нм получают еще более значительные

потенциальные выгоды, и они являются предпочтительными. Кроме того, при широкополосных пучках в пределах этих диапазонов длин волн можно получать более значительные выгоды. Предпочтительно, чтобы лазер генерировал лазерный пучок в инфракрасном диапазоне длин волн, имеющий мощность по меньшей мере около 1 кВт, по меньшей мере около 3 кВт, по меньшей мере около 5 кВт, по меньшей мере около 10 кВт и по меньшей мере около 20 кВт или более высокую.

Примером такого предпочтительного лазера, предназначенного для использования совместно с волоконно-оптическими кабелями настоящего изобретения, является IPG 20000 YB (фирмы IPG). Подробно свойства этого лазера раскрыты в заявке № 12/544136 на патент США, раскрытия которого включены в эту заявку путем ссылки.

Предпочтительный лазер состоит из 20 модулей. Производство коэффициента усиления на ширину полосы пропускания волоконного лазера составляет порядка 20 нм, ширина линии свободного осциллятора составляет 3 нм, полная ширина на половине максимума может быть в пределах от 3 нм до 5 нм (хотя предусматривается и предполагается более значительная ширина линии, включая 10 нм). Длина волны каждого модуля является несколько отличающейся. Кроме того, каждый из модулей создает многомодовый пучок. Поэтому кумулятивный эффект от объединения пучков модулей заключается в поддержании низких значений рамановского усиления и бриллюэновского усиления, соответствующих длинам волн и ширинам линий индивидуальных модулей, и при этом следовательно, последующего ослабления явлений вынужденного бриллюэновского рассеяния и вынужденного рамановского рассеяния в волокне, когда объединенные пучки передаются по волокну.

Испытательную систему из фиг.3 можно использовать для оценивания различных волокон настоящего изобретения. При этом в ней предусмотрены лазер 301, короткое, длиной меньше чем около 25 м волокно 302 для 300 мкм, соединяющее лазер с QВН-коннектором 303 (кварцевым кубическим), который соединяет волокно 302 с коллиматором 304. Коллиматор 304 коллимирует лазерный пучок, и пучок пропускается через 1/4%-ный элемент 305 отбора пучка. Из этой точки в системе пучок может быть направлен к 1/4%-ному элементу 306 отбора пучка, элементу 307 вывода пучка или коллиматору 308. Коллиматор 308 фокусирует пучок с образованием входного пучка для QВН-коннектора 309. Коллиматор 308 содержит фокусирующую линзу, теплоотвод и приемную часть коннектора для волокна. Коннектор 309 соединен с коллиматором 308. Коннектор 309 прикреплен к длинному испытуемому волокну 310. Длинное испытуемое волокно 310 имеет QВН-коннектор 311, который соединяет длинное испытуемое волокно 310 с коллиматором 312. Лазерный пучок из коллиматора 312 проходит на 1/4%-ный элемент 313 отбора пучка. Пучок от элемента 313 отбора пучка может проходить к измерителю 314 мощности или оптическому анализатору 315 спектра (ОАС). Оптический рефлектометр 316 временной области (ОРВО) передает и принимает синхронизированный лазерный пучок через элемент 316 отбора, направляя к элементу 305 отбора и далее по волокну 310. Оптический рефлектометр 316 временной области также можно использовать для тестирования волокна 310 отдельно от лазера 301. Лазерный пучок из лазера 301 проходит через элемент 306 отбора к 1/4%-ному элементу 317 отбора пучка и далее на оптический анализатор 315 спектра или на измеритель 318 мощности.

Пример 1

Волоконно-оптический кабель настоящего изобретения согласно примеру осуществления имел сердцевину из плавленного кварца диаметром около 600 мкм, оболочку из легированного фтором плавленного кварца, имевшую толщину 60 мкм,

высокотемпературное покрытие из акрилата, имевшее толщину около 90 мкм, защитное покрытие из тиксотропного геля, имевшее толщину около 2500 мкм, и второе защитное покрытие из нержавеющей стали 316, имевшее наружный диаметр около 6250 мкм и длину около 2 км. Длина волоконной структуры, содержавшей сердцевину, оболочку и покрытие, была больше, чем длина защитного слоя из нержавеющей стали. Это различие в длине связано с несколько иным растяжением нержавеющей стали по сравнению с растяжением волоконной структуры при нахождении кабеля в подвешенном состоянии или под действием растягивающего напряжения, когда он протянут вниз по стволу скважины. Волокно имело числовую апертуру по меньшей мере около 0,14. По волокну из этого примера можно было передавать лазерный пучок от предпочтительного лазера (при длине волны 1080 нм) мощностью около 20 кВт (киловатт) на расстояние около 2 км при температурах до около 200°C и давлениях около 3000 фунт/дюйм² (20,684 МПа) при потере мощности меньше чем 1 дБ/км.

Пример 2

Волоконно-оптический кабель настоящего изобретения согласно примеру осуществления имел сердцевину из плавленого кварца диаметром около 500 мкм, оболочку из легированного фтором плавленого кварца, имевшую толщину 50 мкм, покрытие из акрилата, имевшее толщину около 60 мкм, и защитное покрытие из нержавеющей стали с наружным диаметром около 1/8 дюйма (3,175 мм) и длиной около 2 км. Волокно имело числовую апертуру 0,22. По волокну из этого примера передавали лазерный пучок от предпочтительного лазера (при длине волны 1080 нм) мощностью около 10 кВт (киловатт) на расстояние около 2 км при температурах до около 150°C и давлении окружающей среды при потере мощности меньше чем 0,8 дБ/км.

