

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2676191

Способ формирования волоконной брэгговской решётки с фазовым сдвигом

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

Авторы: *Новикова Виктория Александровна (RU), Коннов Кирилл Александрович (RU), Грибаев Алексей Иванович (RU), Варжель Сергей Владимирович (RU)*

Заявка № 2018102806

Приоритет изобретения 24 января 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 26 декабря 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 24 января 2038 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G02B 6/02076 (2018.08); G02B 5/18 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018102806, 24.01.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.01.2018

Дата регистрации:
26.12.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.01.2018

(45) Опубликовано: 26.12.2018 Бюл. № 36

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Новикова Виктория Александровна (RU),
Коннов Кирилл Александрович (RU),
Грибаев Алексей Иванович (RU),
Варжель Сергей 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: Yuanhong Yang "Phase shifted FBG
fabricated with arc discharge erasing
technique", Proceedings of SPIE, т. 8561, 2012
г., стр. 85610I-1 - 85610I-6. А. М. Стам и др.
"Запись волоконных решеток Брэгга с
использованием интерферометра тальбота
и эксимерной КгФ-лазерной системы",
ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ.
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, т. 60, № 5, 2017 г.,
стр. 466-473. WO (см. прод.)

(54) Способ формирования волоконной брэгговской решётки с фазовым сдвигом

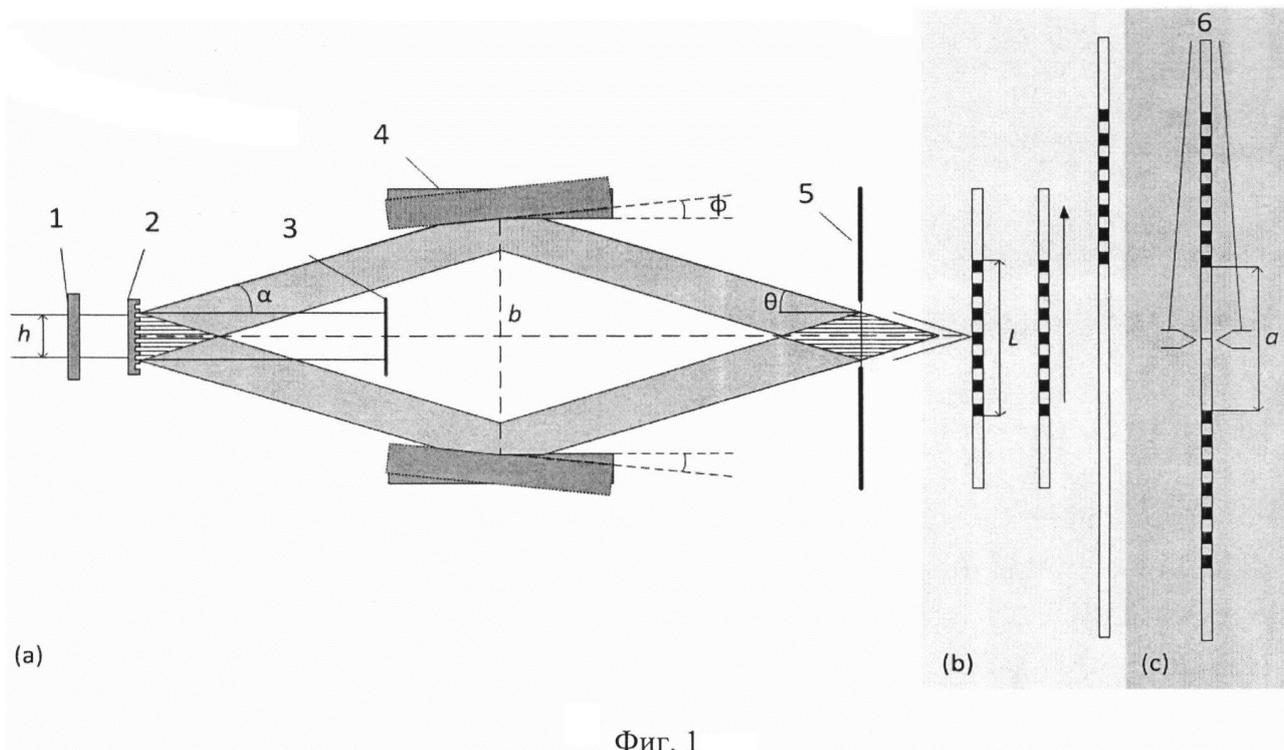
(57) Реферат:

Изобретение относится к области волоконной оптики и касается способа формирования волоконной брэгговской решетки (ВБР) с фазовым сдвигом. Способ включает в себя воздействие на оптическое волокно, с записанной в нем волоконной брэгговской дифракционной структурой, электрической дуги сварочного аппарата. Фазовый сдвиг формируют в волоконной брэгговской дифракционной структуре, полученной с применением интерферометра Тальбота. Для формирования структуры в оптическом волокне записывают первую ВБР, оптическое волокно с

индуцированной ВБР смещают вдоль его оси на расстояние, большее чем длина одной ВБР, но не превышающее сумму длины одной ВБР и длины временной когерентности отраженных от решеток излучений. Затем осуществляют запись второй решетки Брэгга, характеристики которой идентичны характеристикам первой решетки. Воздействие электрической дуги сварочного аппарата на оптическое волокно осуществляют в центре расстояния между двумя записанными ВБР до получения спектрального отклика решетки, свидетельствующего о возникновении л-сдвига. Технический результат заключается в

упрощении технологии изготовления, получении более узкой области пропускания и увеличении

дифракционной эффективности. 3 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):

2004049024 A1, 10.06.2004. US 6050109 A1, 18.04.2000.

RU 2676191 C1

RU 2676191 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G02B 6/028 (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G02B 6/02076 (2018.08); *G02B 5/18* (2018.08)

(21)(22) Application: **2018102806, 24.01.2018**

(24) Effective date for property rights:
24.01.2018

Registration date:
26.12.2018

Priority:

(22) Date of filing: **24.01.2018**

(45) Date of publication: **26.12.2018** Bull. № 36

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Novikova Viktoriya Aleksandrovna (RU),
Konnov Kirill Aleksandrovich (RU),
Gribaev Aleksej Ivanovich (RU),
Varzhel Sergej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **METHOD OF FORMING FIBER BRAGG GRATING WITH PHASE SHIFT**

(57) Abstract:

FIELD: fiber optics.

SUBSTANCE: invention relates to the field of fiber optics and concerns a method of forming a fiber Bragg grating (FBG) with a phase shift. Method includes an impact on the optical fiber, with the fiber Bragg diffraction structure recorded therein, electric arc welding machine. Phase shift is formed in a fiber Bragg diffraction structure obtained using a Talbot interferometer. To form a structure in the optical fiber, the first FBG is recorded, optical fiber with induced FBG is shifted along its axis by a distance greater than the length of one FBG, but not exceeding the sum of the length of one FBG and the length of the temporal

