



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013154453/28, 06.12.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.12.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.12.2013

(45) Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2180768 C2, 20.03.2002, . US  
7529281 B2, 05.05.2009, . RU 124062 U1,  
10.01.2013, . WO 2010008693 A2, 21.01.2010, .  
WO 1999039411 A1, 05.08.1999

Адрес для переписки:

630090, г.Новосибирск, ул. Пирогова, 2,  
Новосибирский государственный университет,  
Отдел управления ИС, Беляевой Н.А.

(72) Автор(ы):

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

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью  
"Техноскан-Лаб" (ООО "Техноскан-Лаб")  
(RU)(54) ИМПУЛЬСНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР С ВАРЬИРУЕМОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ  
ПОДДЕРЖИВАЮЩЕГО ПОЛЯРИЗАЦИЮ ИЗЛУЧЕНИЯ КОЛЬЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА

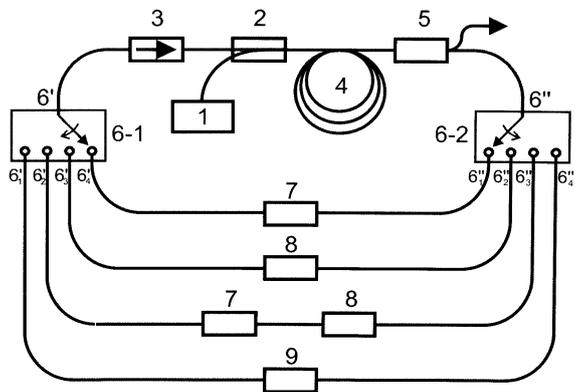
(57) Реферат:

Изобретение относится к лазерной технике. Импульсный волоконный лазер с варьирваемой конфигурацией поддерживающего поляризацию излучения кольцевого резонатора содержит источник накачки, модуль спектрального сведения, сигнальный вход которого соединен с волоконным изолятором, а сигнальный выход - с активным волокном, которое другим концом соединено с волоконным ответвителем. Изолятор и ответвитель соединены другими концами с входами двух волоконно-оптических переключателей, работающих по схеме 1×N, где N - число выходов, при этом каждый

переключатель под управлением электронных сигналов коммутирует входные оптические сигналы на определенные выходы, к которым присоединены волоконно-оптические элементы, обеспечивающие активную или пассивную или гибридную (активно-пассивную) синхронизацию мод излучения лазера или модуляцию добротности резонатора лазера. Технический результат заключается в обеспечении возможности генерации импульсов с различными длительностями, энергиями и частотами повторения в широком диапазоне. 7 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2 547 343 C1

RU 2 547 343 C1



Фиг. 2

RU 2 5 4 7 3 4 3 C 1

RU 2 5 4 7 3 4 3 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013154453/28, 06.12.2013

(24) Effective date for property rights:  
06.12.2013

Priority:

(22) Date of filing: 06.12.2013

(45) Date of publication: 10.04.2015 Bull. № 10

Mail address:

630090, g.Novosibirsk, ul. Pirogova, 2, Novosibirskij gosudarstvennyj universitet, Otdel upravlenija IS, Beljaevoj N.A.

(72) Inventor(s):

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

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju  
"Tekhnoskan-Lab" (OOO "Tekhnoskan-Lab")  
(RU)**