Пример 3

Волоконно-оптический кабель настоящего изобретения согласно примеру осуществления имел сердцевину из плавленого кварца диаметром около 600 мкм, оболочку из легированного фтором плавленого кварца, имевшую толщину 60 мкм, высокотемпературное покрытие из акрилата, имевшее толщину около 90 мкм, и защитное покрытие из нержавеющей стали с наружным диаметром около 1/8 дюйма (3,175 мм) и длиной около 0,5 км. Волокно имело числовую апертуру 0,17. По волокну из этого примера передавали лазерный пучок от предпочтительного лазера (при длине волны 1080 нм) мощностью около 10 кВт на расстояние около 0,5 км при температурах до около 2000°C и давлении окружающей среды при потере мощности меньше чем 1 дБ/км.

Пример 4

Предпочтительный лазер IPG 20000 YB работал с коэффициентом заполнения 10% при частоте повторения импульсов 1 кГц. В этом примере рабочие условия устанавливали такими, чтобы длительность импульсов поддерживалась большей, чем постоянная времени вынужденного бриллюэновского рассеяния. Поэтому отсутствие вынужденного бриллюэновского рассеяния было обусловлено волокном и лазером, а не длительностью импульсов. Лазерный пучок передавали по волокну длиной 2 км из примера 2, проходившего оценивание в испытательной системе на протяжении линий испытательной системы, показанной на фиг.3, и получали результаты, отраженные в таблице I, где значения максимальной вводимой мощности и максимальной выводимой мощности представлены в ваттах.

Таблица I		
Пиковая вводимая мощность	Пиковая выводимая мощность	Процент переданной мощности
924	452	48,9

1535	864	56,3
1563	844	54,0
1660	864	52,0
1818	970	53,3
1932	1045	54,1
2000	1100	55,0
2224	1153	51,8
2297	1216	52,9
2495	1250	50,1
2632	1329	50,5
2756	1421	51,6
3028	1592	52,6
3421	1816	53,1
3684	1987	53,9
3947	2105	53,3
4342	2263	52,1
4605	2382	51,7
4868	2487	51,1

Спектр для мощности 4868 Вт показан на фиг.4. Из спектра ясно видно отсутствие явления вынужденного рамановского рассеяния (используемые в этой заявке термины, такие как «отсутствие», «без» или «не содержащий» конкретного явления или эффекта, означает, что для всех практических задач явление или эффект не присутствует и/или не может наблюдаться обычным способом, используемым специалистом в данной области техники). Кроме того, линейная связь между подводимой (входной) и выходной мощностями подтверждает отсутствие явления вынужденного бриллюэновского рассеяния. Кроме того, при импульсной работе лазера с изменением длины волны вследствие формирования импульса с линейной частотной модуляцией может вноситься дополнительный вклад в подавление явлений вынужденного бриллюэновского рассеяния и вынужденного рамановского рассеяния, поскольку эффективно возрастает ширина спектральной линии лазера.

Пример 5

Предпочтительный лазер IPG 20000 YB приводили в действие для получения незатухающей волны. Как отражено ниже в таблице, использовали 1, 2, 4 и 6 модулей. Для каждой мощности лазер активизировали в продолжение около 2 мин и 15 с. Лазерный пучок передавали по волокну длиной 2 км из примера 2, проходившего оценивание в испытательной системе на протяжении линий испытательной системы, показанной на фиг.3, и получали результаты, отраженные в таблице II, где значения мощности лазера (входной мощности) и выходной мощности представлены в ваттах и пропускаемая мощность является синонимом пропускания.

Таблица II				
Один модуль	Установка мощности лазера	Мощность лазера	Выходная мощность волокна 2 км	Пропускаемая мощность
	%	Вт	Вт	
	10	25	20	80%
	11	70	52	74%
	12	80	59	74%
	13	90	66,5	74%
	14	90	73,9	82%
	15	110	81,5	74%
	16	120	89,2	74%
	17	130	96,5	74%
	18	140	104,2	74%
	19	150	111,2	74%

RU 2 551 392 C2

5		20	160	118,8	74%
		21	170	126,2	74%
		22	180	133,2	74%
		23	190	140,5	74%
		24	200	147,9	74%
		25	210	155,2	74%
		26	220	160,4	73%
		27	230	167,2	73%
		28	240	181	75%
		29	260	177,7	68%
10		31	280	191,8	69%
		33	300	206,7	69%
		35	330	221,5	67%
		37	350	236,4	68%
		39	360	250,1	69%
15		41	390	263,3	68%
	Один модуль				
		23	190	120	63%
		35	330	215	65%
20		41	400	257	64%
		45	430	288	67%
		50	490	313	64%
		55	540	352	65%
		60	590	382	65%
25		65	640	411	64%
		70	690	477	69%
		75	750	493	66%
		80	800	525	66%
		85	850	565	66%
30		90	900	599	67%
		95	950	625	66%
		100	1000	647	65%
	Два модуля				
		50	990	655	66%
35		55	1100	709	64%
		60	1200	820	68%
		65	1310	855	65%
		70	1410	940	67%
		75	1510	1005	67%
40		80	1620	1060	65%
		85	1730	1200	69%
		90	1830	1220	67%
		95	1930	1265	66%
		100	2000	1340	67%
45	Четыре модуля				
		50	1999	1310	66%
		55	2200	1460	66%
		60	2410	1588	66%
		65	2630	1740	66%
		70	2800	1852	66%
		75	3040	2000	66%
		80	3250	2130	66%
		85	3460	2290	66%
		90	3670	2430	66%
		95	3870	2535	66%
		100	4000	2675	67%
	Шесть модулей				

	65	4040	2665	66%
	70	4350	2875	66%
	75	4650	3100	67%
	80	4930	3300	67%

Спектр четырех модулей при установленной 100%-ной мощности лазера показан на фиг.5. Из спектра ясно видно отсутствие явления вынужденного рамановского рассеяния. Кроме того, линейная связь входной и выходной мощностей подтверждает отсутствие явления вынужденного бриллюэновского рассеяния.

