



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*H04B 10/00 (2022.05)*

(21)(22) Заявка: 2021135616, 03.12.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
03.12.2021

Дата регистрации:  
23.09.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.12.2021

(45) Опубликовано: 23.09.2022 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, НГУ,  
Отдел защиты и управления ИС, Лисичкиной  
Е.Н.

(72) Автор(ы):

Кохановский Алексей Юрьевич (RU),  
Беднякова Анастасия Евгеньевна (RU),  
Куприков Евгений Александрович (RU),  
Турицын Сергей Константинович (RU),  
Кобцев Сергей Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Новосибирский национальный  
исследовательский государственный  
университет" (Новосибирский  
государственный университет, НГУ) (RU)

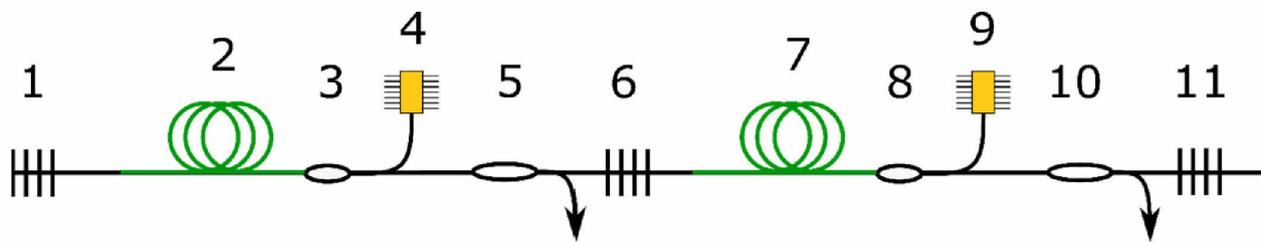
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2269849 C2, 10.02.2006. RU  
2321121 C2, 27.03.2008. WO 01/67568 A1,  
13.09.2001. US 4523315 A, 11.06.1985. EP 0784217  
A1, 16.07.1997. RU 2152676 C1, 10.07.2000.

(54) Волоконный осциллятор с каскадной системой резонаторов

(57) Реферат:

Изобретение относится к лазерной технике. Технический результат заключается в обеспечении гарантированной стабильной генерации сверхкоротких оптических импульсов, повышении ширины оптического спектра генерируемых импульсов и обеспечении надежности конструкции. Для этого волоконный осциллятор содержит два источника оптической накачки и два последовательно соединенных линейных резонатора, выполненных из элементов, сохраняющих поляризацию. Два линейных

волоконных резонатора образованы соединением трех брэгговских решеток, максимумы спектра отражения которых смещены относительно друг друга в спектральной области. Между брэгговскими решетками располагаются участки усиливающего волокна, волоконные ответвители и волоконные системы заведения оптической накачки в волоконный лазерный резонатор. Источниками оптической накачки служат полупроводниковые лазерные диоды непрерывного излучения. 2 ил.



Фиг.1

RU 2780456 C1

RU 2780456 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H04B 10/00 (2022.05)*

(21)(22) Application: **2021135616, 03.12.2021**

(24) Effective date for property rights:  
**03.12.2021**

Registration date:  
**23.09.2022**

Priority:

(22) Date of filing: **03.12.2021**

(45) Date of publication: **23.09.2022** Bull. № 27

Mail address:

**630090, g. Novosibirsk, ul. Pirogova, 2, NGU, Otdel zashchity i upravleniya IS, Lisichkinoj E.N.**

(72) Inventor(s):

**Kokhanovskii Aleksei Iurevich (RU),  
Bedniakova Anastasiia Evgenevna (RU),  
Kuprikov Evgenii Aleksandrovich (RU),  
Turitsyn Sergei Konstantinovich (RU),  
Kobtsev Sergei Mikhailovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Novosibirskii natsionalnyi  
issledovatel'skii gosudarstvennyi universitet»  
(Novosibirskii gosudarstvennyi universitet,  
NGU) (RU)**

(54) **FIBER OSCILLATOR WITH CASCADE RESONATOR SYSTEM**

(57) Abstract:

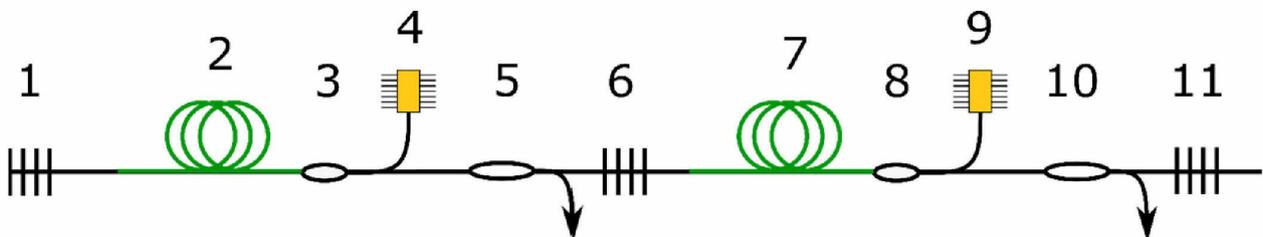
FIELD: laser technology.

