

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2688962

Способ стабилизации параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии

Патентообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" (Университет ИТМО) (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2018120049

Приоритет изобретения 30 мая 2018 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 23 мая 2019 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 30 мая 2038 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01S 3/06795 (2019.02); H01S 3/1317 (2019.02)

(21)(22) Заявка: 2018120049, 30.05.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.05.2018

Дата регистрации:
23.05.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.05.2018

(45) Опубликовано: 23.05.2019 Бюл. № 15

Адрес для переписки:

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр.,
49, Университет ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Алейник Артем Сергеевич (RU),
Кикилич Никита Евгеньевич (RU),
Смоловик Михаил Андреевич (RU),
Михеев Максим Владимирович (RU),
Виноградов Андрей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных технологий,
механики и оптики" (Университет ИТМО)
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: А.С. Алейник и др. "МЕТОДЫ
ПОСТРОЕНИЯ
ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ ЭРБИЕВЫХ
СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ
ВОЛОКОННЫХ ИСТОЧНИКОВ
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ", Научно-
технический вестник информационных
технологий, механики и оптики, 2016, том
16, N4. US 9041936 B2, 26.05.2015. US 7423803
B1, 09.09.2008. US 7190861 B2, 13.03.2007. RU
152288 U1, 20.05.2015.

(54) Способ стабилизации параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии

(57) Реферат:

Изобретение относится к области волоконно-оптических источников усиленной спонтанной эмиссии. Способ решает задачу стабилизации в диапазоне температур нескольких параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, построенного по двухпроходной схеме с двухсторонней накачкой легированного ионами эрбия активного волокна двумя лазерными диодами, в частности мощности и центральной длины волны или мощности и

ширины спектра. Способ стабилизации параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии в диапазоне рабочих температур заключается в предварительном измерении зависимости параметров выходного оптического излучения, в частности центральной длины волны и ширины спектра при ее постоянной мощности, от температуры источника и коэффициента накачки, равного отношению оптических мощностей

сонаправленной накачки к сумме сонаправленной и противонаправленной накачки легированного ионами эрбия волокна, при заранее выбранной, постоянной мощности выходного оптического излучения $P_{\text{вых}}$, с последующим приближением полученного массива

данных степенным полиномом вида

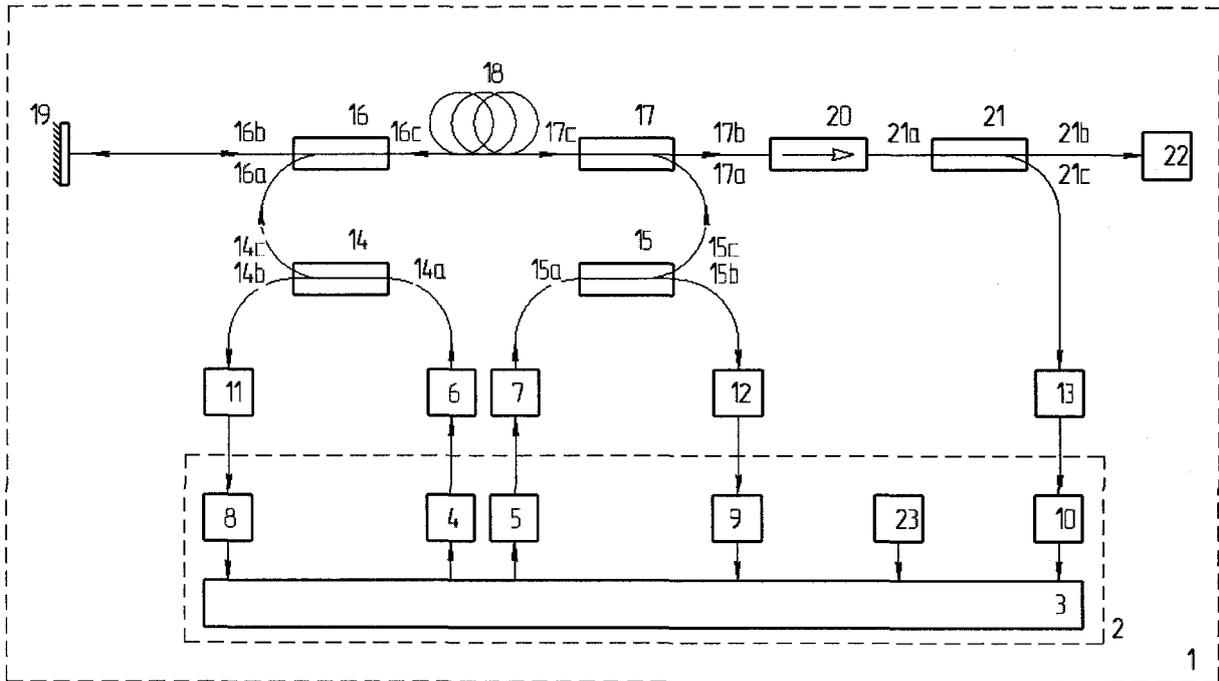
$$K_p(\lambda_c, T) = (p_1 \lambda_c^n + p_2 \lambda_c^{n-1} + \dots + p_n \lambda_c + p_{n+1}) \cdot (g_1 T^m + g_2 T^{m-1} + \dots + g_n T + g_{n+1})$$

и

$$K_p(\lambda_c, T) = (p_1 \Delta \lambda^n + p_2 \Delta \lambda^{n-1} + \dots + p_n \Delta \lambda + p_{n+1}) \cdot (g_1 T^m + g_2 T^{m-1} + \dots + g_n T + g_{n+1})$$

по методу наименьших квадратов, на основании заданного пользователем значения центральной

длины волны или ширины спектра и текущей температуры источника усиленной спонтанной эмиссии. Исходя из полученного полинома, в источнике усиленной спонтанной эмиссии осуществляют расчет коэффициента накачки, при этом устанавливаемые уровни сонаправленной и противонаправленной накачки обеспечивают заданный постоянный уровень мощности выходного оптического излучения посредством пропорционально-интегрального регулирования. Технический результат заключается в обеспечении возможности стабилизации нескольких параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии. 6 ил.