Пример 6

Предпочтительный лазер IPG 20000 YB приводили в действие для получения незатухающей волны. Использовали один модуль. При каждой мощности лазер активизировали в продолжение около 2 мин и 15 с. Лазерный пучок передавали по волокну длиной 0,5 км из примера 3, проходившего оценивание в испытательной системе на протяжении линий испытательной системы, показанной на фиг.3, и получали результаты, отраженные в таблицах III, IV, где значения мощности лазера (входной мощности) и выходной мощности представлены в ваттах и пропускаемая мощность является синонимом пропускания.

Таблица III		
Мощность на входе (Вт)	Мощность на выходе (Вт)	% пропускания
220	196	89,09%
440	380	86,36%
660	560	84,85%
880	740	84,09%
1000	840	84,00%
1000	860	86,00%
1000	880	88,00%
1000	850	85,00%
1000	850	85,00%
1000	850	85,00%
1000	850	85,00%

Таблица IV				
Число модулей	% мощности лазера	Мощность на входе (Вт)	Мощность на выходе (Вт)	% пропускания
1	30	270	253	93,70%
1	30	270	244	90,37%
1	35	320	300	93,75%
1	40	390	370	94,87%
1	45	430	390	90,70%
1	30	270	247	91,48%
5	15	580	520	89,66%
5	20	860	770	89,53%
5	25	1140	980	85,96%
5	30	1420	1230	86,62%
5	35	1700	1440	84,71%
5	40	1970	1700	86,29%
5	45	2250	1910	84,89%
5	50	2520	2150	85,32%
5	55	2790	2350	84,23%
5	60	3060	2600	84,97%
5	65	3320	2800	84,34%
5	70	3590	3000	83,57%
5	75	3850	3200	83,12%
5	80	4120	3500	84,95%

Пример 7

Предпочтительный лазер IPG 20000 YB приводили в действие для получения незатухающей волны. Как отражено ниже в таблице, использовали 2, 6, 8 и 10 модулей. При каждой мощности лазер активизировали в продолжение около 2 мин и 15 с.

Лазерный пучок передавали по волокну длиной 2 км из примера 2, проходившего оценивание в испытательной системе на протяжении линий испытательной системы, показанной на фиг.3, и получали результаты, отраженные в таблице V, где значения мощности лазера (входной мощности) и выходной мощности представлены в ваттах и пропускаемая мощность является синонимом пропускания.

Таблица V				
Модули	Установка мощности лазера	Мощность лазера	Выходная мощность	Пропускание
	%	Вт	Вт	
Два модуля				
	10	50	39	78%
	15	220	162	74%
	20	330	243	74%
	25	440	320	73%
	30	550	420	76%
	35	660	470	71%
	40	770	550	71%
	45	880	650	74%
	50	990	700	71%
	55	1100	770	70%
	60	1200	850	71%
	65	1310	940	72%
	70	1420	990	70%
	75	1510	1070	71%
	80	1610	1130	70%
	85	1720	1200	70%
	90	1820	1290	71%
	95	1930	1370	71%
	100	2020	1420	70%
Шесть модулей				
	10	150	130	87%
	20	1040	710	68%
	25	1380	940	68%
	30	1720	1200	70%
	35	2050	1420	69%
	40	2390	1660	69%
	45	2720	1900	70%
	50	3050	2140	70%
	55	3390	2350	69%
	60	3710	2580	70%
	65	4030	2810	70%
	70	4350	3100	71%
	75	4660	3200	69%
	80	4980	3500	70%
	85	5300	3700	70%
	90	5620	3900	69%
	95	5910	4100	69%
	100	6210	4300	69%
Восемь модулей				
	40	3200	2150	67%
	45	3650	2400	66%
	50	4090	2750	67%

5		55	4530	3100	68%
		60	4970	3400	68%
		65	5390	3700	69%
		70	5820	4000	69%
		75	6240	4300	69%
		80	6650	4600	69%
		85	7080	4900	69%
		90	7500	5200	69%
		95	7920	5400	68%
		100	8280	5700	69%
10	Десять модулей				
		10	280	202	72%
		15	1190	860	72%
		20	1750	1210	69%
		25	2320	1610	69%
15		30	2880	1980	69%
		35	3440	2380	69%
		40	4000	2750	69%
		45	4550	3100	68%
		50	5100	3500	69%
20		55	5640	3900	69%
		60	6170	4300	70%
		65	6690	4600	69%
		70	7220	5000	69%
		75	7740	5300	68%
		80	8270	5700	69%
		85	8790	6000	68%
		90	9300	6300	68%

На фиг.6 показан спектр для 10 модулей при выходной мощности 9300 Вт и 90%-ной установленной мощности лазера. Из спектра ясно видно отсутствие явления вынужденного рамановского рассеяния. Кроме того, линейная связь входной и выходной мощностей подтверждает отсутствие явления вынужденного бриллюэновского рассеяния.