SUBSTANCE: invention relates to laser technology. The fiber oscillator contains two sources of optical pumping and two series-connected linear resonators made of elements preserving polarization. Two linear fiber resonators are formed by the connection of three Bragg gratings, the maxima of the reflection spectrum of which are shifted relative to each other in the spectral region. Between the Bragg gratings there are sections

of reinforcing fiber, fiber couplers and fiber systems for optical pumping into a fiber laser resonator. Sources of optical pumping are semiconductor laser diodes of continuous radiation.

EFFECT: ensuring guaranteed stable generation of ultrashort optical pulses, increasing the width of the optical spectrum of the generated pulses and ensuring the reliability of the design.

1 cl, 2 dwg



Фиг.1

RU 2 780 456 C1

RU 2 780 456 C1

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 осциллятор Мамышева с использованием внешнего источника сверхкоротких импульсов для обеспечения само-старта системы (Regelskis K. et al. Ytterbium-doped fiber ultrashort pulse generator based on self-phase modulation and alternating spectral filtering //Optics letters. – 2015. – Т. 40. – №. 22. – С. 5255-5258.). Архитектура осциллятора в данной работе не обладает независимой инициализацией импульсного режима. Для достижения импульсной генерации используется внешний источник сверхкоротких импульсов.

Известен осциллятор Мамышева (Sidorenko P. et al. //Optics letters. – 2018. – Т. 43. – №. 11. – С. 2672-2675.) с использованием объемных дифракционных решеток и включения в лазерный резонатор стартующего плеча на эффекте нелинейного вращения поляризации. Недостатком данного технического решения является то, что указанный способ генерации сверхкоротких импульсов основан на использовании в конструкции лазера 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, что требует участия высококвалифицированных специалистов и сопряжено со значительными затратами времени и материальных ресурсов.

Наиболее близким к заявленному техническому решению является волоконный осциллятор Мамышева, содержащий линейный резонатор, образованный двумя Брэгговскими решетками, спектры отражения которых отличаются. (Boulanger V. et al. All-fiber Mamyshev oscillator enabled by chirped fiber Bragg gratings //Optics Letters. – 2020. – Т. 45. – №. 12. – С. 3317-3320.) Недостатком данного технического решения является необходимость использования дорогостоящего полупроводникового насыщающегося поглотителя, который имеет относительно низкое время жизни и слабую устойчивость к оптическим флуктуациям высоких энергий.

Задача, решаемая изобретением – создание полностью волоконного источника сверхкоротких импульсов с гарантированным само-стартом импульсной генерации, надежного и не требующего технического обслуживания в процессе эксплуатации.

Технический результат изобретения заключается в обеспечении гарантированной стабильной генерации сверхкоротких оптических импульсов, увеличении ширины оптического спектра генерируемых импульсов.

Технический результат достигается в волоконном осцилляторе с каскадной системой резонаторов, выполненных на основе оптических волокон с сохранением состояния поляризации, в котором первый каскад выполняет роль задающего оптического генератора, а второй каскад генерирует импульсное излучение с заданными параметрами. Причем первый и второй каскады последовательно оптически связаны и состоят из элементов, сохраняющих поляризацию. Первый каскад содержит первую и вторую волоконные брэгговские решетки, оптически связанные через первое усиливающее оптическое волокно, и первый волоконный объединитель, обеспечивающий заведение оптической накачки первого лазерного диода в первый каскад, причем перекрытие спектров отражения первой и второй брэгговских решеток лежит в диапазоне от 0.01% до 10%. Второй каскад содержит вторую и третью волоконные брэгговские решетки, оптически связанные через второе усиливающее оптическое волокно, и второй волоконный объединитель, обеспечивающий заведение оптической накачки второго лазерного диода во второй каскад.

Сущность изобретения поясняется нижеследующим описанием и прилагаемыми фигурами.