Фиг.1

RU 2688962 C1

RU 2688962 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

H01S 3/06795 (2019.02); H01S 3/1317 (2019.02)

(21)(22) Application: 2018120049, 30.05.2018

(24) Effective date for property rights:
30.05.2018Registration date:
23.05.2019

Priority:

(22) Date of filing: 30.05.2018

(45) Date of publication: 23.05.2019 Bull. № 15

Mail address:

197101, Sankt-Peterburg, Kronverkskij pr., 49,
Universitet ITMO, OIS i NTI

(72) Inventor(s):

Alejnik Artem Sergeevich (RU),
Kikilich Nikita Evgenevich (RU),
Smolovik Mikhail Andreevich (RU),
Mikheev Maksim Vladimirovich (RU),
Vinogradov Andrej Vladimirovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij natsionalnyj
issledovatel'skij universitet informatsionnykh
tehnologij, mekhaniki i optiki" (Universitet
ITMO) (RU)

(54) METHOD OF STABILIZING PARAMETERS OF OUTPUT OPTICAL RADIATION OF STRONG SPONTANEOUS EMISSION SOURCE

(57) Abstract:

FIELD: optics.

SUBSTANCE: invention relates to fibre-optic sources of reinforced spontaneous emission. Method solves the problem of stabilization in the temperature range of several parameters of the output optical radiation of the enhanced spontaneous emission source, which is constructed from a two-pass scheme with two-sided pumping of the active fibre doped with erbium ions by two laser diodes, in particular power and central wavelength or power and width of spectrum. Method of stabilizing parameters of output optical radiation of a source of amplified spontaneous emission in the operating temperature range consists in preliminary measurement of dependence of parameters of output optical radiation, in particular, central wavelength and spectrum width at constant power thereof, from source temperature and pumping factor equal to ratio of optical powers of co-directed pumping to sum of co-directional and anti-directional pumping of erbium ion doped fibre,

with preset constant output optical radiation power P_{out} ,

with subsequent approximation of the obtained

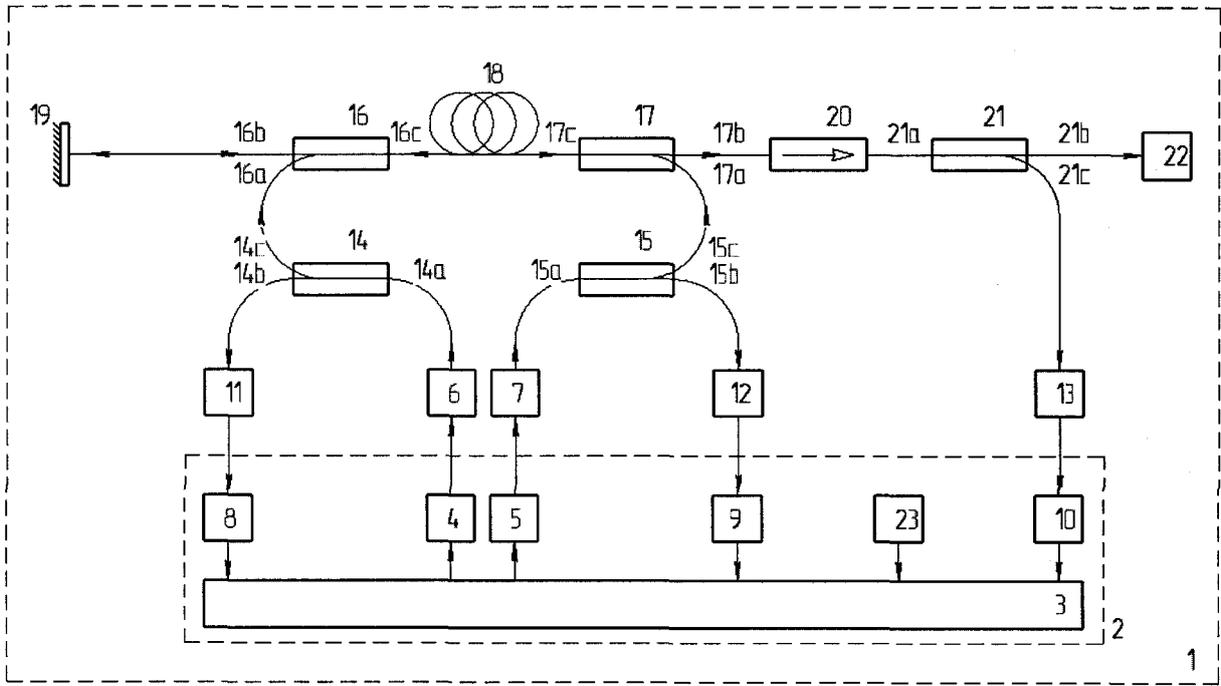
$$K_p(\lambda_c, T) = (p_1 \lambda_c^n + p_2 \lambda_c^{n-1} + \dots + p_n \lambda_c + p_{n+1}) \cdot (g_1 T^n + g_2 T^{n-1} + \dots + g_n T + g_{n+1})$$

$$K_p(\lambda_c, T) = (p_1 \Delta \lambda^n + p_2 \Delta \lambda^{n-1} + \dots + p_n \Delta \lambda + p_{n+1}) \cdot (g_1 T^n + g_2 T^{n-1} + \dots + g_n T + g_{n+1})$$

data array polynomial by a method of least squares, based on the user specified value of the central wavelength or spectrum width and the current temperature of the enhanced spontaneous emission source. Based on the obtained polynomial, in the amplified spontaneous emission source, the pumping factor is calculated, at that, the installed levels of the co-directional and counter-directed pumping provide the specified constant level of power of the output optical radiation by means of proportional-integral control.

EFFECT: technical result consists in enabling stabilization of several parameters of output optical radiation of a strong spontaneous emission source.