Волоконно-оптические кабели настоящего изобретения найдут многочисленные и разнообразные применения, некоторые из которых уже реализуются. Например, волоконно-оптические кабели можно использовать, чтобы подводить энергию лазерного излучения для применения в хорошо известных лазерных инструментах, таких как инструменты лазерной сварки и резания. Их можно использовать, чтобы подводить энергию лазерного излучения для применения в только что разработанных и изобретенных лазерных инструментах, таких как лазерная компоновка нижней части бурильной колонны, предназначенная для проходки стволов скважин, см., например, заявку № 61/247796 на патент США, поданную 1 октября 2009 года под названием “Method of communicating power and/or data through a mud motor”, и заявку № 12/544038, поданную 19 августа 2009 года под названием “Apparatus for advancing a wellbore using high power laser energy”. Их можно использовать, чтобы подводить энергию лазерного излучения для применения в конструкции или трубопроводах. Кроме того, вследствие возможности создания волоконно-оптических кабелей настоящего изобретения из легких высокопрочных материалов и передачи высокой мощности на значительные расстояния их можно использовать при реконструкции и/или создании лазерных механических инструментов и оборудования, например, для проходки туннеля и бурения и удаления грунта. Кроме того, вследствие возможности создания кабелей настоящего изобретения из легких высокопрочных материалов и передачи высокой мощности на

значительные расстояния имеется возможность использования их в любой известной области применения или о которой будет известно позднее, где эффективная передача энергии высокой мощности на значительные расстояния является необходимой, полезной и/или выгодной.

- 5 Кроме того, волоконно-оптические кабели настоящего изобретения можно вводить, включать в оборудование, или использовать в сочетании с оборудованием других трубчатых и/или проволочных типов, например, таким как гибкая труба, используемая в буровой отрасли, бурильная труба, используемая в буровой области, и кабели, используемые в спусковом, подъемном, удерживающем и соединительном оборудовании.
- 10 Для конкретного применения волоконно-оптические кабели настоящего изобретения можно объединять в жгут, поэтому при конкретном применении можно использовать множество кабелей и их можно включать в или вкладывать в трубы, и/или связывать с трубами, такими как гибкая труба, бурильная труба, обсадная труба и стояк, используемые в буровой отрасли. Кроме того, волоконно-оптические кабели можно
- 15 соединять друг с другом. Кроме того, единственный кабель можно соединять с несколькими кабелями или разветвлять, используя переключатели. Таким способом один мощный лазер можно использовать для снабжения энергией высокой мощности многочисленных инструментов, которые разнесены на большие расстояния.

- Кроме того, хотя использование единичного отрезка волокна, то есть отрезка
- 20 волокна, выполненного из цельного волокна, а не из ряда волокон, соединенных, сращенных или иным образом оптически присоединенных встык, является предпочтительным при передаче энергии на значительное расстояние, возможно использование многочисленных отрезков волокна, соединенных встык. Более того, несколько отрезков волоконно-оптического кабеля, или несколько отрезков структур
- 25 сердцевины волокна, или комбинаций из них можно соединять с образованием множества таких структур, как жгут из волоконно-оптических кабелей, структуры сердцевины волокна или комбинации из них.

- Таким образом, волоконно-оптические кабели настоящего изобретения можно использовать для передачи энергии лазерного излучения высокой мощности на большие
- 30 расстояния к инструментам или машинам, таким как сварочные машины, режущие инструменты, машина для копки ям, землеройная машина и оборудование для удаления материала, и эта энергия лазерного излучения затем направляется такими инструментами или машинами на поверхность, материал или обрабатываемое изделие. Кроме того, оптические волокна настоящего изобретения можно использовать для передачи на
- 35 большие расстояния рабочей энергии, например энергии для приведения в действие машины или устройства. По волоконно-оптическим кабелям настоящего изобретения можно передавать на большие расстояния энергию лазерного излучения высокой мощности для применений в неблагоприятных окружающих средах, например в шахтах, туннелях, буровых скважинах, на судостроительных верфях, заводах, ядерных объектах,
- 40 в условиях повышенных температур, в условиях агрессивной среды, в условиях, вызывающих коррозию, и в подводных условиях.

- На основании приведенного выше описания специалист в данной области техники может без труда установить существенные характеристики этого изобретения и без отступления от сущности и объема его может сделать различные изменения и/или
- 45 модификации изобретения, чтобы приспособить его к различным применениям и условиям.

Формула изобретения

1. Волоконно-оптический кабель для передачи энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния, содержащий:

а. кабель, имеющий входной конец для приема энергии лазерного излучения и выходной конец доставки энергии лазерного излучения к инструменту или поверхности;

5 б. причем кабель имеет длину между входным концом и выходным концом, которая составляет по меньшей мере около 1 км;

с. причем кабель содержит: сердцевину; оболочку; покрытие; и защитный слой;

д. при этом сердцевина имеет диаметр по меньшей мере около 500 мкм;

10 е. входной конец кабеля выполнен с возможностью приема энергии лазерного излучения высокой мощности от лазера, имеющей мощность выше чем или равную около 5 кВт; и

ф. выходной конец кабеля выполнен с возможностью доставки по меньшей мере около 70% принимаемой энергии лазерного излучения.

2. Кабель по п. 1, в котором длина составляет по меньшей мере около 2 км.

15 3. Кабель по п. 1, в котором сердцевина является более длинной, чем защитный слой.

4. Система для доставки энергии лазерного излучения высокой мощности к инструменту, при этом система содержит:

а. мощный лазер, имеющий мощность по меньшей мере около 1 кВт;

20 б. волоконно-оптический кабель, содержащий: сердцевину; первую оболочку; покрытие; и первый защитный слой;

с. инструмент;

д. при этом кабель имеет первый и второй концы и длину между первым и вторым концами;

е. при этом длина кабеля составляет более чем 2 км;

25 ф. причем первый конец кабеля оптически связан с лазером, а второй конец кабеля оптически связан с инструментом;

г. при этом лазерный пучок передается по кабелю и имеет мощность по меньшей мере около 1 кВт на первом конце кабеля; и

30 h. при этом потеря мощности лазерного пучка в кабеле от первого конца до второго конца составляет меньше чем около 2 дБ/км.

