



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2013151213/28, 18.11.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.11.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.11.2013

(43) Дата публикации заявки: 27.05.2015 Бюл. № 15

(45) Опубликовано: 20.08.2015 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2013130942 A1, 08.07.2013, . JP 4436474 B2, 24.03.2010, . WO 2005074573 A2, 18.08.2005, . US 20100272129 A1, 28.10.2010

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),  
Хрипунов Сергей Александрович (RU),  
Раднатаров Даба Александрович (RU),  
Иваненко Алексей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет" (Новосибирский государственный университет, НГУ) (RU),  
Общество с ограниченной ответственностью "Техноскан-Лаб" (ООО "Техноскан-Лаб") (RU)

**(54) СПОСОБ ПАССИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ МОД ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛАЗЕРЕ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ С ЦЕЛЬНОВОЛОКОННЫМ ОПТИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ**

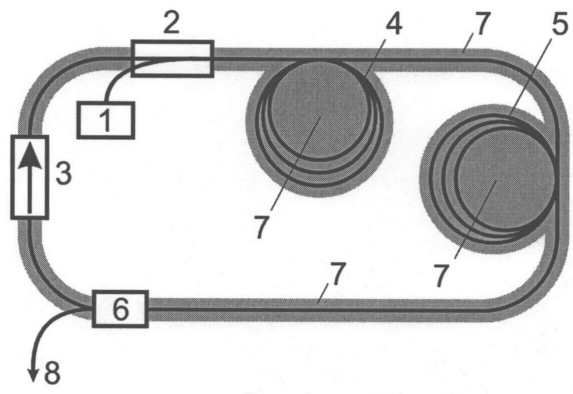
(57) Реферат:

Изобретение относится к лазерной технике. Способ пассивной синхронизации мод излучения в лазере сверхкоротких импульсов с цельноволоконным оптическим резонатором состоит в использовании эффекта нелинейной эволюции поляризации и укладки витками оптического волокна с формированием скруток и изгибов, не препятствующих распространению по оптическому волокну оптического излучения и создающих двулучепреломление и относительную фазовую задержку компонент

поляризации, достаточную для запуска режима пассивной синхронизации мод за счет эффекта нелинейной эволюции поляризации. Технический результат заключается в обеспечении возможности эффективного преобразования энергии оптической накачки в энергию генерируемых импульсов, при использовании надежной конструкции лазера, не требующей технического обслуживания в процессе эксплуатации и транспортировки. 1 ил.

**RU 2 560 750 C 2**

**RU 2 560 750 C 2**



Фиг.1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013151213/28, 18.11.2013

(24) Effective date for property rights:  
18.11.2013

Priority:

(22) Date of filing: 18.11.2013

(43) Application published: 27.05.2015 Bull. № 15

(45) Date of publication: 20.08.2015 Bull. № 23

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),  
Khripunov Sergej Aleksandrovich (RU),  
Radnatarov Daba Aleksandrovich (RU),  
Ivanenko Aleksej Vladimirovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Novosibirskij natsional'nyj issledovatel'skij gosudarstvennyj universitet" (Novosibirskij gosudarstvennyj universitet, NGU) (RU),  
Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "Tekhnoskan-Lab" (OOO "Tekhnoskan-Lab") (RU)

**(54) METHOD FOR PASSIVE RADIATION MODE SYNCHRONISATION IN ULTRASHORT PULSE LASER WITH INTEGRAL FIBRE OPTICAL CAVITY**

(57) Abstract:

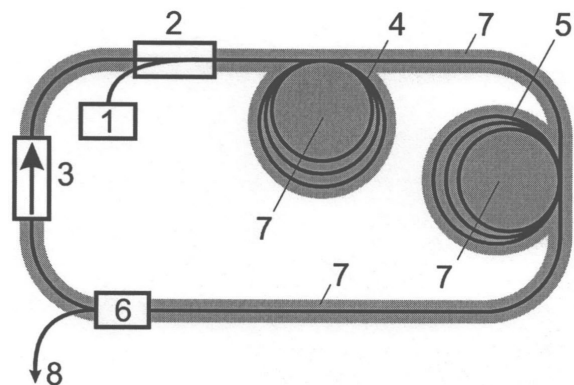
FIELD: physics, optics.

SUBSTANCE: invention relates to laser engineering. A method for passive radiation mode synchronisation in an ultrashort pulse laser with an integral optical cavity comprises using the nonlinear polarisation evolution effect and stacking coils of optical fibre to form twists and turns which do not prevent propagation of optical radiation in the optical fibre and which result in birefringence and relative phase delay of the polarisation component, sufficient to trigger passive mode synchronisation through the nonlinear polarisation evolution effect.

EFFECT: facilitating efficient conversion of optical pumping energy into the energy of generated pulses using a reliable laser design which does not require

maintenance during operation and transportation.