1 cl, 6 dwg



Фиг.1

RU 2688962 C1

RU 2688962 C1

Изобретение относится к области волоконно-оптических источников усиленной спонтанной эмиссии.

Известен способ стабилизации параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии с применением фотонно-кристаллического волокна легированного ионами эрбия [статья X. Wu, L. Zhang, C. Liu, S. Ruan «High-stable, double-pass forward superfluorescent fiber source based on erbium-doped photonic crystal fiber» Applied Physics B. Laser and Optics, Vol. 114, №3, pp. 433-438, 12 July 2013]. Способ заключается в следующем: в легированное ионами эрбия фотонно-кристаллическое волокно, вводится излучение накачки в прямом направлении, причем длина волокна и мощность вводимого излучения накачки выбираются таким образом, чтобы температурный коэффициент центральной длины волны выходного оптического излучения был бы минимален.

Недостатками известного способа стабилизации параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии с применением фотонно-кристаллического волокна легированного ионами эрбия являются: отсутствие возможности изменения стабилизируемых параметров выходного излучения в процессе работы устройства, отсутствие возможности стабилизации нескольких параметров выходного оптического излучения одновременно, сложный процесс настройки.

Известен способ стабилизации, посредством изменения параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии с помощью применением спектрального фильтра [Патент США №5875203, кл. (H01S 3/06), дата публ. 23.02.1999], выбранный в качестве прототипа. Способ заключается в следующем: в оптическое волокно, легированное ионами эрбия вводится излучение накачки, которое, распространяясь по оптическому волокну, генерирует излучение спонтанной эмиссии. Выходное оптическое излучение имеет спектральную форму и центральную длину волны. Изменение спектральной формы выходного оптического излучения происходит посредством размещения в оптическом волокне спектрального фильтра для стабилизации центральной длины волны относительно одного из параметров, среди которых: мощность лазерного диода накачки, температура или управляющий сигнал внешнего устройства.

Недостатками известного способа стабилизации параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии являются: отсутствие возможности изменения стабилизируемых параметров выходного оптического излучения в процессе работы устройства, отсутствие возможности стабилизации нескольких параметров выходного оптического излучения одновременно, изготовление спектрального фильтра для каждой конкретной оптической схемы.

Способ решает задачу стабилизации в диапазоне рабочих температур нескольких параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, в частности мощности и центральной длины волны или мощности и ширины спектра, за счет организации управления лазерными диодами накачки без использования в схеме спектральных фильтров.

Поставленная задача решается следующим образом. В способе стабилизации параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, построенного по двухпроходной схеме, по заранее полученным зависимостям центральной длины волны или ширины спектра выходного оптического излучения от коэффициента накачки (K_p), равного отношению оптических мощностей сонаправленной накачки (P_1) к сумме сонаправленной и противоположно направленной (P_2) накачки легированного ионами эрбия волокна, а также от температуры источника, при

постоянной выходной оптической мощности генерируемой спонтанной эмиссии, осуществляют подстройку оптических мощностей лазерных диодов накачки.

Сущность заявляемого способа поясняется следующим образом.

5 Параметры выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, построенного по двухпроходной схеме, в котором накачка легированного эрбием оптического волокна осуществляется с двух сторон двумя лазерными диодами накачки, работающем в режиме стабилизации выходной оптической мощности выходного оптического излучения P_{out} , имеющего постоянное значение, задаваемое пользователем и поддерживаемой посредством пропорционально-интегрального
10 регулирования по следующему закону $u(t) = P + D = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau$, где P , D - пропорциональная и интегрирующая составляющие регулятора; k_p , k_i - коэффициенты усиления пропорциональной и интегрирующей составляющих регулятора; $e(t)$ - ошибка, измеряются посредством подключения спектроанализатора к выходному порту
15 волоконно-оптического источника усиленной спонтанной эмиссии. Производится серия измерений параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, причем при каждом следующим измерении меняется коэффициент накачки K_p , с шагом ΔK_p , от $K_{min}=0$ до $K_{max}=1$. Описанный цикл измерений повторяется при изменении температуры источника усиленной спонтанной эмиссии, посредством
20 размещения его в температурной камере, во всем рабочем диапазоне температур от T_{min} до T_{max} с шагом ΔT .

Изменение коэффициента накачки K_p , позволяет регулировать уровень инверсии населенности ионов эрбия по длине легированного эрбием волокна, что позволяет
25 изменять параметры выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, в частности центральную длину волны λ_c или ширину спектра $\Delta\lambda$ при сохранении постоянной мощности P_{out} .

Итогом проведенных измерений становится массив данных размерностью
30 $\frac{(T_{max}-T_{min})}{\Delta T} * \frac{(K_{max}-K_{min})}{\Delta K}$, в каждой ячейке которого находится информация о параметрах выходного оптического излучения, в частности, значение центральной длины волны λ_c или ширины спектра $\Delta\lambda$, а также соответствующий этим параметрам коэффициент накачки K_p и температура источника усиленной спонтанной эмиссии T .

35 Полученный массив данных приближается степенным полиномом вида

$$z(x, y) = (p_1 x^n + p_2 x^{n-1} + \dots + p_n x + p_{n+1}) \cdot (g_1 y^n + g_2 y^{n-1} + \dots + g_n y + g_{n+1})$$

методу наименьших квадратов, где n - степень полинома; x - ширина спектра или центральная длина волны; y - температура источника усиленной спонтанной эмиссии;
40 z - коэффициент накачки K_p ; p и g - коэффициенты полинома. Таким образом, получают зависимость коэффициента накачки K_p от центральной длины волны λ_c или ширины спектра $\Delta\lambda$ выходного оптического излучения и температуры источника усиленной спонтанной эмиссии T , т.е., $K_p = f(\lambda_c, T)$ или $K_p = f(\Delta\lambda, T)$. Полученные зависимости
45 затем загружаются в устройство управления лазерными диодами накачки источника усиленной спонтанной эмиссии и позволяют заранее определить необходимый для установки коэффициент накачки K_p для получения задаваемых пользователем параметров выходного оптического излучения, в частности, значения центральной

длины волны λ_c или ширины спектра $\Delta\lambda$, на основании текущей температуры источника усиленной спонтанной эмиссии при постоянной мощности P_{out} .