5. Система по п. 4, в которой мощность лазерного пучка на первом конце выше чем или равна около 5 кВт.

6. Система по п. 4, в которой мощность лазерного пучка на первом конце выше чем или равна около 10 кВт.

35 7. Система по п. 4, в которой потеря мощности составляет меньше чем около 1 дБ/км.

8. Система по п. 4, в которой потеря мощности составляет меньше чем около 0,5 дБ/км.

9. Система по п. 4, в которой кабель содержит второй защитный слой.

40 10. Система по п. 4, в которой кабель содержит вторую оболочку.

11. Бухта волоконно-оптического кабеля для передачи энергии лазерного излучения на большие расстояния, содержащая:

а. кабель, содержащий: сердцевину; оболочку; покрытие; первый защитный слой и второй защитный слой;

45 б. при этом кабель имеет длину больше чем около 2 км;

с. при этом кабель способен передавать энергию лазерного излучения высокой мощности на протяжении своей длины при потере мощности меньше чем около 2 дБ/км;

d. кабель смотан в бухту; и

e. наружный диаметр смотанной бухты составляет меньше чем около 6 м.

12. Бухта по п. 11, причем бухта находится на катушке, при этом мощность энергии лазерного излучения высокой мощности выше чем или равна около 5 кВт, длина больше чем около 1 км, и потеря мощности меньше чем около 1 дБ/км.

13. Бухта по п. 11, в которой длина кабеля составляет больше чем около 2 км.

14. Бухта по п. 11, в которой длина кабеля составляет больше чем около 3 км.

15. Система для доставки энергии лазерного излучения высокой мощности к инструменту, при этом система содержит:

a. мощный лазер, имеющий мощность по меньшей мере около 5 кВт;

b. волоконно-оптический кабель, содержащий: сердцевину; оболочку; покрытие; и защитный слой;

c. инструмент;

d. при этом кабель имеет первый и второй концы и длину между первым и вторым концами;

e. причем длина кабеля составляет больше чем 2 км;

f. первый конец кабеля оптически связан с лазером, а второй конец кабеля оптически связан с инструментом;

g. лазерный пучок имеет длину волны в диапазоне от около 800 нм до около 2000 нм, передается по кабелю и имеет мощность по меньшей мере около 5 кВт на первом конце кабеля; и

h. потеря мощности лазерного пучка в кабеле от первого конца до второго конца составляет меньше чем около 0,8 дБ/км.

16. Система по п. 15, в которой потеря мощности составляет меньше чем около 0,3 дБ/км.

17. Волоконно-оптический кабель для передачи энергии лазерного излучения высокой мощности на большие расстояния, содержащий:

a. кабель, имеющий входной конец для приема энергии лазерного излучения и выходной конец доставки энергии лазерного излучения к инструменту или поверхности;

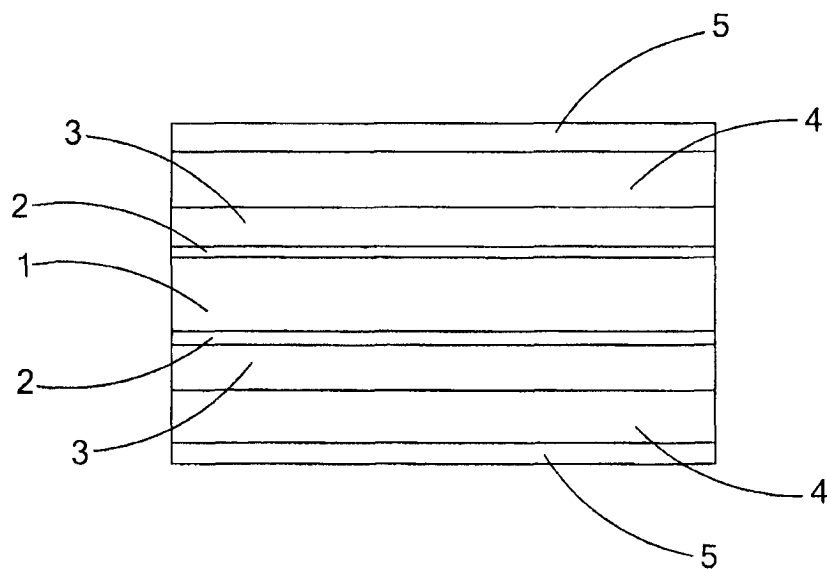
b. при этом кабель имеет длину между входным концом и выходным концом, которая составляет по меньшей мере около 1 км;

c. кабель содержит: сердцевину; оболочку; покрытие; и защитный слой;