(54) **PULSE FIBRE LASER WITH VARIABLE CONFIGURATION OF RING RESONATOR SUPPORTING RADIATION POLARISATION**

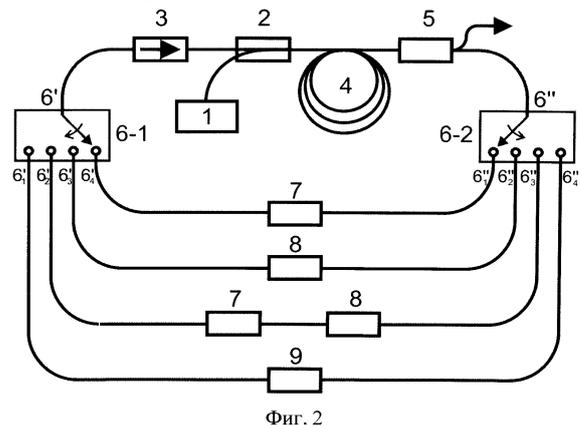
(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: pulse fibre laser with variable configuration of ring resonator supporting radiation polarisation comprises a pumping source, a module of spectral convergence, which signal input is coupled to fibre insulator while its signal output is coupled to the active fibre, which is coupled to fibre brancher by its second end. The insulator and brancher are connected by their second ends to inputs of two fibre-optical switches operated as per 1xN scheme, where N is a number of outputs, at that under control by electronic signals each switch reswitches input optical signals to certain outputs, to which fibre-optical elements are connected thus ensuring active, passive or combined (active-passive) synchronisation of the laser radiating modes or Q-factor modulation of the laser resonator.

EFFECT: providing generation of pulses with different pulse length, energy and repetition rates within a wide band.

8 cl, 2 dwg



C 1  
2 5 4 7 3 4 3  
R U

R U  
2 5 4 7 3 4 3  
C 1

Настоящее изобретение относится к лазерам - приборам для генерации с использованием стимулирующего излучения когерентных электромагнитных волн.

Из существующего уровня техники известен волоконный лазер с варьируемой конфигурацией линейного резонатора, в котором к основной части резонатора, содержащей усиливающую среду лазера, с помощью волоконных переключателей подключаются световоды с различными брэгговскими решетками, что обеспечивает генерацию лазера на разных длинах волн излучения (патент США 7616667 B2, Broadband fiber laser; заявка на патент США 20030128921 A1, Method and device for wavelength switching of a laser source). Недостатком данного технического решения является то, что предложенный резонатор не позволяет осуществить генерацию импульсного излучения в режиме синхронизации мод излучения или в режиме модуляции добротности в любой его конфигурации.

Наиболее близким к заявленному техническому решению является волоконный лазер с изменяемой длительностью импульсов, в резонаторе которого имеется разрыв, волокно резонатора до и после разрыва оконцовано двумя волоконными разъемами, к которым через ответные разъемы подсоединяются отрезки оптоволокна разной длины, обеспечивающие генерацию выходных импульсов излучения разной длительности (патент на полезную модель RU 119946, опубл. 27.08.2012 г.). Недостатками данного технического решения являются:

1. необходимость ручного подсоединения отрезков оптоволокна разной длины. Отсутствие возможности автоматического (управляемого с помощью внешних электронных сигналов) переключения лазера из одной конфигурации в другую;
2. использование для генерации короткоимпульсного излучения режима пассивной синхронизации мод за счет использования эффекта нелинейной эволюции поляризации излучения, который имеет относительно высокую чувствительность к температуре окружающей среды и к укладке волокна (изгибы и скручивания меняют двулучепреломление волокна, играющего ключевую роль в проявлении эффекта нелинейной эволюции поляризации излучения в волокне);
3. использование для управления состоянием поляризации внутрирезонаторного излучения волоконных контроллеров поляризации, которые являются "слабым" местом этих лазеров в силу того, что контроллеры поляризации на основе механической деформации оптоволокна не могут, как правило, сохранять настройку в течение длительного времени из-за пластической деформации оптоволокна, состоящего из аморфного кварца. Это может приводить к долговременной нестабильности параметров лазера и в целом к ненадежности лазера;
4. ограниченный диапазон изменения длительности импульсов лазерного излучения, составляющий от нескольких сотен фемтосекунд при минимальной длине резонатора (несколько метров) до нескольких наносекунд при максимальной длине резонатора 25 км (S. Turitsyn, M. Dubov, S. Kobtsev, A. Ivanenko. Mode-locking in 25-km fibre laser. 36th European Conference on Optical Communication (ECOC), Sep 19-23, 2010, Torino, Italy, Tu.5.D.1).

Задачей, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является создание надежного стабильного импульсного волоконного лазера с электронно-переключаемой конфигурацией, поддерживающего поляризацию излучения резонатора, обеспечивающего генерацию импульсов с различными длительностями, различными энергиями и различными частотами повторения в широком диапазоне за счет комплексного применения в одном лазере устройств активной или пассивной или гибридной (активно-пассивной) синхронизации мод излучения, а также устройств

модуляции добротности резонатора лазера.