Таким образом, заявляемый способ обеспечивает возможность стабилизации нескольких параметров выходного оптического излучения во всем рабочем диапазоне температур источника усиленной спонтанной эмиссии от T_{min} до T_{max} одновременно, в частности, центральной длины волны λ_c и мощности P_{out} или ширины спектра $\Delta\lambda$ и мощности P_{out} .

Сущность заявляемого способа поясняется чертежами.

На фиг. 1 показана структурная схема волоконного источника усиленной спонтанной эмиссии.

На фиг. 2 показана структурная измерительная схема для осуществления измерений параметров выходного оптического излучения, в частности, центральной длины волны λ_c или ширины спектра $\Delta\lambda$, при постоянной мощности P_{out} и изменения коэффициента накачки K_p во всем рабочем диапазоне температур источника усиленной спонтанной эмиссии от T_{min} до T_{max} .

На фиг. 3 показан профиль изменения коэффициента накачки K_p и температуры источника T в процессе проведения измерений параметров выходного оптического излучения.

На фиг. 4 показаны измеренные параметры выходного оптического излучения, в частности, центральная длина волны λ_c и ширина спектра $\Delta\lambda$ при постоянной мощности P_{out} при изменении коэффициента накачки K_p в диапазоне рабочих температур источника усиленной спонтанной эмиссии.

На фиг. 5 демонстрируется возможность стабилизации центральной длины волны λ_c путем изменения коэффициента накачки K_p в диапазоне рабочих температур источника усиленной спонтанной эмиссии, при постоянной мощности P_{out} , по заранее полученным зависимостям.

На фиг. 6 демонстрируется возможность стабилизации ширины спектра $\Delta\lambda$ путем изменения коэффициента накачки K_p в диапазоне рабочих температур источника усиленной спонтанной эмиссии, при постоянной мощности P_{out} , по заранее полученным зависимостям.

Заявляемый способ может быть осуществлен с помощью устройства, представленного на фиг. 1. Устройство - волоконно-оптический источник усиленной спонтанной эмиссии 1, содержит электронный блок управления 2, в который входит схема цифровой обработки и формирования сигналов 3, выходы которой соединены с входами драйверов 4 и 5, выходы которых соединены с входами лазерных диодов накачки 6 и 7 соответственно. Первый, второй и третий входы схемы цифровой обработки и формирования сигналов 3 соединены с выходами схем аналогово-цифрового преобразования сигналов 8, 9 и 10 соответственно, входы которых соединены с выходами фотоприемных устройств 11, 12 и 13 соответственно, представляющими собой фотоприемники с волоконными выводами. Фотоприемные устройства 11, 12 оптически соединены с портами 14b и 15b оптических ответвителей 14 и 15, порты 14a и 15a которых оптически соединены с лазерными диодами накачки 6 и 7 соответственно. Оптические ответвители 14 и 15 представляют собой сплавные оптические ответвители, порты 14c и 15c которых оптически соединены с портами 16a и 17a спектральных соединителей каналов 16 и 17. Порты 16c и 17c спектральных соединителей каналов 16

и 17 оптически соединены с легированным эрбием волокном 18. Порт 16b спектрального соединителя каналов 16 оптически соединен со светоотражающим зеркалом 19. Порт 17b спектрального соединителя каналов 17 оптически соединен с оптическим изолятором 20, представляющим собой устройство, пропускающее оптическое излучение только в одном направлении. Оптический изолятор 20 оптически подсоединен к порту 21а оптического ответвителя 21, порт 21 с которого оптически соединен с фотоприемным устройством 13. Порт 21b оптического ответвителя 21 оптически соединен с выходным портом 22, представляющим собой оптический коннектор. Выход температурного датчика 23 соединен с четвертым входом схемы цифровой обработки и формирования сигналов 3.

Схема, с помощью которой могут быть осуществлены измерения параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, в частности центральной длины волны λ_c или ширины спектра $\Delta\lambda$, при изменении коэффициента накачки K_p , в диапазоне рабочих температур источника усиленной спонтанной эмиссии от T_{\min} до T_{\max} представлена на фиг. 2. Температура волоконно-оптического источника усиленной спонтанной эмиссии 1, построенного по двухпроходной схеме с двусторонней накачкой легированного эрбием волокна может изменяться в пределах от T_{\min} до T_{\max} с шагом ΔT посредством размещения его внутри температурной камеры 24. Оптический спектроанализатор 25 оптически соединен с оптической схемой волоконно-оптического источника усиленной спонтанной эмиссии 1 и электрически, соединен с персональным компьютером 26. Персональный компьютер 26 электрически соединен с температурной камерой 24 и волоконно-оптическим источником усиленной спонтанной эмиссии 1.