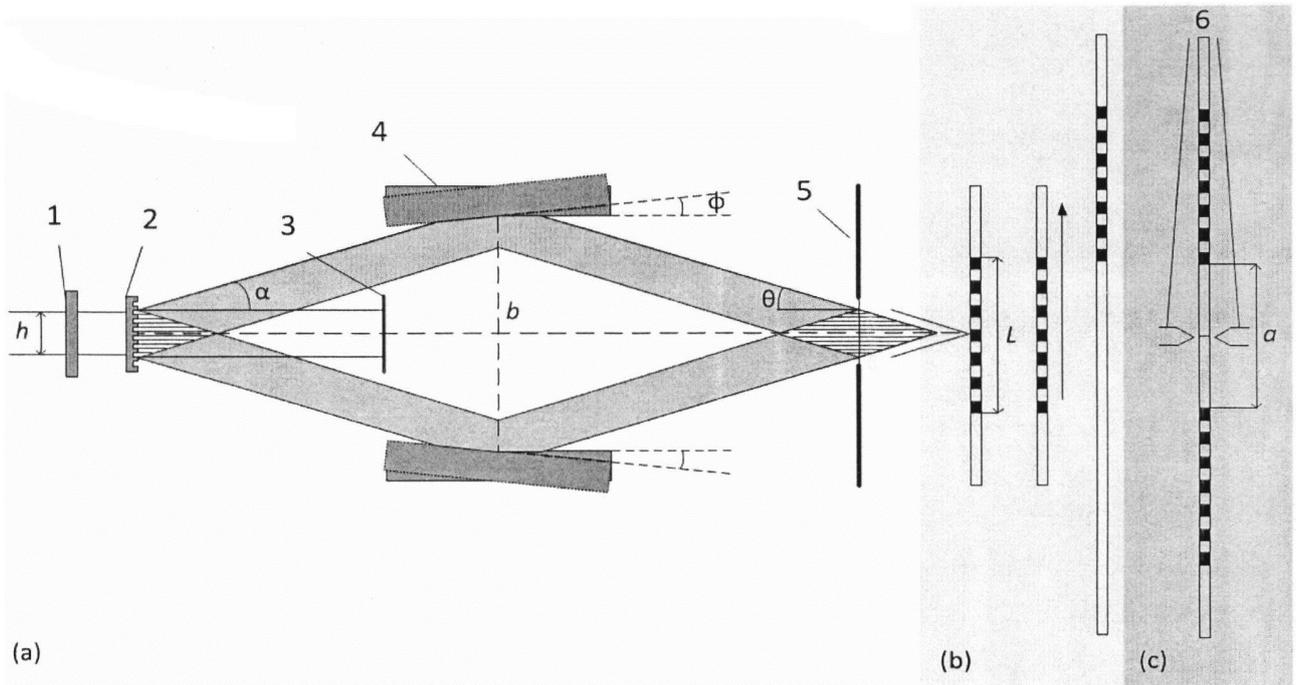
coherence of the radiation reflected from the gratings. Then write the second Bragg grating, the characteristics of which are identical to the characteristics of the first grating. Impact of the electric arc of the welding machine on the optical fiber is carried out in the center of the distance between the two recorded FBGs to obtain the spectral response of the lattice, indicating the occurrence π -shift.

EFFECT: technical result consists in simplifying the manufacturing technology, obtaining a narrower transmission area and increasing the diffraction efficiency.

1 cl, 3 dwg

RU 2 676 191 C1

RU 2 676 191 C1



Фиг. 1

RU 2676191 C1

RU 2676191 C1

Настоящее изобретение относится к волоконно-оптическим технологиям, в частности, к оптическим волокнам, в сердцевине которых сформированы особые виды структур волоконных брэгговских решеток (ВБР).

Известен способ записи ВБР с фазовым сдвигом, подразумевающий использование фазовой маски [Kashyap R., McKee P.F., Amies D. UV written reflection grating structures in photosensitive optical fibres using phase-shifted phase masks // Electron. Lett., 10th November 1994, V. 30, №23, P. 1977-1978]. Запись решеток Брэгга в таком случае осуществляется посредством применения фазовой маски с заранее сформированным фазовым сдвигом. Таким образом, наведение фазового сдвига происходит на этапе записи всей структуры. Запись ВБР методом фазовой маски исключает возможность изменения периода решетки, а как следствие, и длины волны брэгговского резонанса. Недостатками данной методики являются сложность изготовления и дороговизна подобных масок, а также отсутствие возможности контроля указанных выше параметров.