Данная задача решается за счет того, что в известном импульсном волоконном лазере с варьируемой конфигурацией поддерживающего поляризацию излучения кольцевого резонатора, содержащем источник излучения накачки, волоконный модуль 5 спектрального сведения, вход накачки которого соединен с источником накачки, сигнальный вход модуля спектрального сведения соединен с волоконным изолятором, сигнальный выход модуля спектрального сведения соединен с активным волокном, которое другим концом соединено с волоконным ответвителем, выводящим излучение из резонатора, согласно изобретению волоконный изолятор и волоконный ответвитель 10 соединены другими концами с входами двух волоконно-оптических переключателей, работающих по схеме  $1 \times N$ , где  $N$  - число выходов, при этом каждый переключатель под управлением внешних электронных сигналов коммутирует входные оптические сигналы на определенные выходы, а к парам выходов переключателей присоединены волоконно-оптические элементы, обеспечивающие активную или пассивную или 15 гибридную (активно-пассивную) синхронизацию мод излучения лазера или модуляцию добротности резонатора лазера.

При этом для активной синхронизации мод излучения может использоваться устройство (оптический элемент), обеспечивающее синхронизацию мод излучения на частоте, превышающей межмодовый частотный интервал резонатора лазера и кратной 20 межмодовому частотному интервалу резонатора лазера. Кроме того, длина поддерживающего поляризацию излучения волокна, с помощью которого волоконно-оптические элементы, обеспечивающие активную или пассивную или гибридную (активно-пассивную) синхронизацию мод излучения лазера, подсоединяются к парам выходов волоконно-оптических переключателей, может составлять от 5 м до 25 км.

Техническим результатом, обеспечиваемым приведенной совокупностью признаков, является создание надежного стабильного импульсного волоконного лазера с 25 электронно-переключаемой конфигурацией поддерживающего поляризацию излучения резонатора, обеспечивающего генерацию импульсов с различной длительностью, различной энергией и различной частотой следования в широком диапазоне: 30 длительность от нескольких сотен фемтосекунд (обеспечивается устройствами пассивной синхронизации мод на основе углеродных нанотрубок, графена, топологических изоляторов и других материалов) до секунды (обеспечивается устройствами модуляции добротности на основе акустооптических модуляторов, поляризационных модуляторов - например ячейки Керра или ячейки Пококельса, или быстро поворачивающихся зеркал 35 резонатора или других устройств), энергия импульсов от единиц наноджоулей (при фемтосекундной длительности импульсов) до микро- и миллиджоулей (при длительности импульсов более 1 нс), частота повторения импульсов от 8 кГц до 20 МГц в режиме активной синхронизации мод (8 кГц соответствуют длине резонатора 25 км, 20 МГц - длине резонатора 10 м) на частоте, равной межмодовому частотному интервалу 40 резонатора лазера, и более 20 МГц (при гармонической активной синхронизации мод, и менее 8 кГц (до 1 Гц) при модуляции добротности резонатора лазера.

Сущность изобретения поясняется следующими схемами.

На фиг.1 представлена схема импульсного волоконного лазера с варьируемой конфигурацией поддерживающего поляризацию излучения кольцевого резонатора при 45 использовании двух волоконно-оптических переключателей (6-1 и 6-2), работающих по схеме  $1 \times 2$ : 1 - источник излучения накачки, 2 - волоконный модуль спектрального сведения излучения накачки и излучения волоконного лазера, 3 - волоконный изолятор, 4 - активное волокно, 5 - волоконный ответвитель, выводящий излучение из резонатора,

6-1 и 6-2 - волоконно-оптические переключатели, 6' и 6'' - входы волоконно-оптических переключателей,  $6'_1 / 6''_1$  и  $6'_2 / 6''_2$  - пары выходов волоконно-оптических переключателей, 9 - волоконно-оптический элемент, обеспечивающий активную или пассивную или гибридную (активно-пассивную) синхронизацию мод излучения лазера, 10 - волоконно-оптический элемент, обеспечивающий модуляцию добротности резонатора лазера.