Заявляемый способ осуществляется следующим образом. Схема цифровой обработки и формирования сигналов 3, осуществляет управление драйверами 4 и 5 лазерных диодов накачки 6 и 7 на основании, полученной в результате проведения измерений, зависимости коэффициента накачки от параметров выходного оптического излучения и температуры источника усиленной спонтанной эмиссии, при постоянной выходной мощности P_{out} в частности $K_p=f(\lambda_c, T)$ или $K_p=f(\Delta\lambda, T)$, причем мощности лазерных диодов накачки определяются посредством пропорционально-интегрального регулирования, осуществляемого в схеме цифровой обработки и формирования сигналов 3 на основании данных, полученных от схем аналогово-цифрового преобразования сигналов 8, 9 и 10, фотоприемных устройств 11, 12 и 13, а также данных от температурного датчика 23. Монохроматическое излучение, индуцированное лазерными диодами накачки 6 и 7, попадает на входные порты 14а и 15а оптических ответвителей 14 и 15, которые отводят меньшую часть излучения посредством портов 14b и 15b на фотоприемные устройства 11 и 12, обеспечивая, таким образом, стабилизацию оптической мощности лазерных диодов накачки 6 и 7, а также возможность устанавливать произвольное значение коэффициента накачки K_p от 0 до 1. Основная часть монохроматического излучения, индуцированного лазерными диодами 6 и 7 через порты 14с и 15с оптических ответвителей 14 и 15, попадает на входные порты 16а и 17а спектральных соединителей каналов 16 и 17, через порты 16с и 17с которых излучение попадает в легированное эрбием оптическое волокно 18. Под воздействием излучения накачки лазерных диодов 6 и 7 в легированном эрбием оптическом волокне 18 возникает спонтанная эмиссия, которая при отсутствии в схеме внешних сигналов, в области 1.5 мкм, усиливается. Легированное эрбием активное волокно излучает спонтанную эмиссию в двух направлениях, в стороны портов 16с и 17с спектральных соединителей каналов

16 и 17, которые пропускают ее на порты 16b и 17b. Через порт 16b излучение усиленной спонтанной эмиссии попадает на светоотражающее зеркало 19, а затем отражается от него. Оптическое излучение, отраженное от зеркала 19, через порт 16b спектрального соединителя каналов 16 попадает на порт 16с, а затем, в легированном эрбием
 5 оптическом волокне 18, усиливается, благодаря созданной инверсии населенности ионов эрбия излучением накачки лазерных диодов 6 и 7, и через порт 17с спектрального соединителя каналов 17 попадает на порт 17b, а затем, проходя через оптический изолятор 20, поступает на ответвитель 21. Ответвитель 21 отводит меньшую часть излучения через порт 21 с на фотоприемное устройство 13, обеспечивая, таким образом,
 10 второй каскад обратной связи, стабилизирующий мощность выходного оптического излучения. Основная часть сгенерированной спонтанной эмиссии поступает на выходной порт 22.

Проведение измерений зависимости параметров генерируемой спонтанной эмиссии, в частности центральной длины волны λ_c или ширины спектра $\Delta\lambda$ при постоянной
 15 выходной мощности P_{out} , при изменении коэффициента накачки, $K_p = \frac{P_1}{P_1 + P_2}$ в диапазоне рабочих температур источника усиленной спонтанной эмиссии от T_{min} до T_{max} осуществляется следующим образом. Персональный компьютер (ПК) 26 отдает
 20 команды температурной камере 24 об изменении температуры источника усиленной спонтанной эмиссии до T_{min} , после достижения которой ПК подает команды схеме цифровой обработки и формирования сигналов 3, волоконно-оптического источника усиленной спонтанной эмиссии 1, об изменении коэффициента накачки K_p , затем
 25 производит считывание данных со спектроанализатора 25, представляющих собой информацию о выходном оптическом излучении источника усиленной спонтанной эмиссии, в частности, о центральной длине волны λ_c или ширине спектра $\Delta\lambda$. Изменение температуры источника усиленной спонтанной эмиссии и коэффициента накачки K_p производится по алгоритму, приведенному на фиг. 3, где K_{min} - минимальное значение
 30 коэффициента накачки, K_{max} - максимальное значение коэффициента накачки, ΔK - шаг изменения коэффициента накачки, $n = \frac{K_{max} - K_{min}}{\Delta K}$ - количество строк массива с данными, T_{min} - минимальная рабочая температура источника усиленной спонтанной эмиссии, T_{max} - максимальная рабочая температура источника усиленной спонтанной эмиссии, ΔT - шаг изменения температуры источника усиленной спонтанной эмиссии,
 35 $m = \frac{T_{max} - T_{min}}{\Delta T}$ - количество столбцов массива с данными, N_{nm} - номер ячейки в массиве данных. После записи массива данных n ПК 26 подает команду температурной камере изменить температуру источника T на ΔT , после достижения которой процесс измерений повторяется. Измерения проводятся до достижения $T = T_{max}$, включительно, т.е.,

измерения повторяются $m = \frac{T_{max} - T_{min}}{\Delta T}$ раз. Из полученного массива данных, путем
 45 приближения данных степенным полиномом вида

$$z(x, y) = (p_1 x^n + p_2 x^{n-1} + \dots + p_n x + p_{n+1}) \cdot (g_1 y^n + g_2 y^{n-1} + \dots + g_n y + g_{n+1})$$
 по методу наименьших квадратов получают зависимость коэффициента накачки от параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии и

температуры источника усиленной спонтанной эмиссии $K_p = f(\lambda_c, T)$ или $K_p = f(\Delta\lambda, T)$,

на основании которых схема цифровой обработки и формирования сигналов 3 волоконно-оптического источника усиленной спонтанной эмиссии осуществляет расчет коэффициента накачки K_p , на основании, заданных пользователем, параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, в частности, значения центральной длины волны λ_c или ширины спектра $\Delta\lambda$, на основании текущей температуры источника усиленной спонтанной эмиссии при постоянной мощности P_{out} .

В качестве конкретного примера осуществления предлагается способ стабилизации параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, источником которой является волоконно-оптический источник усиленной спонтанной эмиссии, в котором в качестве схемы цифровой обработки и формирования сигналов выступает микроконтроллер, имеющий в своем составе 24-битные $\Sigma\Delta$ АЦП. В качестве лазерных диодов накачки выступают лазерные диоды с длиной волны излучения 1480 нм. Драйвер представляет собой источник постоянного тока. Термодатчик представляет собой платиновое сопротивление, а фотоприемные устройства, представляют собой фотодиоды с волоконным выводом, аналоговый сигнал которых посредством схем аналогово-цифрового преобразования, представляющих собой совокупность трансимпедансных усилителей, построенных на базе операционных усилителей, и входных портов микроконтроллера с $\Sigma\Delta$ АЦП преобразуется в цифровой. Оптические ответвители представляют собой сварные волоконно-оптические ответвители, обладающие коэффициентом деления

$\frac{14c}{14b} = \frac{15c}{15b} = \frac{21b}{21c} = \frac{99}{1}$. Спектральные соединители каналов, представляют собой

многослойные фильтры на тонких пленках с волоконными выводами, объединяющие излучение с разными длинами волн, в частности излучения лазеров накачки в области 1480 нм и излучения генерируемой спонтанной эмиссии в области 1550 ± 50 нм.