Известен способ формирования фазового сдвига путем записи ВБР с последующим ее «разделением» на две равные части [Yuanhong Yang, Xuejing Liu, Wei Jin. Phase Shifted Fiber Bragg Grating Fabrication Techniques and Their Laser Applications. OSA, ACP/IPOC, 12th November 2013, paper ATh3D.5]. Каждая из таких частей световода с записанной решеткой закрепляется в держателях оптического волокна, один из которых прикреплен к трехосевому микропозиционеру, позволяющему регулировать положение волокон относительно друг друга. Наведение фазового сдвига обуславливается наличием между двумя волокнами воздушного зазора, ширина которого контролируется с помощью микроскопа. Недостатками данной методики являются использование высокоточных микропозиционеров, высокие требования к настройке положения волокон относительно друг друга и нарушение целостности оптического волокна.

Известен способ записи ВБР с фазовым сдвигом путем перекрытия одного периода решетки Брэгга областью с повышенным показателем преломления волокна [Edmon Chehura, Stephen W. James, and Ralph P. Tatam. A simple method for fabricating phase-shifted fibre Bragg gratings with flexible choice of centre wavelength. Proc. of SPIE, 5th October 2009, Vol. 7503, 750379, pp. 1-4]. Суть методики заключается в том, что после записи первой ВБР осуществляется сдвиг оптического волокна на расстояние, равное длине решетки без одного периода, и далее происходит запись второй решетки Брэгга так, что первый период второй ВБР совпадает с последним периодом первой ВБР. Результатом работы данной системы является решетка Брэгга, в центре которой один период имеет повышенный показатель преломления, что обуславливает возникновение фазового сдвига в описанной структуре. Несмотря на то, что данная методика позволяет достаточно точно вносить сдвиг фаз π , ее недостаток заключается в использовании высокоточных подвижек и дополнительной системы контроля положения волокна с помощью интерферометра Майкельсона. Дороговизна используемых приборов является основным недостатком применения данной системы.

Известен способ создания волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом, заключающийся в ультрафиолетовой постобработке узкой области в центре сформированной ВБР [J. Canning, M.G. Sceats. π -phase-shifted periodic distributed structures in optical fibres by UV post-processing. Electronics Letters, 4th August 1994, Vol. 30, No. 16, pp. 1344-1345]. Процедура заключается в том, что облучение волокна УФ лучами создает относительно узкую область с повышенным показателем преломления, что вносит разность фаз между решетками, разделенными указанной областью. Недостаток данного способа заключается в необходимости точного определения центра ВБР. Кроме того

постобработка приводит к частичному затиранию решетки, что негативным образом сказывается на ее дифракционной эффективности.

Известен способ формирования решеток Брэгга (выбранный в качестве прототипа), фазовый сдвиг в которых наводится с помощью воздействия электрической дуги сварочного аппарата в центре сформированной ВБР [Yuanhong Yang, Xuejing Liu, Wei Jin. Phase Shifted Fiber Bragg Grating Fabrication Techniques and Their Laser Applications.

OSA, ACP/POC, 12th November 2013, paper ATh3D.5]. В основе данной методики лежит изменение геометрических параметров оптического волокна под воздействием электрической дуги, влекущее за собой внесение фазового сдвига. Недостатки данного способа заключаются, во-первых, в необходимости воздействия электрической дугой ровно в центре сформированной решетки Брэгга, во-вторых, в меньшей дифракционной эффективности такой структуры после воздействия электрической дуги по сравнению с первоначально сформированной стандартной ВБР.

Изобретение решает задачу исключения высокоточных микроскопов и микропозиционеров на стадии наведения фазового сдвига, что позволяет упростить технологию формирования ВБР с π -сдвигом, сохраняя при этом эффективность (а именно, возможность получения более узкой области пропускания в полосе отражения решетки с фазовым сдвигом и достижения большей дифракционной эффективности по сравнению с методикой, взятой в качестве прототипа) сформированных структур. В свою очередь, использование интерферометра Тальбота позволяет формировать волоконные брэгговские решетки с фазовым сдвигом с возможностью подстройки определенных параметров, таких как период решетки (следовательно, и длина волны брэгговского резонанса), длина решетки и коэффициент отражения, под каждый конкретный случай.

Поставленная задача решается следующим образом.