На фиг.2 представлена схема импульсного волоконного лазера с варьируемой конфигурацией поддерживающего поляризацию излучения кольцевого резонатора при использовании двух волоконно-оптических переключателей (6-1 и 6-2), работающих по схеме 1×4: 1 - источник излучения накачки, 2 - волоконный модуль спектрального сведения излучения накачки и излучения волоконного лазера, 3 - волоконный изолятор, 4 - активное волокно, 5 - волоконный ответвитель, выводящий излучение из резонатора, 6-1 и 6-2 - волоконно-оптические переключатели, 6' и 6'' - входы волоконно-оптических переключателей,  $6'_1 / 6''_1$ ,  $6'_2 / 6''_2$ ,  $6'_3 / 6''_3$  и  $6'_4 / 6''_4$  - пары выходов волоконно-оптических переключателей, 7 - волоконно-оптический элемент, обеспечивающий активную синхронизацию мод излучения лазера, 8 - волоконно-оптический элемент, обеспечивающий пассивную синхронизацию мод излучения лазера, 9 - волоконно-оптический элемент, обеспечивающий модуляцию добротности резонатора лазера.

Работает устройство следующим образом:

излучение накачки, генерируемое источником 1 оптического излучения накачки, через волоконный модуль спектрального сведения 2 попадает в активное волокно 4, переводя активную среду лазера в активное состояние; генерация лазера осуществляется в кольцевом резонаторе, однонаправленный режим генерации обеспечивается оптическим изолятором 3; вывод излучения из резонатора производится волоконным ответвителем 5; с помощью электропереключаемых волоконно-оптических переключателей (6-1 и 6-2), работающих по схеме 1×N, где N - число выходов, к общей части резонатора лазера, включающей элементы 1-5, 6-1 и 6-2, присоединяются поочередно через пары выходов переключателей 6-1 и 6-2 волоконно-оптические элементы, обеспечивающие активную или пассивную или гибридную (активно-пассивную) синхронизацию мод излучения лазера или модуляцию добротности резонатора лазера. Для того чтобы исключить эффект нелинейной эволюции поляризации излучения и отказаться от использования волоконных контроллеров поляризации, все элементы резонатора лазера поддерживают поляризацию излучения. Применение в резонаторе лазера устройств (оптических элементов), обеспечивающих разные режимы синхронизации мод и модуляцию добротности, позволяет получить импульсы различной длительности, различной энергии и различной частоты следования из одного лазера. Для увеличения диапазона изменения энергии импульсов длина поддерживающего поляризацию излучения волокна, с помощью которого волоконно-оптические элементы подсоединяются к парам выходов волоконно-оптических переключателей, может быть относительно большой (от 5 м до 25 км) для увеличения длины всего резонатора лазера, что в режиме синхронизации мод излучения приводит к уменьшению частоты следования импульсов и к соответствующему увеличению энергии импульсов при той же мощности излучения накачки (см., например: S. Kobtsev et al. Ultra-low repetition rate mode-locked fiber laser with high-energy pulses. Optics Express, v.16, №26, 21936-21941 (2008); S.M. Kobtsev et al. High-energy mode-locked all-fiber laser with ultralong resonator. Laser Physics, v.20, 2, 351-356 (2010)). Указанный диапазон длин поддерживающего поляризацию излучения оптического волокна (от 5 м до 25 км) выбран на основании результатов проведенных авторами изобретения

экспериментальных исследований, которые показали, что при длине оптических волокон резонатора больше 25 км режим генерации становится неустойчивым.

Режим пассивной синхронизации мод излучения, реализуемый с помощью устройств на основе углеродных нанотрубок или графена или топологических изоляторов или других насыщающихся поглотителей лазерного излучения, обеспечивает наиболее короткие импульсы излучения в диапазоне длительностей 100 фемтосекунд - 10 пикосекунд и энергий в диапазоне 1-10 нДж (см., например: Z. Sun et al. Ultrafast stretched-pulse fiber laser mode-locked by carbon nanotubes. *Nano Res* 3: 404-411 (2010); D. Popa et al. Sub 200 fs pulse generation from a graphene mode-locked fiber laser. *Appl. Phys. Lett.* 97, 203106 (2010); C. Zhao et al. Ultra-short pulse generation by a topological insulator based saturable absorber. *Appl. Phys. Lett.*, 101, 211106 (2012)).