Светоотражающее зеркало представляет собой зеркало Фарадея с волоконным выводом. Легированное эрбием оптическое волокно имеет значение поглощения в области 1530 нм на уровне 40 дБ/м. Основным элементом волоконно-оптического изолятора является вращатель Фарадея, а его изоляция составляет не менее минус 55 дБ для длин волн в области 1,5 мкм. Выходной оптический порт представляет собой волоконно-оптический коннектор FC/APC.

В измерительной схеме оптический спектроанализатор представляет собой спектроанализатор Yokogawa AQ6370, а температурная камера - климатическую камеру с возможностью изменять температуру внутри от минус 40 до +70. Персональный компьютер соединен со спектроанализатором и с волоконно-оптическим источником усиленной спонтанной эмиссии посредством проводных интерфейсов обмена данными.

Выходная оптическая мощность источника усиленной спонтанной эмиссии поддерживалась на уровне $P_{out}=10$ мВт, посредством пропорционально-интегрального регулирования, осуществляемого микроконтроллером по сигналу ошибки $e(t)$, получаемому посредством аналогово-цифрового преобразования сигнала с фотоприемного устройства 13, в частности стабилизация выходного сигнала осуществлялась с помощью определенных пропорционального и интегрального коэффициентов равных соответственно $k_p=0.1$ и $k_i=0.08$, по формуле

$$u(t) = P + D = k_p e(t) + k_i \int_n^t e(\tau) d\tau.$$

На фиг. 4 графически представлен массив данных, измеренных с помощью структурной измерительной схемы для осуществления измерений параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, приведенной на фиг. 2, по алгоритму, приведенному на фиг. 3, в частности, приведена зависимость центральной длины волны и ширины спектра выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии от температуры источника усиленной спонтанной эмиссии и коэффициента накачки. Из полученного массива данных путем приближения данных степенным полиномом вида

$$K_p(\lambda_c, T) = (p_1 \lambda_c^n + p_2 \lambda_c^{n-1} + \dots + p_n \lambda_c + p_{n+1}) \cdot (g_1 T^n + g_2 T^{n-1} + \dots + g_n T + g_{n+1}) \text{ или}$$

методу наименьших квадратов была получена зависимость коэффициента накачки от параметров выходного оптического излучения и температуры источника усиленной спонтанной эмиссии, в частности, для возможности стабилизации центральной длины волны была получена зависимость:

$$K_p = -44.46 + 0.0286 \cdot \lambda_c - 0.2782 \cdot T + 0.0001791 \cdot \lambda_c \cdot T - 0.001413 \cdot T^2 - 9.039 \cdot 10^{-7} \cdot \Delta\lambda \cdot T^2 + 8.216 \cdot 10^{-10} \cdot T^3, \text{ а}$$

для возможности стабилизации ширины спектра была получена зависимость:

$$K_p = -3.234 + 0.6488 \cdot \Delta\lambda + 0.02559 \cdot T - 0.03885 \cdot \Delta\lambda^2 - 0.00309 \cdot \Delta\lambda \cdot T - 0.00003928 \cdot T^2 + 0.0007908 \cdot \Delta\lambda^3 + 0.00009939 \cdot \Delta\lambda^2 \cdot T + 2.485 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\lambda \cdot T^2 - 8.838 \cdot 10^{-8} \cdot T^3$$

На основании полученных зависимостей в источнике усиленной спонтанной эмиссии производился расчет коэффициента накачки на основании текущей температуры источника T и заданной центральной длины волны или ширины спектра, в частности,

качестве примера, были заданы поочередно: центральная длина волны 1569.5 нм, и ширина спектра 15.5 нм. На фиг. 5, приведена экспериментальная зависимость центральной длины волны от температуры источника без осуществления стабилизации и со стабилизацией, температурные коэффициенты центральной длины волны K_t соответственно составили 55.6 ppm/*C и 0.32 ppm/*C. На фиг. 6, приведена экспериментальная зависимость ширины спектра от температуры источника без осуществления стабилизации и со стабилизацией, температурные коэффициенты ширины спектра соответственно составили 5645 ppm/*C и 80.5 ppm/*C.

Таким образом, заявляемый способ стабилизации параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии обеспечивает одновременную стабилизацию нескольких параметров выходного оптического излучения в диапазоне рабочих температур источника усиленной спонтанной эмиссии от T_{\min} до T_{\max} , в частности обеспечивает стабилизацию центральной длины волны λ_c при постоянной мощности P_{out} или ширины спектра $\Delta\lambda$ при постоянной мощности P_{out} .

(57) Формула изобретения

Способ стабилизации посредством изменения параметров выходного оптического излучения источника усиленной спонтанной эмиссии, построенного по двухпроходной

схеме, формируемого при введении в его активное волокно, легированное ионами эрбия, излучения накачки, отличающийся тем, что излучение накачки вводят двумя лазерными диодами с двух сторон, а изменение параметров осуществляют путем изменения уровня оптических мощностей лазерных диодов накачки P_1 и P_2 , используя

предварительно полученную зависимость параметров: центральной длины волны λ_c или ширины спектра $\Delta\lambda$ от температуры источника усиленной спонтанной эмиссии и коэффициента накачки K_p лазерных диодов, равного отношению оптических мощностей сонаправленной накачки (P_1) к сумме сонаправленной и противоположно направленной (P_2) накачки $K_p = \frac{P_1}{P_1 + P_2}$, для получения указанной зависимости осуществляют серию измерений, центральной длины волны и ширины спектра для каждого устанавливаемого значения температуры источника и K_p , при заранее выбранной, постоянной мощности выходного оптического излучения P_{out} , для этого, меняя температуру источника пошагово от T_{min} до T_{max} с шагом ΔT , пошагово изменяют K_p , от 0 до 1 с шагом ΔK_p , полученный массив данных приближают степенным полиномом вида

