



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013159340/28, 30.12.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.12.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.12.2013

(45) Опубликовано: 20.04.2015 Бюл. № 11

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: EP 2264841 A2, 22.12.2010. US
20070216993 A1, 20.09.2007, . RU 2008140186
A, 20.04.2010, . EP 2530795 A2, 05.12.2012, . EP
1493212 B1, 14.10.2009

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Кобцев Сергей Михайлович (RU),
Иваненко Алексей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
"Техноскан-Лаб" (ООО "Техноскан-Лаб")
(RU)

(54) РАМАНОВСКИЙ ВОЛОКОННЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ЛАЗЕР

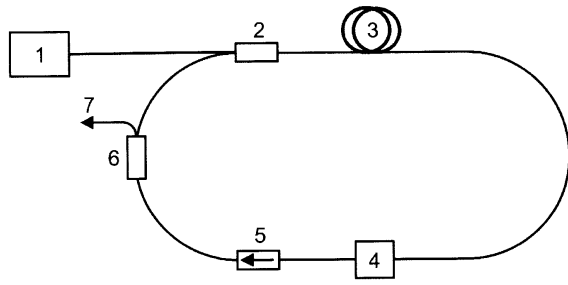
(57) Реферат:

Рамановский волоконный импульсный лазер содержит оптически связанные источник излучения накачки, поддерживающий поляризацию излучения волоконный кольцевой резонатор, содержащий рамановское усиливающее волокно, преобразующее излучение накачки в излучение первого или более высокого стоксового компонента рамановского рассеяния. Также лазер содержит волоконный модуль спектрального сведения для введения излучения накачки в кольцевой резонатор, позволяющий ввести излучение накачки в кольцевой резонатор и пропускающий усиливаемое излучение

рамановского импульсного лазера, поляризационно-зависимый ответитель для вывода излучения из резонатора и минимум один изолятор, обеспечивающий однонаправленную генерацию излучения. В резонатор лазера введен элемент активной синхронизации мод излучения на основе амплитудного или фазового модулятора. Технический результат заключается в обеспечении возможности генерации стабильных когерентных импульсов с частотой следования более 1 МГц в широком спектральном диапазоне при использовании излучения накачки с различными длинами волн. 4 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2 548 394 C1

RU 2 548 394 C1



Фиг. 1

RU 2548394 C1

RU 2548394 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013159340/28, 30.12.2013

(24) Effective date for property rights:
30.12.2013

Priority:

(22) Date of filing: 30.12.2013

(45) Date of publication: 20.04.2015 Bull. № 11

Mail address:

630090, g.Novosibirsk, ul. Pirogova, 2, Novosibirskij gosudarstvennyj universitet, Otdel upravlenija intellektual'noj sobstvennost'ju, Beljaevoj N.A.

(72) Inventor(s):

**Kobtsev Sergej Mikhajlovich (RU),
Ivanenko Aleksej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **RAMAN FIBRE PULSED LASER**

(57) Abstract:

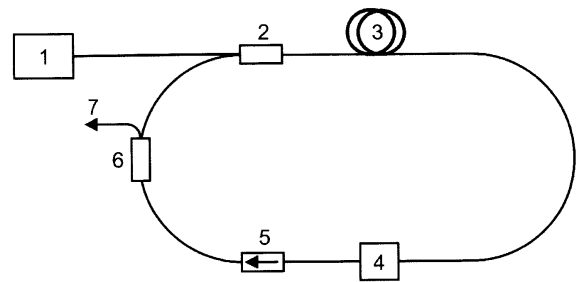
FIELD: physics.

SUBSTANCE: Raman fibre pulsed laser comprises optically coupled pumping radiation source, which supports polarisation of the radiation of a fibre ring resonator, comprising a Raman amplification fibre which converts pumping radiation into radiation of a first or higher Stokes component of Raman scattering. The laser also includes a fibre spectral information module for inputting pumping radiation into the ring resonator, which enables to input pumping radiation into the ring resonator and transmits amplified radiation of the Raman pulsed laser, a polarisation-dependent splitter for outputting radiation from the resonator and at least one isolator which provides unidirectional generation of radiation. The laser resonator includes an active radiation mode locking element based on an

amplitude or phase modulator.

EFFECT: enabling generation of stable coherent pulses with repetition frequency higher than 1 MHz in a wide spectral range using pumping radiation with different wavelengths.

5 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 548 394 C1

RU 2 548 394 C1

Настоящее изобретение относится к лазерам - приборам для генерации когерентных электромагнитных волн и промышленно применимо в устройствах и системах, использующих лазерное излучение.