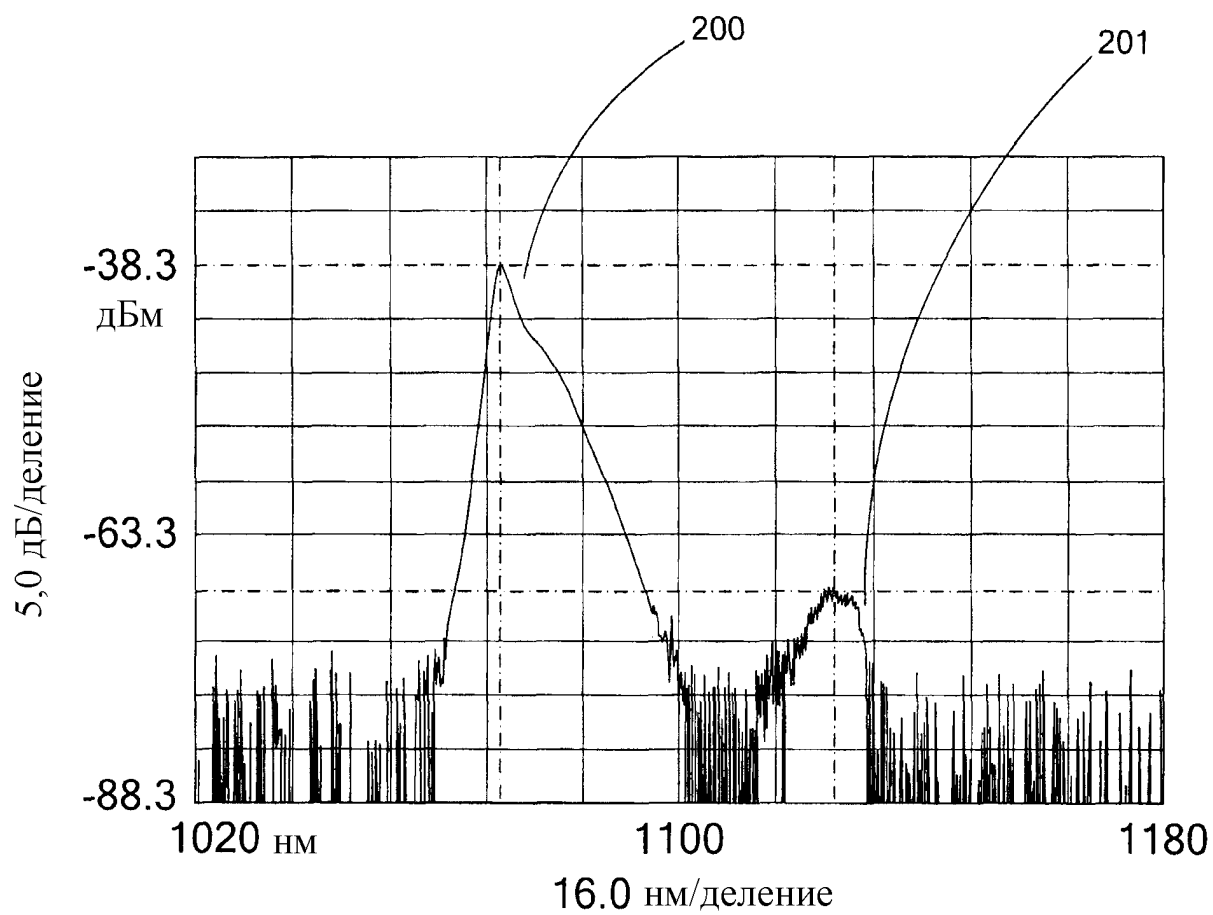
d. при этом сердцевина кабеля имеет диаметр по меньшей мере около 300 мкм;

e. входной конец кабеля выполнен с возможностью приема энергии лазерного излучения высокой мощности от лазера, имеющего мощность выше чем или равную около 10 кВт; и

f. выходной конец кабеля выполнен с возможностью доставки от по меньшей мере около 70% принимаемой энергии лазерного излучения.