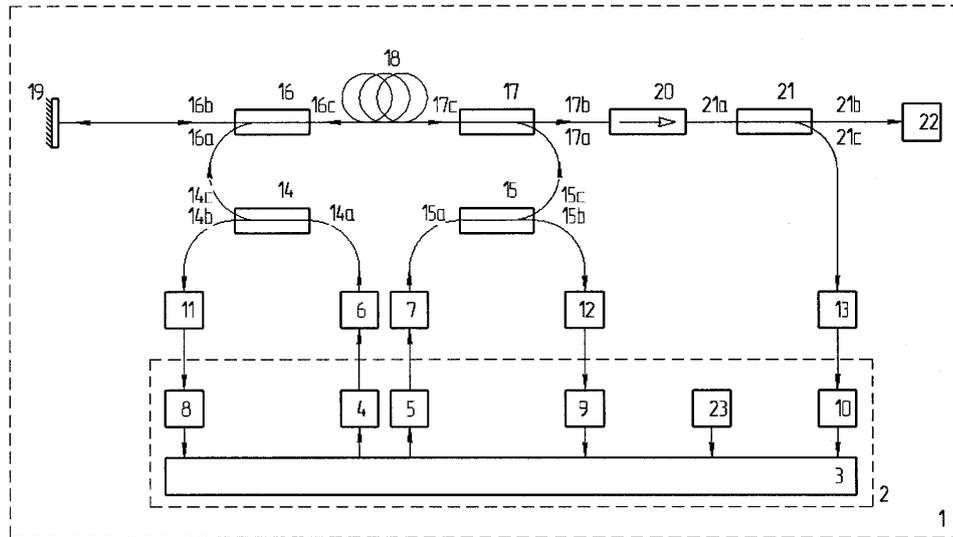
$$K_p(\lambda_c, T) = (p_1 \lambda_c^n + p_2 \lambda_c^{n-1} + \dots + p_n \lambda_c + p_{n+1}) \cdot (g_1 T^n + g_2 T^{n-1} + \dots + g_n T + g_{n+1})$$

или

$$K_p(\lambda_c, T) = (p_1 \Delta\lambda^n + p_2 \Delta\lambda^{n-1} + \dots + p_n \Delta\lambda + p_{n+1}) \cdot (g_1 T^n + g_2 T^{n-1} + \dots + g_n T + g_{n+1})$$

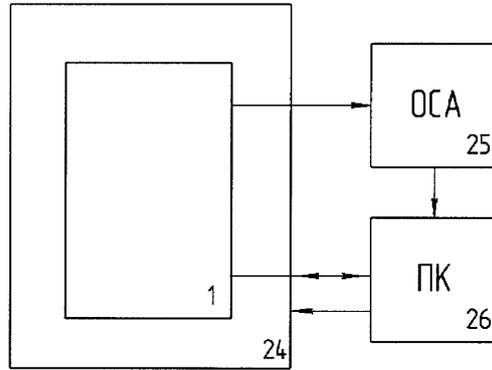
по методу наименьших квадратов, на основании заданного пользователем значения центральной длины волны или ширины спектра и текущей температуры источника усиленной спонтанной эмиссии, где n - степень полинома, p и g - коэффициенты полинома, исходя из полученного полинома осуществляют расчет K_p , при этом устанавливаемые уровни мощности P_1 и P_2 лазерных диодов накачки определяют посредством пропорционально-интегрального регулирования.