В способе формирования ВБР с фазовым сдвигом путем воздействия на оптическое волокно, с записанной в нем волоконной брэгговской дифракционной структурой, электрической дуги сварочного аппарата, фазовый сдвиг формируют в волоконной брэгговской дифракционной структуре, полученной с применением интерферометра Тальбота, в котором в качестве источника УФ излучения, производящего запись, используют K_rF эксимерную лазерную систему, высоту пучка излучения которой в области записи ВБР предварительно увеличивают до размера не превышающего 15 мм, а для формирования указанной структуры в оптическом волокне сначала записывают вышеуказанным излучением первую ВБР, после записи которой оптическое волокно с индуцированной ВБР смещают вдоль его оси на расстояние, большее чем длина одной ВБР, но не превышающее сумму длины одной ВБР и длины временной когерентности отраженных от решеток излучений, затем осуществляют запись второй брэгговской решетки, характеристики которой идентичны характеристикам первой решетки, а воздействие электрической дуги сварочного аппарата на оптическое волокно осуществляют в центре расстояния между двумя записанными ВБР до получения спектрального отклика решетки, свидетельствующего о возникновении π -сдвига.

Сущность заявляемого способа поясняется следующим.

Отличие стандартной волоконной решетки Брэгга от решетки Брэгга с фазовым сдвигом заключается в том, что для стандартной ВБР излучения, отраженные от граней решетки, находятся в фазе на длине волны брэгговского резонанса. В случае с ВБР с π -сдвигом решетка условно разделяется на две части, суммарные излучения от которых находятся в противофазе между собой, в результате чего в спектре отражения возникает узкая область пропускания, порядка нескольких десятков, иногда единиц пикометров.

Одним из требований, предъявляемых к технологичному формированию как обычных ВБР, так и ВБР с фазовым сдвигом, является возможность получения решеток со спектральными характеристиками, адаптированными для конкретных задач.

Один из наиболее эффективных способов записи волоконных брэгговских решеток подразумевает использование интерферометра Тальбота. Среди основных его преимуществ выделяют следующие: возможность перестройки длины волны брэгговского резонанса в широком диапазоне без замены фазовой маски и устранение непосредственного контакта между оптическим волокном и элементами схемы записи. Таким образом, использование интерферометра Тальбота решает проблему отсутствия возможности подстройки параметров для каждой отдельной задачи.

В заявляемом способе в качестве источника излучения для записи ВБР на интерферометре Тальбота используется KrF эксимерная лазерная система. Преимущество использования данной системы заключается в высокой степени пространственной (>5 мм) и временной (>10 мм) когерентности, что дает возможность предъявлять меньшие требования к юстировке интерферометра. Диэлектрические зеркала, используемые в интерферометре Тальбота, имеют увеличенный диаметр (по сравнению с зеркалами Тальбота, описанного в [Bartelt H., Schuster K., Unger S., Chojetzki C, Rothhardt M., Latka I. Single-pulse fiber Bragg gratings and specific coatings for use at elevated temperatures. Appl. Opt. 10th June 2007. Vol. 46. №17. pp. 3417-3424]), что, в совокупности с увеличенной пространственной когерентностью, позволяет получить большую область интерференционной картины с высоким контрастом. Увеличенный диаметр диэлектрических зеркал позволил увеличить высоту пучка излучения в области записи ВБР, что, в свою очередь, позволяет записывать более длинные ВБР. Заявляемый способ позволяет записывать волоконную брэгговскую дифракционную структуру с фазовым сдвигом, длина которой вдвое превосходит значение высоты лазерного пучка в области записи ВБР, что позволяет достигать наименьшие значения ширины области пропускания в полосе отражения. Увеличение длины решеток приводит к увеличению количества отраженных от штрихов решетки волн, интерферирующих на длине волны брэгговского резонанса, что, в свою очередь, приводит к увеличению дифракционной эффективности и «заужению» спектра отражения. В случае с ВБР с фазовым сдвигом увеличение длины решетки позволяет достигать меньшего значения ширины области пропускания в полосе отражения.