Волоконный осциллятор содержит два источника оптической накачки и два последовательно соединенных линейных резонатора, выполненных полностью из элементов, сохраняющих поляризацию. Два линейных волоконных резонатора образованы соединением трех волоконных брэгговских решеток, максимумы спектра отражения которых смещены относительно друг друга в спектральной области. Частичное перекрытие спектров отражения брэгговских решеток обуславливает гарантированный само-старт многоимпульсной генерации. Между брэгговскими решетками расположены участки усиливающего оптического волокна, волоконные ответвители и волоконные системы заведения оптической накачки в волоконный лазерный резонатор. Источниками оптической накачки служат полупроводниковые лазерные диоды непрерывного излучения.

На Фиг. 1 представлена схема волоконного осциллятора Мамышева с каскадной системой линейных резонаторов, где:

- 1, 6, 11 - волоконная брэгговская решетка;
- 2, 7 - усиливающее оптическое волокно;
- 3, 8 - волоконный объединитель сигналов разных спектральных диапазонов;
- 4, 9 - лазерный диод оптической накачки;
- 5, 10 - волоконный ответвитель.

Первый каскад осциллятора Мамышева образован элементами 1 – 6. Брэгговские решетки 1, 6 формируют резонатор первого каскада, усиливающее оптическое волокно 2 компенсирует оптические потери в резонаторе, волоконный объединитель 3 обеспечивает заведение оптической накачки лазерного диода 4 в резонатор, волоконный ответвитель 5 выводит часть излучения из первого каскада для мониторинга состояния импульсного излучения или его использования в приложениях.

Второй каскад осциллятора Мамышева образован элементами 6 - 11. Брэгговские решетки 6, 11 формируют резонатор второго каскада, усиливающее оптическое волокно 7 компенсирует оптические потери в резонаторе, волоконный объединитель 8 обеспечивает заведение оптической накачки лазерного диода 9 в резонатор, волоконный ответвитель 10 выводит часть излучения из второго каскада для мониторинга состояния импульсного излучения или его использования в приложениях.

Первый каскад выполняет функцию задающего генератора, а второй каскад выполняет роль генератора импульсов с желаемыми параметрами.

Параметры брэгговских решеток 1 и 6 осциллятора определяются исходя из анализа Фарадеевской неустойчивости. Возникновение Фарадеевской неустойчивости в резонаторе приводит к распаду стационарной (непрерывной) волны на последовательность импульсов, тем самым реализуется само-старт импульсной генерации.

Исследование линейной устойчивости стационарного решения было выполнено с использованием теории Флоке (Perego A. M. et al. Pattern generation by dissipative parametric instability //Physical review letters. – 2016. – Т. 116. – №. 2. – С. 028701). Если значение максимального по модулю множителя Флоке  $F_{\max}(\omega)$  превышает единицу, происходит экспоненциальный рост малого начального возмущения. Построение карты зависимости  $F_{\max}$  от частоты и ширины брэгговских решёток позволяет определить параметры решёток, образующих первый каскад осциллятора, при которых возможен само-старт.

Из анализа Фарадеевской неустойчивости путем исследования линейной устойчивости стационарного решения с помощью теории Флоке было получено, что требуемое

перекрытие спектров отражения брэгговских решеток лежит в диапазоне от 0.01% до 10 %.

На Фиг. 2 приведен порядок включения осциллятора Мамышева.

В начальный момент лазерные диоды оптической накачки 4, 9 выключены и выходное  
 5 оптическое излучение из осциллятора отсутствует (левая часть Фиг. 2). Затем включается  
 первый каскад Мамышева осциллятора путем включения лазерного диода 4 и  
 повышения его оптической мощности до достижения стохастического многоимпульсного  
 режима (средняя часть Фиг. 2). Затем включается второй каскад осциллятора Мамышева  
 путем включения лазерного диода 9. Наконец, первый каскад осциллятора выключается.  
 10 Мощность оптической накачки лазерного диода 9 выбирается таким образом, чтобы  
 после выключения первого каскада, обеспечивалась генерация гребенки импульсов  
 (правая часть Фиг. 2).

Работает устройство следующим образом.

Длина волны максимума отражения брэгговской решетки 1 выбирается наименьшей  
 15 в спектральной области работы осциллятора. Длина волны максимума отражения  
 брэгговской решетки 6 выбирается исходя из анализа Фарадеевской неустойчивости.  
 Многоимпульсная генерация первого линейного резонатора с брэгговскими решетками  
 1 и 6 осуществляется включением лазерного диода оптической накачки 4. Для  
 достижения многоимпульсной генерации необходимо, чтобы мощность накачки  
 20 лазерного диода 4 обеспечивала уровень усиления, компенсирующий потери в первом  
 резонаторе. Перекрытие спектров отражения брэгговских решеток 1 и 6 лежит в  
 диапазоне от 0.01% до 10 %. Вывод излучения осуществляется либо через одну из  
 брэгговских решеток 1 и 6, либо через волоконный ответвитель 5. Излучение из  
 ответвителя 5 может использоваться для измерения состояния импульсного излучения  
 25 первого каскада осциллятора, либо для различных приложений.