Из существующего уровня техники известен волоконный кольцевой эрбиевый лазер с синхронизацией мод излучения, реализованной с помощью внутриврезонаторной амплитудной модуляции излучения на частоте, равной межмодовому интервалу резонатора лазера (J.D. Kafka et al. Mode-locked erbium-doped fiber laser with soliton pulse shaping. *Opt. Lett.*, 14 (22), pp. 1269-1271 (1989)). Недостатком данного технического решения является то, что спектральный диапазон излучения импульсов ограничен рабочим спектральным диапазоном эрбиевого лазера, ширина этого спектрального диапазона составляет в лучшем случае несколько десятков нанометров вблизи длины волны 1550 нм, этот относительно узкий рабочий спектральный диапазон задан характеристиками используемой активной среды - световода, легированного ионами эрбия. Кроме того, используемое в резонаторе лазера волокно без поддержки поляризации излучения не подавляет эффект нелинейной эволюции поляризации излучения (V.J. Matsas et al. Self-starting passively mode-locked fibre ring soliton laser exploiting nonlinear polarisation rotation. *Electron. Lett.* 28, 1391 (1992)), который инициирует пассивную синхронизацию мод излучения и проявляется одновременно с активной синхронизацией мод излучения. Неконтролируемая паразитная пассивная синхронизация мод излучения вносит нестабильность в генерацию лазера в режиме активной синхронизации мод излучения, что проявляется в существенно более увеличенном временном "дрожании" импульсов и в существенно более увеличенной амплитудной нестабильности импульсов излучения, которая может приводить даже к пропаданию отдельных импульсов из их последовательности.

Наиболее близким к заявленному техническому решению является волоконный лазер с активной синхронизацией мод излучения с использованием динамически перестраиваемого оптического фильтра и элемента обратной связи для автоподстройки скорости спектральной перестройки полосы пропускания оптического фильтра (патент EP 2264841 A2, опублик. 22.12.2010, Bulletin 2010/51). Синхронизация мод излучения в этом лазере осуществляется за счет свипирования линии генерации лазера с частотой, зависящей от времени обхода резонатора лазера. Данное решение предусматривает (как вариант) использование в резонаторе лазера поддерживающих поляризацию излучения элементов и элемента, задающего поляризацию излучения, - поляризационно-зависимого ответвителя, а также рамановской усиливающей среды. Недостатком этого технического решения является необходимость использования относительно длинного резонатора лазера для того, чтобы понизить частоту свипирования до такой, с какой может перестраиваться спектрально-селективный перестраиваемый фильтр (не более 1 МГц; C.M. Eigenwillig et al. Picosecond pulses from wavelength-swept continuous-wave Fourier domain mode-locked lasers. *Nature Communications*, 4, article number: 1848 (2013)). Это ограничивает частоту повторения импульсов этого лазера величиной 1 МГц.

Задачей, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является создание компактного рамановского волоконного импульсного лазера с частотой следования когерентных импульсов более 1 МГц при одновременном существенном улучшении некоторых ключевых параметров излучения: как минимум в несколько раз уменьшенном временном "дрожании" импульсов и как минимум в несколько раз уменьшенной амплитудной нестабильности импульсов излучения. Высокая частота следования импульсов излучения (>1 МГц) позволяет реализовать принципиально иной механизм взаимодействия излучения с веществом - абляцию при взаимодействии излучения с

поверхностью твердого тела и фотомодификацию материала при взаимодействии с объемной прозрачной средой. Кроме того, рамановская среда в качестве усиливающей среды позволяет получать аналогичные параметры излучения в широком спектральном диапазоне за счет применения излучения накачки с различными длинами волн, а также за счет использования излучения различных стоксовых компонент вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния.

Данная задача решается за счет того, что в известном рамановском волоконном импульсном лазере, содержащем оптически связанные источник излучения накачки, поддерживающий поляризацию излучения волоконный кольцевой резонатор, содержащий рамановское усиливающее волокно, преобразующее излучение накачки в излучение первого или более высокого стоксового компонента вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния, минимум один волоконный модуль спектрального сведения для введения излучения накачки в кольцевой резонатор, позволяющий ввести излучение накачки в кольцевой резонатор и пропускающий усиливаемое излучение рамановского импульсного лазера, минимум один поляризационно-зависимый ответитель для вывода излучения из резонатора, минимум один изолятор, обеспечивающий однонаправленную генерацию излучения, согласно изобретению в резонатор лазера введен элемент активной синхронизации мод излучения на основе амплитудного или фазового модулятора.