Предполагаемое изобретение подразумевает наведение фазового сдвига в предварительно сформированную структуру, то есть на этапе, когда ВБР уже записана в оптическое волокно. После записи первой решетки Брэгга, волокно смещается вдоль своей оси на расстояние, равное суммарному значению длины решетки и расстояния между решетками, и далее осуществляется запись второй решетки Брэгга. Запись обеих решеток ведется в одинаковых условиях, то есть такие параметры, как длина решетки, модуляция показателя преломления и период решетки одинаковы. Расстояние между записанными решетками не должно превышать длину временной когерентности отраженных от решеток излучений. В случае невыполнения данного условия излучения, отраженные от первой и от второй решеток, не будут интерферировать между собой, что приведет к отсутствию области пропускания в полосе отражения сформированной дифракционной структуры.

После записи двух решеток оптическое волокно помещалось в сварочный аппарат, электроды которого располагались в центре расстояния между двумя записанными ВБР. Центр расстояния между решетками определялся с помощью микрометрической линейной подвижки, имеющей шаг 10 мкм. Отсутствие высокоточных приборов,

использующихся при контроле расстояния между решетками, и погрешность указанной микрометрической подвижки обуславливают случай, при котором расстояние между решетками Брэгга вносит π -сдвиг без дополнительных воздействий на волокно; но такое случайное попадание имеет маленькую вероятность возникновения. В заявляемом способе воздействие электрической дуги сварочного аппарата на оптическое волокно осуществляют в центре расстояния между двумя записанными ВБР до получения спектрального отклика решетки, свидетельствующего о возникновении π -сдвига.

Во время разряда электрической дуги в оптическом волокне протекает высокотемпературный термический процесс, вследствие чего несколько изменяется геометрия волокна, таким образом, происходит наведение фазового сдвига. Анализ эффективности полученных решеток, а именно, изучение ее спектральных характеристик, осуществляется в реальном времени. Необходимо учитывать, что каждое воздействие электрической дуги вносит свои изменения в геометрию волокна, что позволяет получить наиболее удачную по своей эффективности решетку показателя преломления с фазовым сдвигом.

Стоит также отметить, что воздействие электрической дуги на область оптического волокна между двумя ВБР, а не на середину решетки, как это делается в прототипе, позволяет избегать затирания индуцированной в световод дифракционной структуры. Данное обстоятельство положительно сказывается на качестве получаемой ВБР с фазовым сдвигом.

Сущность заявляемого изобретения поясняется фиг. 1 (a,b,c), фиг. 2 и фиг. 3. На фиг. 1(a) представлена схема записи ВБР на интерферометре Тальбота, на фиг. 1(b) - сердцевина оптического волокна, в которой индуцирована первая ВБР, и стадия ее смещения вдоль своей оси для последующей записи второй ВБР, на фиг. 1(c) отражен этап наведения π -сдвига в центре между двумя ВБР под воздействием электрической дуги, на фиг. 2 представлен спектр отражения, полученный в результате записи решетки Брэгга с фазовым сдвигом по приведенной методике, на фиг. 3 представлена зависимость ширины на полувысоте области пропускания в полосе отражения решетки от длины ВБР с фазовым сдвигом.

Схема записи ВБР (фиг. 1a) включает линзу 1, фазовую маску 2, экран для блокировки нулевого порядка дифракции 3, диэлектрические зеркала 4 и оптическое волокно 5. Схема наведения фазового сдвига (фиг. 1c) включает в себя электроды 6.