1 dwg



Фиг.1

RU 2 560 750 C 2

RU 2 560 750 C 2

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

Уровень техники

5 Волоконные лазеры сверхкоротких импульсов играют ключевую роль в области фотоники, спектроскопии, биомедицины, оптических телекоммуникаций. Волоконные лазеры сверхкоротких импульсов служат для генерации импульсного оптического излучения, используемого для микро- и нанообработки поверхностей, записи компонент фотоники в прозрачных средах, выполнения прецизионных разрезов оболочек глаза в офтальмологии, в качестве носителя информации в оптических линиях связи и  
10 оптического возбуждения для генерации суперконтинуума. Широта области применений сверхкоротких импульсов обуславливает актуальность задачи усовершенствования устройств и способов для их генерации.

Известен способ пассивной синхронизации мод излучения в волоконном лазере за счет эффекта нелинейной эволюции поляризации излучения в оптоволокне (ст.: М.Е. Fermann, M.J. Andrejco, Y. Silberberg and M.L. Stock. Passive mode locking by using nonlinear polarization evolution in a polarization-maintaining erbium-doped fiber. Optics Letters, Vol.18, Issue 11, pp.894-896 (1993) [1]). Режим пассивной синхронизации мод достигается настройкой волоконных контроллеров поляризации, используемых в резонаторе волоконного лазера в качестве двулучепреломляющих элементов фазовой задержки.  
15 Недостатками данного технического решения является то, что данный способ пассивной синхронизации мод в лазере основан на использовании в конструкции лазера в качестве двулучепреломляющих элементов фазовой задержки контроллеров поляризации, основанных на механической деформации волокна. Вносимые контроллерами поляризации фазовые задержки с течением времени могут изменяться вследствие  
20 пластических деформаций оптического волокна, что приводит к выходу лазера из заданного режима генерации и необходимости его подстройки и технического обслуживания высококвалифицированными специалистами, что сопряжено со значительными затратами времени и материальных ресурсов.

Известен способ пассивной синхронизации мод в гибридном лазере, оптический резонатор которого включает отрезки оптического волокна и дискретные оптические  
30 элементы - двулучепреломляющие фазовые пластинки, вносящие относительную фазовую задержку между двумя компонентами поляризации внутрирезонаторного лазерного излучения (ст.: М.Е. Fermann, L.-M. Yang, M.J. Andrejco, and M.L. Stock, "Environmentally stable Kerr-type mode-locked erbium fiber laser producing 360-fs pulses,"  
35 Optics Letters, Vol.19, Issue 1, pp.43-45 (1994) [2]). Режим пассивной синхронизации мод в таком лазере достигается настройкой углов ориентации одной или нескольких двулучепреломляющих пластинок, используемых в резонаторе лазера в качестве двулучепреломляющих элементов фазовой задержки. Недостатком данного технического решения является то, что указанный способ пассивной синхронизации мод в лазере  
40 основан на использовании в конструкции лазера в качестве двулучепреломляющих элементов фазовой задержки двух и более дискретных объемных (не волоконных) элементов, требующих сложной прецизионной юстировки и настройки как перед первым запуском лазера, так и после транспортировки лазера от завода-изготовителя до конечного потребителя (пользователя), что требует участия высококвалифицированных  
45 специалистов и сопряжено со значительными затратами времени и материальных ресурсов.

Наиболее близким аналогом-прототипом предлагаемому изобретению является способ пассивной синхронизации мод в волоконном лазере, описанный в ст.: D.

Radnatarov, S. Khripunov, S. Kobtsev, A. Ivanenko, S. Kukarin. "Automatic electronic-controlled mode locking self-start in fibre lasers with non-linear polarisation evolution." *Optics Express*, Vol.21, Issue 18, pp.20626-20631 (2013) [3]). Известный из указанной работы способ пассивной синхронизации мод излучения основан на эффекте нелинейной эволюции поляризации излучения в оптическом волокне резонатора, запуск режима синхронизации мод излучения и управление параметрами режима осуществляются изменением электрического напряжения, прикладываемого к жидкокристаллическому поляризационному элементу фазовой задержки и регулировкой мощности источника накачки. В зависимости от указанных двух параметров настройки в лазере могут реализовываться различные режимы генерации.

Недостатком прототипа является то, что указанный способ пассивной синхронизации мод в лазере основан на использовании в конструкции лазера в качестве двулучепреломляющего элемента фазовой задержки как минимум одного дискретного жидкокристаллического элемента фазовой задержки, что обуславливает необходимость точного сопряжения указанного дискретного элемента с оптическим волокном, прецизионной юстировки и настройки лазера при сборке и после транспортировки. Еще одним недостатком указанного способа пассивной синхронизации мод, также связанным с необходимостью использования в схеме лазера жидкокристаллического элемента фазовой задержки, является сложность в изготовлении жидкокристаллического элемента фазовой задержки и его высокая рыночная стоимость, что определяет высокую стоимость лазера в целом при использовании данного способа пассивной синхронизации мод.