В частности, в качестве рамановского усиливающего волокна может быть использовано как стеклянное оптическое волокно, так и стеклянное оптическое волокно, легированное оксидами германия, фосфора, а также их сочетанием, при этом в оксидную матрицу может входить соединение химического элемента Si, N, Ga, Al, Fe, F, Ti, B, Sn, Ba, Ta, Zr, Bi.

В частности, источником излучения накачки рамановского импульсного лазера может служить рамановский лазер при использовании в качестве усиливающего волокна стекловолокна, легированного оксидами германия, фосфора, а также их сочетанием, при этом в оксидную матрицу может входить соединение химического элемента Si, N, Ga, Al, Fe, F, Ti, B, Sn, Ba, Ta, Zr, Bi, при этом резонатор рамановского лазера образуют две волоконные брэгговские решетки, имеющие перпендикулярные лучу или наклонные штрихи и отражающие излучение первой стоксовой компоненты вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния.

В частности, источником излучения накачки рамановского импульсного лазера могут служить два рамановских лазера при использовании в качестве усиливающего волокна стекловолокна, легированного оксидами германия, фосфора, а также их сочетанием, при этом в оксидную матрицу может входить соединение химического элемента Si, N, Ga, Al, Fe, F, Ti, B, Sn, Ba, Ta, Zr, Bi, при этом резонаторы двух рамановских лазеров образуют четыре волоконные брэгговские решетки, имеющие перпендикулярные лучу или наклонные штрихи и отражающие излучение первой и второй стоксовых компонент вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния.

В частности, для уменьшения длительности генерируемых лазерных импульсов могут быть использованы электрические импульсы, управляющие элементом активной синхронизации мод, длительность которых не превышает длительность генерируемых импульсов.

Из уровня техники не известно устройство, имеющее совокупность заявляемых признаков, т.е. оно обладает новизной.

Признаки, указанные в описании и формуле прототипа, не позволяют достичь

заявляемого технического результата. Лазеры с синхронизацией мод излучения на основе спектрального свипирования линии генерации (Fourier domain mode-locked laser, FDML) не способны свипировать линию генерации в широком диапазоне (5-10 нм и более) с частотой более 1 МГц, поэтому частота следования импульсов этих лазеров ограничена величиной 1 МГц. Для уменьшения частоты свипирования линии генерации в FDML-лазерах используются длинные резонаторы (длиной более 1 км) с межмодовой частотой менее 1 МГц. Значительное увеличение длины резонатора волоконного лазера с синхронизацией мод излучения приводит к тому, что в таком резонаторе преимущественно реализуется режим генерации цугов импульсов (пико- или наносекундных), заполненных стохастической последовательностью более коротких импульсов (S. Smirnov et al. Three key regimes of single pulse generation per round trip of all-normal-dispersion fiber lasers mode-locked with nonlinear polarization rotation. Optics Express, Vol.20, Issue 24, pp. 27447-27453 (2012)). Эти некогерентные импульсы, часто называемые в литературе "шумоподобными" ("noise-like"), имеют очень ограниченную область применения в силу их специфичной структуры, а также в силу нестабильности параметров импульсов, вызванной стохастическим наполнением цугов - увеличенного временного "дрожания" импульсов, достигающего нескольких процентов от межимпульсного временного интервала, и увеличенной амплитудной нестабильности импульсов излучения, достигающей нескольких десятков процентов.

Активная синхронизация мод излучения позволяет реализовать режим генерации когерентных импульсов с мегагерцовой и более частотой повторения, имеющих существенно более широкую область применения и обладающих существенно более стабильными параметрами излучения - временное "дрожание" импульсов не превышает одного процента от межимпульсного временного интервала, амплитудная нестабильность импульсов излучения не превышает нескольких процентов.

Техническим результатом, обеспечиваемым приведенной совокупностью признаков, является достижение в компактном рамановском волоконном импульсном лазере частоты следования когерентных импульсов более 1 МГц при одновременном существенном улучшении некоторых ключевых параметров излучения: как минимум в несколько раз уменьшенном временном "дрожании" импульсов и как минимум в несколько раз уменьшенной амплитудной нестабильности импульсов излучения. Кроме того, использование рамановской усиливающей среды позволяет преобразовывать спектр излучения - смещать его в длинноволновую область спектра, соответствующую излучению первого или более высокого стоксового компонента вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния.