Через линзу 1 излучение фокусируется на фазовую маску 2, после прохождения которой дифрагирует на порядки дифракции. Далее излучения $+1$ и -1 порядков дифракции, отражаясь от диэлектрических зеркал 4, расположенных на поворотных платформах, интерферируют между собой, в результате чего осуществляется запись решеток Брэгга в оптическом волокне 5. На приведенной схеме ϕ - угол поворота зеркал, θ - угол падения лучей на оптическое волокно, α - угол дифракции 1-го порядка, h - высота лазерного пучка, b - расстояние между центрами поворотных зеркал. При изменении угла поворота зеркал (ϕ) происходит перенастройка периода записываемой решетки Брэгга, а, следовательно, и длины волны брэгговского резонанса, при этом используемая фазовая маска не меняется. После записи двух решеток оптическое волокно помещается в сварочный аппарат, электроды 6 которого располагаются в центре между двумя записанными ВБР. Воздействие электрической дуги, возникающей между электродами 6, на оптическое волокно осуществляют в центре расстояния между двумя записанными ВБР до получения спектрального отклика решетки, свидетельствующего о возникновении π -сдвига.

В качестве источника излучения для записи ВБР на интерферометре Тальбота

используется KrF эксимерная лазерная система МОРА CL-7550 (ООО «Оптосистемы») типа задающий генератор - усилитель. Диэлектрические зеркала, используемые в интерферометре Тальбота, имеют увеличенный диаметр, а именно, 76,2 мм. Увеличенный диаметр диэлектрических зеркал позволил увеличить высоту пучка излучения в области записи ВБР. Рассчитанное, а также подтвержденное экспериментально, значение высоты пучка излучения в области записи ВБР не превышает 15 мм. Длина волны лазерного излучения, при которой осуществлялась запись решеток Брэгга - 248 нм.

На фиг. 2 - спектр отражения, полученный в результате записи решетки Брэгга с фазовым сдвигом, где δ - значение ширины на полувысоте области пропускания в полосе отражения ВБР. Зеленой пунктирной линией отражен спектр одной (первой) из двух последовательно записанных ВБР, но так как обе решетки записаны в одинаковых условиях, следовательно, спектр действителен (с некоторой долей допущения) для обеих решеток. Синей сплошной линией представлен спектр ВБР с фазовым сдвигом, структура которой представляет две последовательно записанные решетки, длина (L) каждой из которых составляет 5 мм, а расстояние между решетками (a) - 1 мм.

На фиг. 3 представлена зависимость ширины на полувысоте области пропускания в полосе отражения решетки от длины ВБР с фазовым сдвигом. Данный график отражает возможность изменения и настройки ширины области пропускания при различных длинах сформированных решеток Брэгга. При этом с увеличением длины решетки область пропускания в полосе отражения ВБР становится более узкой.

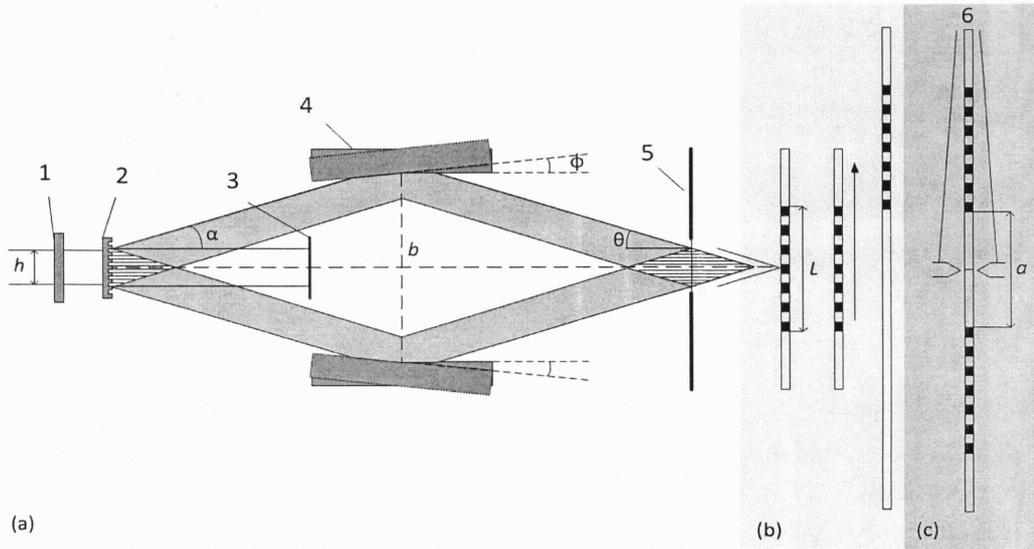
Таким образом, заявленный способ обеспечивает возможность записи волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом по упрощенной технологии (без использования высокоточных устройств на стадии формирования π -сдвига) со следующими преимуществами: возможностью настройки параметров формируемой структуры в широком диапазоне, возможностью получения более узкой области пропускания в полосе отражения решетки с фазовым сдвигом и достижением большей дифракционной эффективности.