Далее цуг импульсов направляется во второй линейный резонатор, образованный  
 брэгговскими решетками 6 и 11. Длина волны максимума отражения брэгговской  
 решетки 11 определяется исходя из требований приложения лазерной системы и  
 определяет максимальную спектральную ширину оптических импульсов.

30 Одноимпульсная генерация осуществляется последовательным включением лазерного  
 диода накачки 9 и выключением лазерного диода 4. Для достижения одноимпульсной  
 генерации необходимо, чтобы мощность накачки лазерного диода 9 обеспечивала  
 уровень усиления, компенсирующий потери во втором резонаторе. Вывод излучения  
 из лазера осуществляется либо через брэгговскую решетку 11, либо через волоконный  
 35 ответвитель 10.

Пример осуществления устройства.

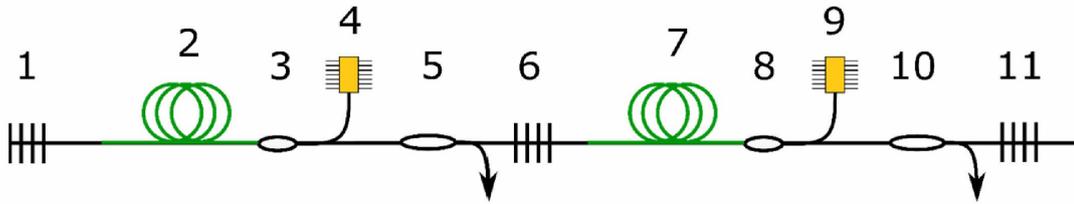
Для достижения динамики само-старта, описанного на Фиг. 2, необходимо выбрать  
 следующие параметры:

40 центральная длина максимума отражения брэгговской решетки 1 = 1064 нм,  
 центральная длина максимума отражения брэгговской решетки 6 = 1064,7 нм,  
 центральная длина максимума отражения брэгговской решетки 11 = 1066.3 нм,  
 длины усиливающих волокон 2 и 7, легированных ионами иттербия = 2.5 м.

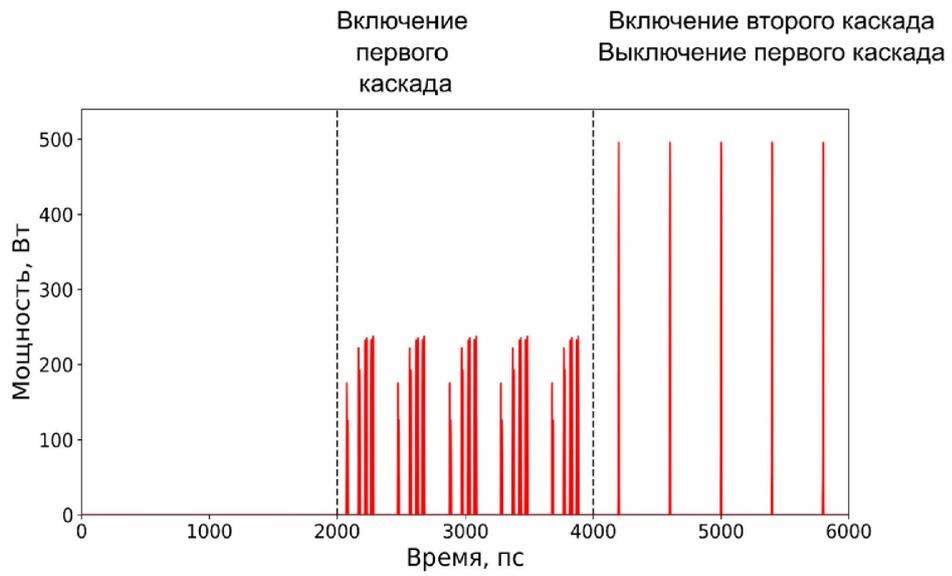
Коэффициент ответвления ответвителя 5 = 60%, коэффициент ответвления ответвителя  
 10 = 10 %. Центральная длина волны лазерных диодов оптической накачки 4, 9 = 978  
 45 нм, их оптическая мощность 1 – 10 Вт.

При включении первого каскада осциллятора наблюдается генерация  
 многоимпульсного режима, который представляет собой набор из четырех импульсов  
 разной интенсивности, повторяющихся с фундаментальной частотой резонатора первого





Фиг.1



Фиг.2