Необходимо отметить, что ни одно отдельно взятое устройство не дает такого эффекта, какой дает совокупность заявленных признаков. До подачи данной заявки было неочевидно, что совокупность заявленных признаков позволит решить задачу создания компактного рамановского волоконного импульсного лазера с частотой следования когерентных импульсов более 1 МГц при одновременном существенном улучшении некоторых ключевых параметров излучения: как минимум в несколько раз уменьшенном временном "дрожании" импульсов и как минимум в несколько раз уменьшенной амплитудной нестабильности импульсов излучения.

Сущность изобретения поясняется следующими схемами.

На фиг. 1 представлена схема рамановского волоконного импульсного лазера: 1 - источник излучения накачки, 2 - волоконный модуль спектрального сведения, 3 - рамановское усиливающее волокно, 4 - элемент активной синхронизации мод, 5 - изолятор, 6 - поляризационно-зависимый ответвитель, 7 - выходное излучение лазера.

На фиг. 2 представлена схема рамановского волоконного импульсного лазера, в котором источником излучения накачки рамановского волоконного импульсного лазера служит рамановский лазер, резонатор которого образуют две волоконные брэгговские решетки 8, отражающие излучение первой стоксовой компоненты
5 вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния.

На фиг. 3 представлена схема рамановского волоконного импульсного лазера, в котором источником излучения накачки рамановского волоконного импульсного лазера служат два рамановских лазера, резонаторы которых образуют четыре
10 волоконные брэгговские решетки, отражающие излучение первой (решетки 8) и второй (решетки 9) стоксовых компонент вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния.

Работает устройство следующим образом:

излучение накачки, генерируемое источником 1 оптического излучения накачки, через волоконный модуль спектрального сведения 2 попадает в рамановское
15 усиливающее волокно 3; генерация лазера осуществляется в кольцевом резонаторе, однонаправленный режим генерации обеспечивается изолятором 5, для вывода излучения из резонатора служит поляризационно-зависимый ответвитель 6, который также выполняет функция поляризатора излучения. Синхронизация мод излучения лазера производится элементом активной синхронизации мод излучения 4 на основе
20 амплитудного или фазового модулятора. Для устранения паразитного влияния эффекта нелинейной эволюции поляризации все элементы резонатора выполнены из поддерживающего поляризацию излучения волокна. Лазер генерирует импульсы излучения в спектральной области, соответствующей спектру излучения первой стоксовой компоненты вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния
25 относительно спектра излучения накачки.

При использовании схемы рамановского волоконного импульсного лазера, в котором источником излучения накачки рамановского волоконного импульсного лазера служит рамановский лазер, резонатор которого образуют две волоконные брэгговские решетки
8, отражающие излучение первой стоксовой компоненты вынужденного
30 комбинационного (рамановского) рассеяния, лазер генерирует импульсы излучения в спектральной области, соответствующей спектру излучения второй стоксовой компоненты вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния относительно спектра излучения накачки.

При использовании схемы рамановского волоконного импульсного лазера, в котором
35 источником излучения накачки рамановского волоконного импульсного лазера служат два рамановских лазера, резонаторы которых образуют четыре волоконные брэгговские решетки, отражающие излучение первой (решетки 8) и второй (решетки 9) стоксовых компонент вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния, лазер генерирует импульсы излучения в спектральной области, соответствующей спектру излучения
40 третьей стоксовой компоненты вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния относительно спектра излучения накачки.

При использовании схемы рамановского волоконного импульсного лазера, в котором источником излучения накачки рамановского волоконного импульсного лазера служат
45 один или два рамановских лазера, их резонаторы могут быть образованы отражающими волоконными брэгговскими решетками, имеющими перпендикулярные лучу или наклонные штрихи.

Для уменьшения длительности генерируемых импульсов необходимо использовать электрические импульсы, управляющие элементом активной синхронизации мод,

длительность которых не превышает длительность генерируемых импульсов.