Режим активной синхронизации мод, реализуемый с помощью устройств на основе акустооптического или электрооптического или поляризационного модулятора, обеспечивает импульсы излучения в диапазоне длительностей 10 пикосекунд - 10 наносекунд и энергий в диапазоне 10-100 нДж (см., например: I.L. Villegas. Mode-locked Yb-doped all-fiber laser based on in-fiber acoustooptic modulation. *Laser Physics Letters*, v.8, №3, 227-231 (2011); R. Wang et al. Dissipative soliton in actively mode-locked fiber laser. *Opt. Express*, 20(6): 6406-11(2012)). В режиме активной синхронизации мод модуляция интенсивности или фазы излучения с помощью модулятора производится на частоте, равной межмодовому частотному интервалу резонатора лазера или на более высокой частоте, кратной межмодовому частотному интервалу резонатора лазера (так называемая "гармоническая активная синхронизация мод излучения"). Гармоническая активная синхронизация мод излучения позволяет повысить частоту следования импульсов (P. Das et al. Rational harmonic mode locking fiber laser. *Proc. SPIE 3075, Photonic Processing Technology and Applications*, 21 (July 1, 1997)).

Режим гибридной (активно-пассивной) синхронизации мод излучения лазера, реализуемый с помощью комбинации устройств для активной и пассивной синхронизации мод излучения, обеспечивает импульсы излучения в диапазоне длительностей 100 фемтосекунд - 10 наносекунд и энергий в диапазоне 1-100 нДж и используется для реализации запуска режима пассивной синхронизации мод излучения в определенных диапазонах мощностей излучения и частот повторения импульсов (см., например: S. Kim et al. Hybrid mode-locked Er-doped fiber femtosecond oscillator with 156 mW output power. *Opt. Express*, v.20, №14, 15054-15060 (2012); H. Kaori. Erbium-doped fiber laser hybrid mode-locked operating with CNT at 10 GHz. *Latin America Optics and Photonics Conference, OS A Technical Digest (online) (OS A, 2012)*, paper LS2A.2).

Режим модуляции добротности, реализуемый с помощью акустооптического, или электрооптического, или поляризационного модулятора или быстро поворачивающегося зеркала резонатора, обеспечивает импульсы излучения в диапазоне длительностей 10 наносекунд - 1 секунда, энергий в диапазоне 100 нДж - 1 мДж и частот следования в диапазоне 100 кГц - 1 Гц (см., например: R.J. Williams et al. All-optical, actively Q-switched fiber laser. *Optics Express*, v.18, №8, 7714-7723 (2010); J.K. Jabczynski et al. Actively Q-switched thulium lasers. Chapter 5 in "Advances in Solid-State Lasers: Development and Applications", Book edited by: M. Grishin, INTECH, ISBN 978-953-7619-80-0 (2010); D. Sabourdy et al. Novel active Q-switched fiber laser based on electrostatically actuated micro-mirror system. *Optics Express*, v.14, №9, 3917-3922 (2006)).

Все элементы заявляемого лазера являются коммерчески доступными, в качестве волоконно-оптических переключателей 6-1 и 6-2 могут быть использованы волоконно-оптические переключатели компаний Lightwave Link Inc. (Тайвань) - 1×4/4×1 Latching

Optical Switch Module, SENKO Advanced Components (Hong Kong) Ltd. - 1×2/1×4/1×8/1×16 / 16×1/8×1/4×1/2×1 Senko Optical Switches и других компаний.

Предлагаемое изобретение имеет много областей применения: от научных исследований до медицинских приборов и промышленных установок (см., например: 5 М.Е. Fermann, I. Hart. Ultrafast fibre lasers. Nature Photonics, 7, 868-874 (2013)).