Задачей, решаемой настоящим изобретением, является создание способа стабильной пассивной синхронизации мод излучения, обеспечивающего режим генерации одиночных сверхкоротких оптических импульсов с высокой эффективностью преобразования энергии оптической накачки в энергию генерируемых импульсов, допускающего использование надежной конструкции лазера, не требующей технического обслуживания в процессе эксплуатации и транспортировки.

Сущность изобретения

Поставленная задача решается за счет того, что в известном способе пассивной синхронизации мод излучения в волоконном лазере сверхкоротких импульсов за счет эффекта нелинейной эволюции поляризации в оптическом волокне кольцевого лазерного резонатора, согласно изобретению запуск режима синхронизации мод излучения и управление параметрами режима синхронизации мод осуществляют в процессе укладки оптических волокон при сборке лазера за счет скруток и изгибов оптических волокон, выполняющих функцию двулучепреломляющих элементов фазовой задержки, сохранение параметров выбранного режима синхронизации мод в процессе эксплуатации и транспортировки обеспечивается системой механической фиксации оптического волокна.

Описание предлагаемого способа пассивной синхронизации мод излучения в волоконном кольцевом лазере сверхкоротких импульсов поясняется фиг. 1: схема волоконного кольцевого лазера сверхкоротких импульсов для реализации способа пассивной синхронизации мод излучения.

На фиг.1 обозначено: 1 - источник накачки, 2 - волоконный модуль спектрального сведения, 3 - поляризационно независимый оптический изолятор, 4 - активное волокно, 5 - пассивное волокно, 6 - волоконный ответвитель с поддержкой поляризации, 7 - система механической фиксации оптического волокна, 8 - оптический выход лазера.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения - работоспособность способа

К оптическому выходу 8 лазера подключают осциллограф и анализатор оптического спектра, после чего одно или несколько оптических волокон лазерного резонатора укладывают витками 4, 5 с образованием сгибов и скруток, не нарушающих целостности оптического волокна и не препятствующих распространению по оптическому волокну оптического излучения, создающих двулучепреломление и относительную фазовую задержку компонент поляризации, достаточную для запуска режима пассивной синхронизации мод за счет эффекта нелинейной эволюции поляризации. Скрутку и изгиб волокна контролируют при помощи осциллографа и анализатора оптического спектра, подключенных к оптическому выходу 8 лазера, путем поиска такого способа укладки волокна, при котором достигается осциллограмма выходного излучения в виде последовательности сверхкоротких импульсов, а оптический спектр имеет П-образную форму. После укладки оптическое волокно фиксируют с помощью системы механической фиксации оптического волокна 7, включающей набор крепежных элементов и/или заливку волоконного резонатора отвердевающим наполнителем, предотвращающей изменение изгибов и скруток оптического волокна и вносимого ими двулучепреломления и препятствует выходу лазера из заданного при сборке лазера режима генерации в процессе работы и транспортировки лазера.

Предложенный способ пассивной синхронизации мод излучения может быть реализован в полностью волоконных оптических резонаторах, не содержащих дискретных оптических элементов, что позволяет создавать на основе данного способа лазеры с высокой эффективностью преобразования энергии оптической накачки в энергию генерируемых импульсов.

Таким образом, предлагаемое изобретение является способом стабильной пассивной синхронизации мод излучения, обеспечивающего режим генерации сверхкоротких оптических импульсов с высокой эффективностью преобразования энергии оптической накачки в энергию генерируемых импульсов, допускающего использование надежной конструкции лазера, не требующей технического обслуживания в процессе эксплуатации и транспортировки.

#### Источники информации

1. Optics Letters. - 1993. - Vol.18. - No 11. - P.894-896.
2. Optics Letters. - 1994. - Vol.19. - No 1. - P.43-45.
3. Optics Express. - 2013. - Vol.21. - No 18. - P.20626-20631.

#### Формула изобретения

Способ пассивной синхронизации мод излучения в лазере сверхкоротких импульсов с цельноволоконным оптическим резонатором за счет эффекта нелинейной эволюции поляризации в оптическом волокне кольцевого лазерного резонатора, отличающийся тем, что запуск режима синхронизации мод излучения и управление параметрами режима синхронизации мод осуществляют в процессе укладки оптических волокон при сборке лазера за счет скруток и изгибов оптических волокон, выполняющих функцию двулучепреломляющих элементов фазовой задержки, после чего осуществляют механическую фиксацию оптического волокна, обеспечивающую сохранение параметров выбранного режима синхронизации мод в процессе эксплуатации и транспортировки.