Формула изобретения

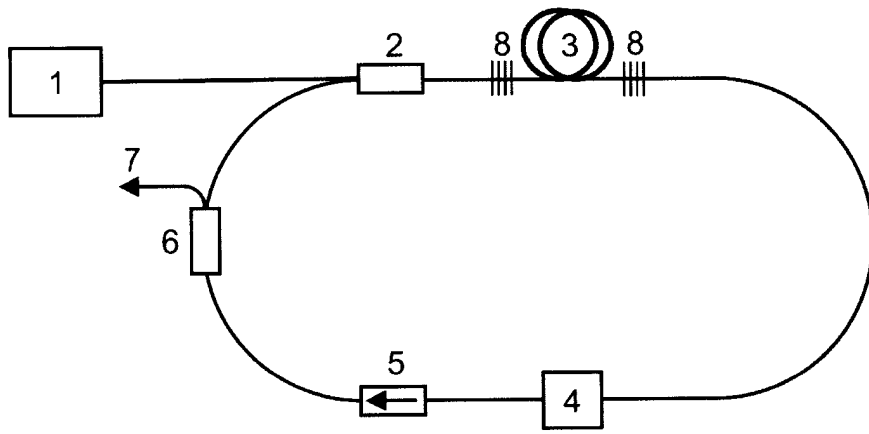
1. Рамановский волоконный импульсный лазер, содержащий оптически связанные источник излучения накачки, поддерживающий поляризацию излучения волоконный кольцевой резонатор, содержащий рамановское усиливающее волокно, преобразующее излучение накачки в излучение первого или более высокого стоксового компонента вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния, минимум один волоконный модуль спектрального сведения для введения излучения накачки в кольцевой резонатор, позволяющий ввести излучение накачки в кольцевой резонатор и пропускающий усиливаемое излучение рамановского импульсного лазера, минимум один поляризационно-зависимый ответвитель для вывода излучения из резонатора, минимум один изолятор, обеспечивающий однонаправленную генерацию излучения, отличающийся тем, что в резонатор лазера введен элемент активной синхронизации мод излучения на основе амплитудного или фазового модулятора.

2. Лазер по п. 1, отличающийся тем, что в качестве рамановского усиливающего волокна может быть использовано как стеклянное оптическое волокно, так и стеклянное оптическое волокно, легированное оксидами германия, фосфора, а также их сочетанием, при этом в оксидную матрицу может входить соединение химического элемента Si, N, Ga, Al, Fe, F, Ti, B, Sn, Ba, Ta, Zr, Bi.

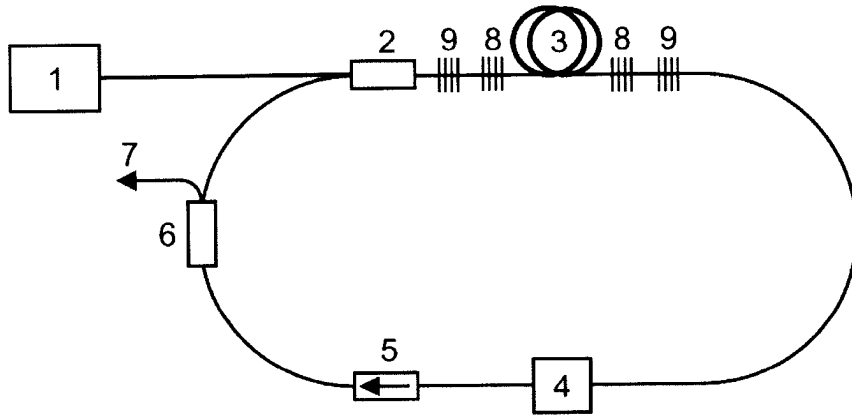
3. Лазер по п. 1, отличающийся тем, что источником излучения накачки рамановского импульсного лазера может служить рамановский лазер при использовании в качестве усиливающего волокна стекловолокна, легированного оксидами германия, фосфора, а также их сочетанием, при этом в оксидную матрицу может входить соединение химического элемента Si, N, Ga, Al, Fe, F, Ti, B, Sn, Ba, Ta, Zr, Bi, при этом резонатор рамановского лазера образуют две волоконные брэгговские решетки, имеющие перпендикулярные лучу или наклонные штрихи и отражающие излучение первой стоксовой компоненты вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния.

4. Лазер по п. 1, отличающийся тем, что источником излучения накачки рамановского импульсного лазера могут служить два рамановских лазера при использовании в качестве усиливающего волокна стекловолокна, легированного оксидами германия, фосфора, а также их сочетанием, при этом в оксидную матрицу может входить соединение химического элемента Si, N, Ga, Al, Fe, F, Ti, B, Sn, Ba, Ta, Zr, Bi, при этом резонаторы двух рамановских лазеров образуют четыре волоконные брэгговские решетки, имеющие перпендикулярные лучу или наклонные штрихи и отражающие излучение первой и второй стоксовых компонент вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния.

5. Лазер по п. 1, отличающийся тем, что длительность электрических импульсов, управляющих элементом активной синхронизации мод излучения, меньше длительности генерируемых импульсов.



Фиг. 2



Фиг. 3