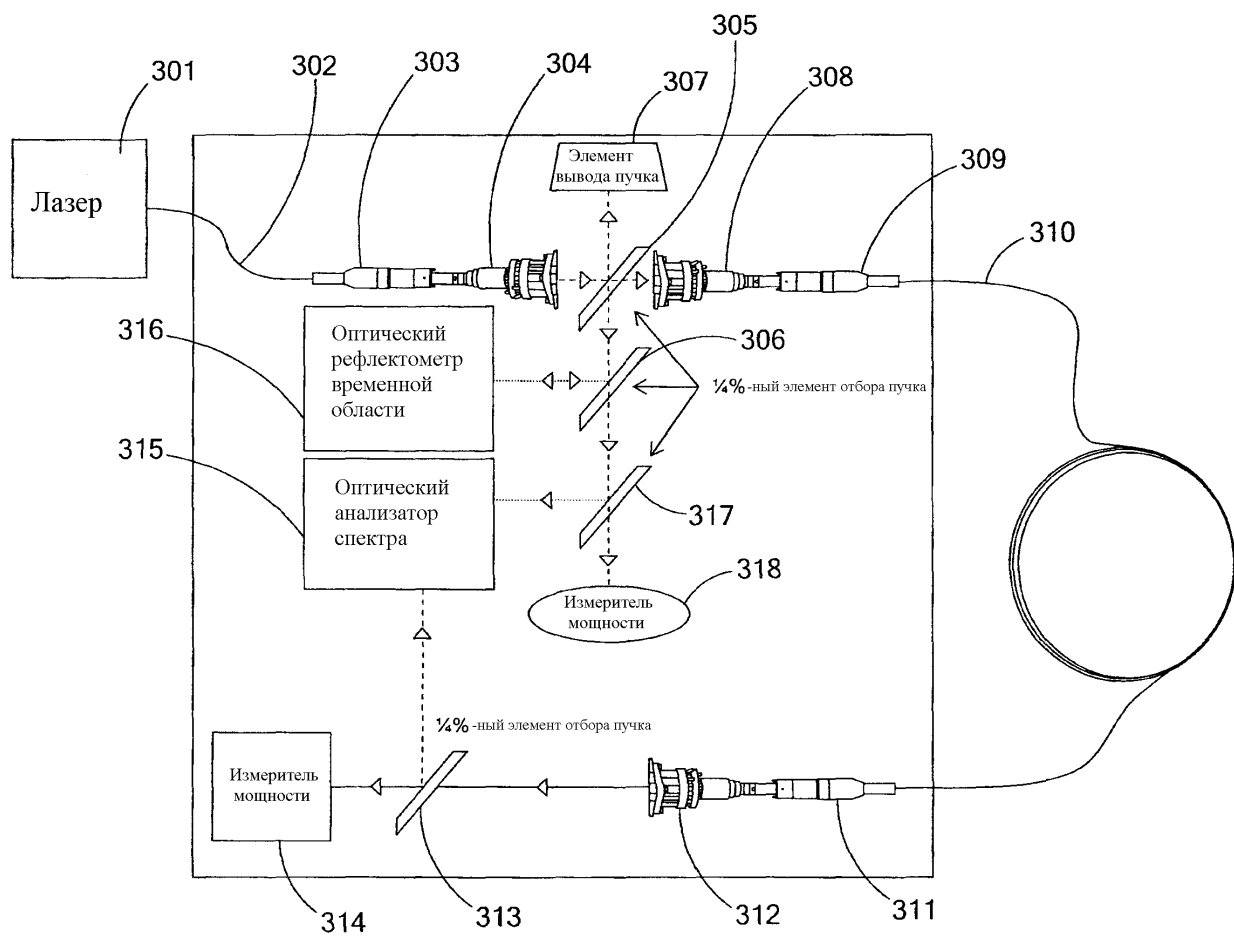


Фиг. 1В



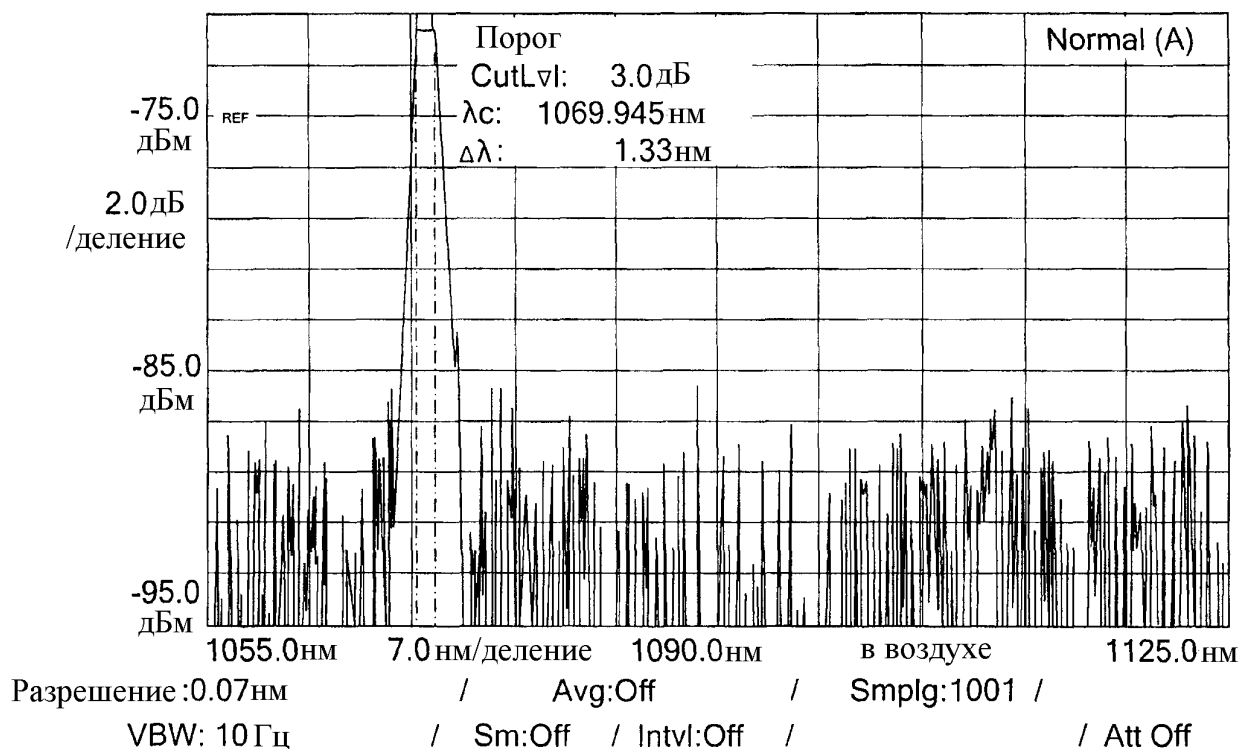
(предшествующий уровень техники)