(57) Формула изобретения

Способ формирования волоконной брэгговской решетки (ВБР) с фазовым сдвигом путем воздействия на оптическое волокно, с записанной в нем волоконной брэгговской дифракционной структурой, электрической дуги сварочного аппарата, отличающийся тем, что фазовый сдвиг формируют в волоконной брэгговской дифракционной структуре, полученной с применением интерферометра Тальбота, в котором в качестве источника УФ-излучения, производящего запись, используют KrF эксимерную лазерную систему, высоту пучка излучения которой в области записи ВБР предварительно увеличивают до размера, не превышающего 15 мм, а для формирования указанной структуры в оптическом волокне сначала записывают вышеуказанным излучением первую ВБР, после записи которой оптическое волокно с индуцированной ВБР смещают вдоль его оси на расстояние, большее чем длина одной ВБР, но не превышающее сумму длины одной ВБР и длины временной когерентности отраженных от решеток излучений, затем осуществляют запись второй решетки Брэгга, характеристики которой идентичны характеристикам первой решетки, а воздействие электрической дуги сварочного аппарата на оптическое волокно осуществляют в центре расстояния между двумя записанными ВБР до получения спектрального отклика решетки, свидетельствующего о возникновении π -сдвига.

1

Способ формирования волоконной брэгговской решётки с фазовым сдвигом

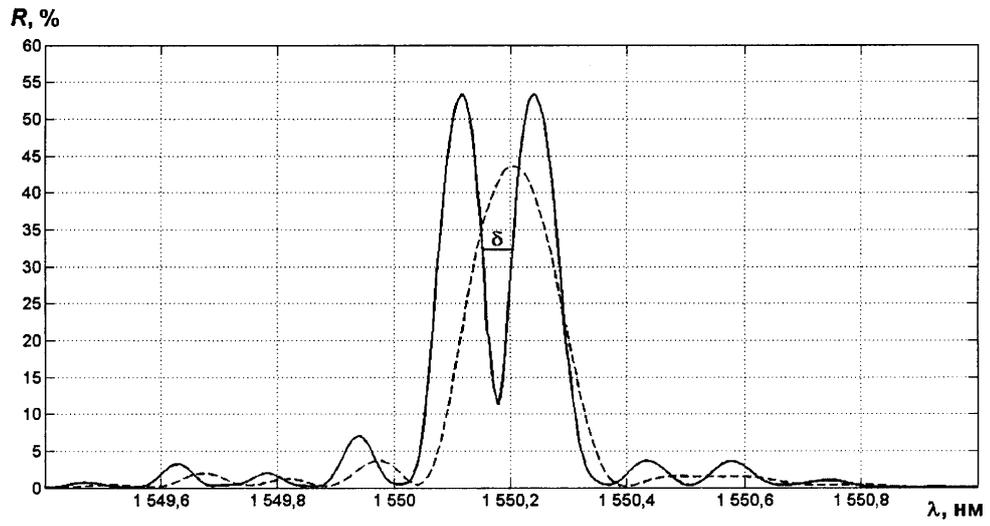


Фиг. 1.

1

2

Способ формирования волоконной брэгговской решётки с фазовым сдвигом



Фиг. 2.

Способ формирования волоконной брэгговской решётки с фазовым сдвигом



Фиг. 3.