#### Формула изобретения

1. Импульсный волоконный лазер с варьiruемой конфигурацией поддерживающего поляризацию излучения кольцевого резонатора, содержащий источник излучения 10 накачки, волоконный модуль спектрального сведения, вход накачки которого соединен с источником накачки, сигнальный вход модуля спектрального сведения соединен с волоконным изолятором, сигнальный выход модуля спектрального сведения соединен с активным волокном, которое другим концом соединено с волоконным ответвителем, выводящим излучение из резонатора, отличающийся тем, что волоконный изолятор и 15 волоконный ответвитель соединены другими концами с входами двух управляемых внешними электронными сигналами волоконно-оптических переключателей, работающих по схеме 1×N, где N - число выходов, а к парам выходов переключателей с помощью поддерживающих поляризацию излучения оптических волокон присоединены волоконно-оптические элементы, обеспечивающие активную или пассивную или 20 гибридную (активно-пассивную) синхронизацию мод излучения лазера или модуляцию добротности резонатора лазера.

2. Лазер по п.1, отличающийся тем, что для активной синхронизации мод излучения используется элемент, обеспечивающий синхронизацию мод излучения на частоте, превышающей межмодовый частотный интервал резонатора лазера и кратной 25 межмодовому частотному интервалу резонатора лазера.

3. Лазер по п.1, отличающийся тем, что длина поддерживающего поляризацию излучения волокна, с помощью которого волоконно-оптические элементы, обеспечивающие активную или пассивную или гибридную (активно-пассивную) синхронизацию мод излучения лазера, подсоединяются к парам выходов волоконно-оптических переключателей, составляет от 5 м до 25 км. 30

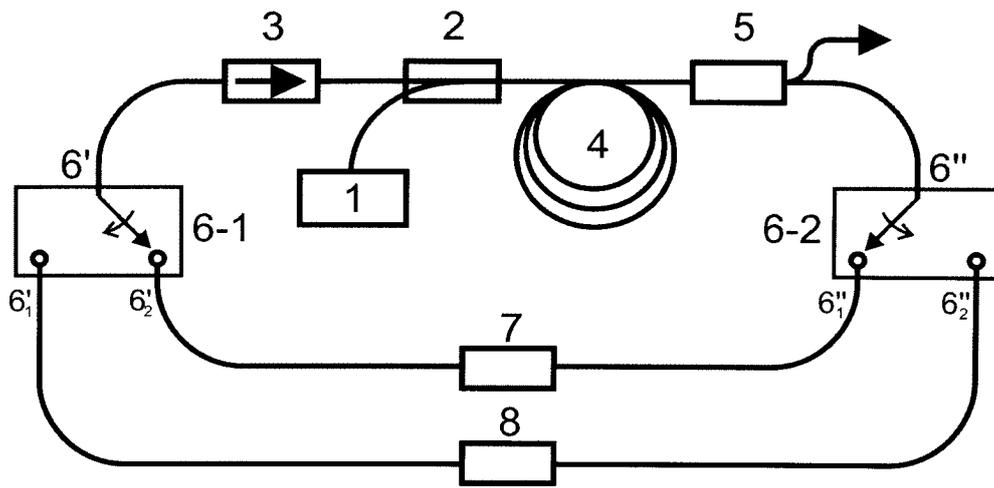
4. Лазер по п.1, отличающийся тем, что в качестве элемента пассивной синхронизации мод использованы устройства на основе углеродных нанотрубок или графена или топологических изоляторов или других насыщающихся поглотителей лазерного излучения.

5. Лазер по п.1, отличающийся тем, что в качестве элемента активной синхронизации мод использовано устройство на основе акустооптического или электрооптического или поляризационного модулятора. 35

6. Лазер по п.1, отличающийся тем, что в качестве элемента гибридной (активно-пассивной) синхронизации мод излучения лазера использовано устройство на основе комбинации элементов для активной и пассивной синхронизации мод излучения. 40

7. Лазер по п.1, отличающийся тем, что в качестве элемента модуляции добротности использовано устройство на основе акустооптического, или электрооптического, или поляризационного модулятора или быстро поворачивающегося зеркала резонатора.

8. Лазер по п.1, отличающийся тем, что все элементы резонатора лазера являются 45 цельноволокonnными.



Фиг. 1