Фиг. 2



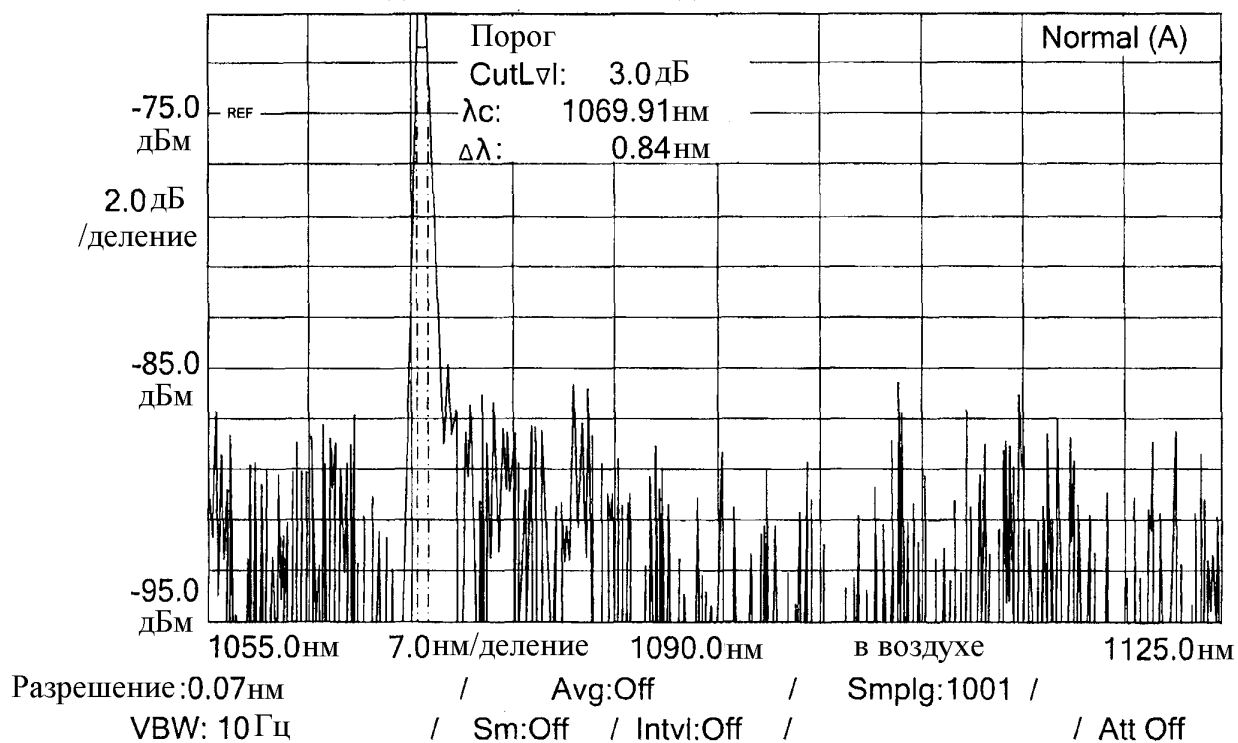
Фиг. 3

λ Mkr A: 1069.28 нм B: 1070.61 нм B-A: 1.33 нм
 LMkr C: -68.61 дБм D: -71.61 дБм C-D: 3.0 дБ

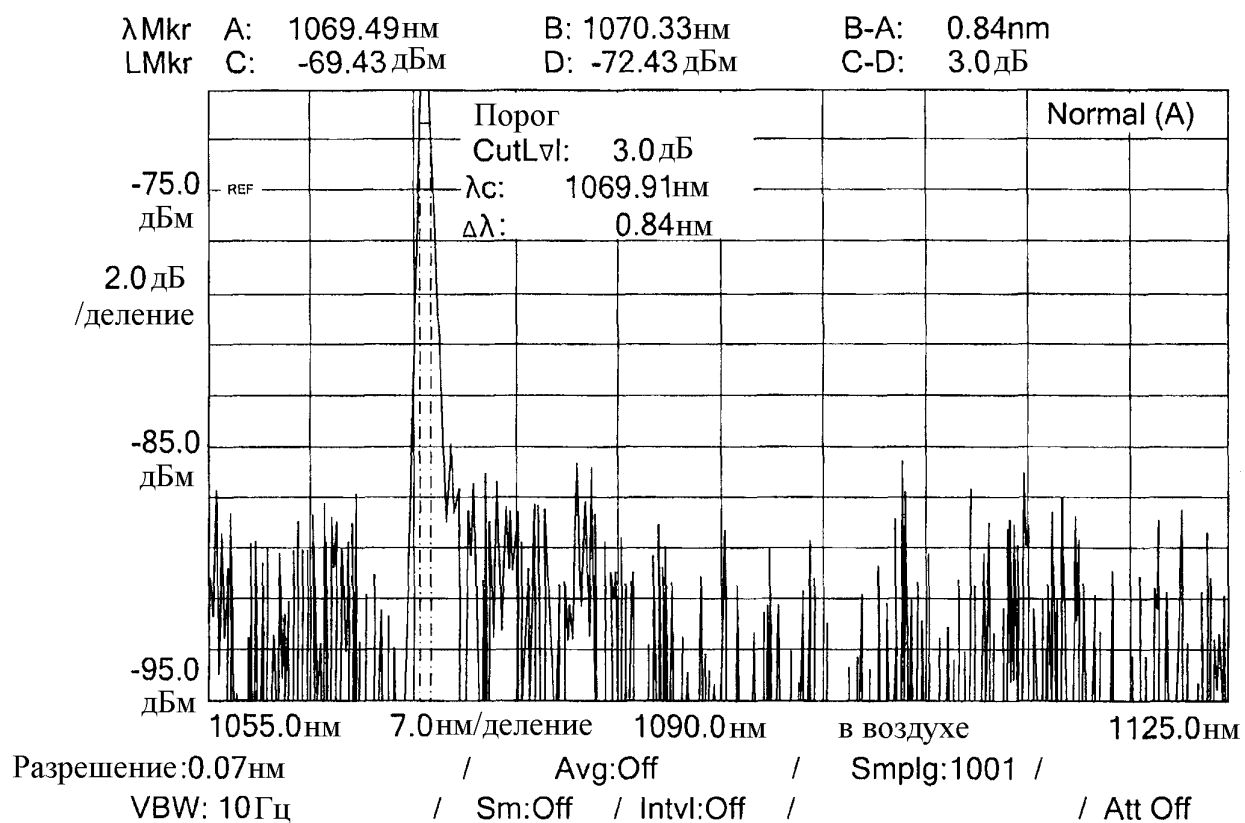


Фиг. 4

λ Mkr A: 1069.49 нм B: 1070.33 нм B-A: 0.84 нм
 LMkr C: -69.43 дБм D: -72.43 дБм C-D: 3.0 дБ



Фиг. 5



Фиг. 6