1

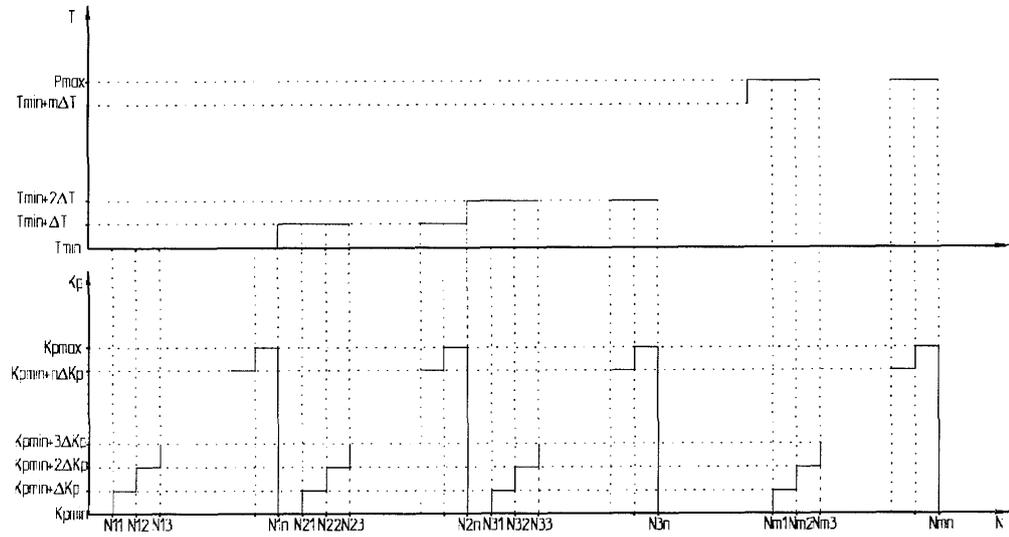


Фиг.1

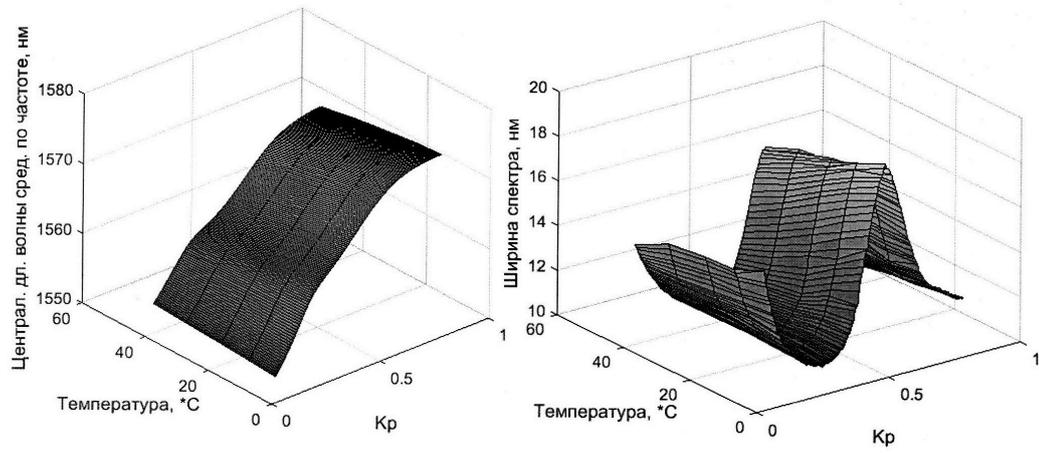
2



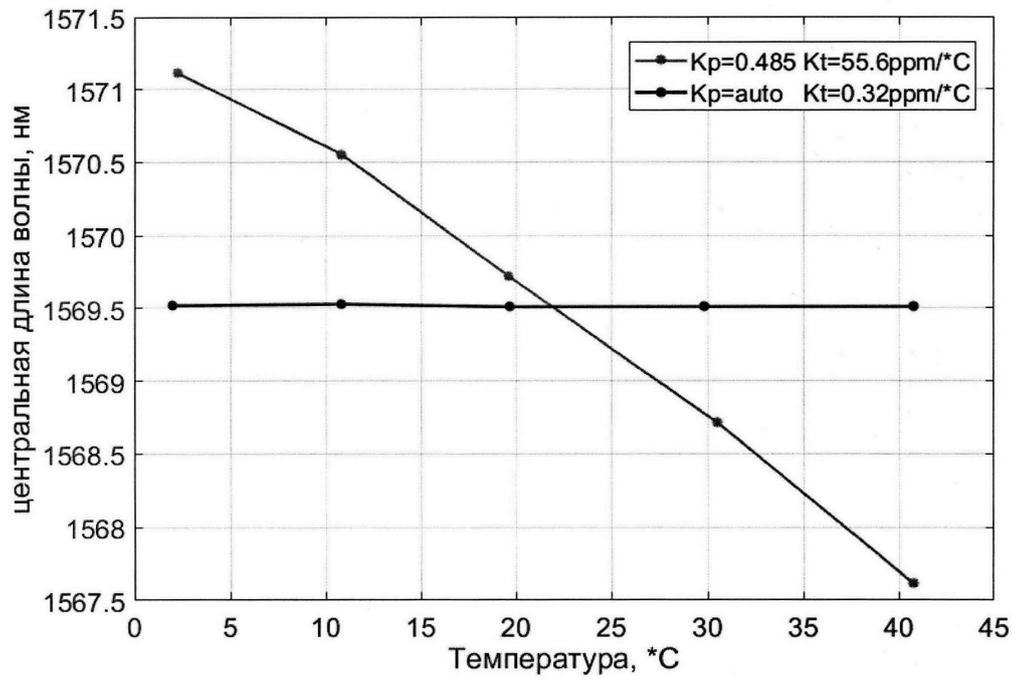
Фиг.2



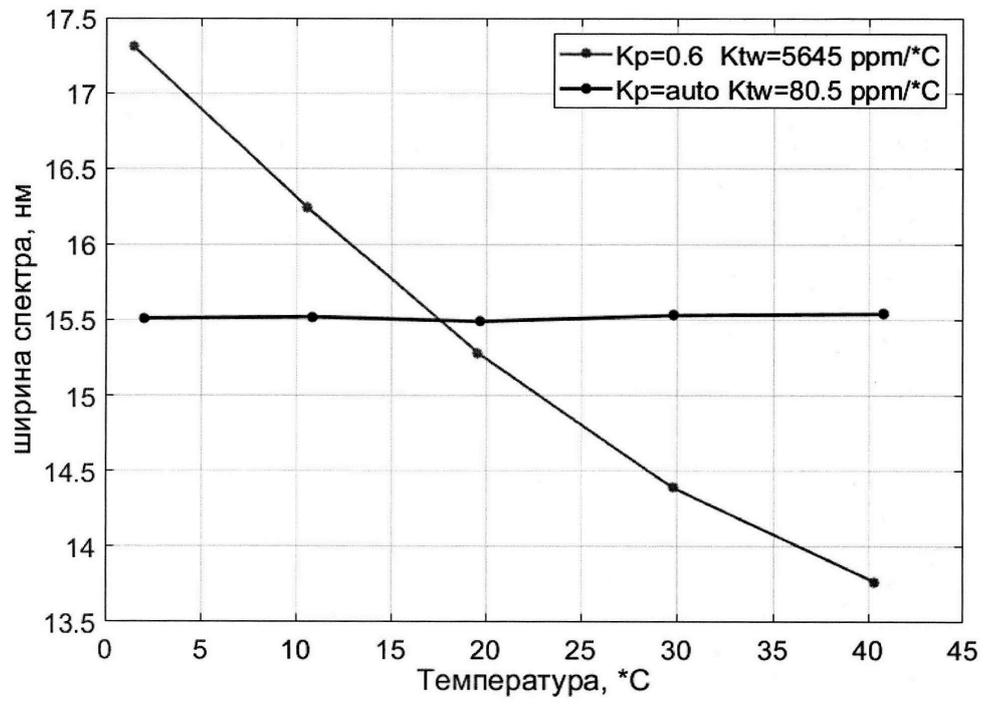
Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6