



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G02B 6/10 (2023.02)

(21)(22) Заявка: 2021140019, 30.12.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.12.2021

Дата регистрации:
24.05.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.12.2021

(45) Опубликовано: 24.05.2023 Бюл. № 15

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦИС, для Лазарева
В.А. (НОЦ Фотоника)

(72) Автор(ы):

Лазарев Владимир Алексеевич (RU),
Тарабрин Михаил Константинович (RU),
Бушунов Андрей Алексеевич (RU),
Тесленко Андрей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: CN 104816099 A, 05.08.2015. CN
104049287 A, 17.09.2014. CN 101726769 A,
09.06.2010. US 20080063802 A1, 13.03.2008.

(54) Способ просветления торцов активных Cr:ZnS волноводов на основе микроstructuring поверхности

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам получения просветляющих микроструктур на оптических поверхностях активных Cr:ZnS волноводов в среднем инфракрасном (от 2 до 10 мкм) диапазоне. Заявленный способ просветления торцов активных Cr:ZnS волноводов на основе микроstructuring поверхности предназначен для подавления отражения и рассеяния электромагнитных волн от 2 до 10 мкм, падающих на поверхность подложки под углами в диапазоне от 0 до 40 градусов, от поверхности торца активного Cr:ZnS волновода и, таким образом, увеличения пропускания электромагнитных волн через активный Cr:ZnS волновод, посредством модификации плоской поверхности торца активного Cr:ZnS волновода с использованием прямой лазерной абляции одиночными сверхкороткими импульсами лазерного излучения, в котором используют лазер сверхкоротких импульсов лазерного излучения,

объектив для фокусировки сверхкоротких импульсов лазерного излучения относительно верхней границы подложки, позиционер, который перемещает подложку в трех координатах относительно точки фокусировки сверхкоротких импульсов лазерного излучения. Способ включает в себя: размещение активного Cr:ZnS волновода относительно точки фокусировки сверхкоротких импульсов лазерного излучения, где торец активного Cr:ZnS волновода непосредственно подвергается воздействию сверхкоротких импульсов лазерного излучения, причем сверхкороткие импульсы лазерного излучения воздействуют на поверхность торца активного Cr:ZnS волновода физически для удаления материала с поверхности торца активного Cr:ZnS волновода путем абляции, образуя отверстие или углубление. Позиционер непрерывно перемещает торец активного Cr:ZnS волновода, синхронизированным с частотой повторения

сверхкоротких импульсов лазерного излучения, для образования отверстий на плоской верхней поверхности подложки. При этом создаваемая микроструктура поверхности имеет расстояния между отверстиями меньше, чем самая короткая длина волны электромагнитных волн, а глубина отверстий больше, чем самая короткая длина волны электромагнитных волн. Причем

эффективный показатель преломления микроструктуры поверхности монотонно возрастает от окружающей среды к подложке материала. Технический результат – снижение потерь при пропускании электромагнитных волн из-за отражения от микроструктуры рельефа поверхности на торцах активных Cr:ZnS волноводов на 15%. 1 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G02B 6/10 (2023.02)

(21)(22) Application: **2021140019, 30.12.2021**

(24) Effective date for property rights:
30.12.2021

Registration date:
24.05.2023

Priority:

(22) Date of filing: **30.12.2021**

(45) Date of publication: **24.05.2023** Bull. № 15

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
MGТУ im. N.E. Baumana, TSIS, dlya Lazareva
V.A. (NOTS Fotonika)**

(72) Inventor(s):

**Lazarev Vladimir Alekseevich (RU),
Tarabrin Mikhail Konstantinovich (RU),
Bushunov Andrej Alekseevich (RU),
Teslenko Andrej Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj
tehnicheskij universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)"
(MGТУ im. N.E. Baumana) (RU)**

(54) **METHOD FOR ANTIREFLECTION OF ENDS OF ACTIVE Cr:ZnS WAVEGUIDES BASED ON SURFACE MICROSTRUCTURING**

(57) Abstract:

FIELD: optical materials.

SUBSTANCE: obtaining antireflection microstructures on optical surfaces. Methods for obtaining antireflection microstructures on optical surfaces of active Cr:ZnS waveguides in the mid-infrared (from 2 to 10 mcm) range. Claimed method of antireflection of the ends of active Cr:ZnS waveguides based on surface microstructuring is designed to suppress the reflection and scattering of electromagnetic waves from 2 to 10 mcm, falling on the surface of the substrate at angles in the range from 0 to 40 degrees, from the surface of the end of the active Cr:ZnS waveguide and thus increasing the transmission of electromagnetic waves through the active Cr:ZnS waveguide, by modifying the flat surface of the end face of the active Cr:ZnS waveguide using direct laser ablation with single ultrashort laser radiation pulses, which uses a laser producing ultrashort laser radiation pulses, a lens for focusing ultrashort pulses laser radiation relative to the upper boundary of the substrate, a positioner that moves the substrate in three coordinates relative to the focusing point of ultrashort laser radiation

pulses. The method includes placing an active Cr:ZnS waveguide relative to the focusing point of ultrashort laser radiation pulses, where the end face of the active Cr:ZnS waveguide is directly exposed to ultrashort laser radiation pulses, and ultrashort laser radiation pulses physically affect the surface of the active Cr:ZnS waveguide end face to remove material from the end surface of the active Cr:ZnS waveguide by ablation, forming a hole or a depression. The positioner continuously moves the end of the active Cr:ZnS waveguide, synchronized with the repetition rate of ultrashort laser pulses, to form holes on the flat top surface of the substrate. At the same time, the created surface microstructure has distances between holes less than the shortest wavelength of electromagnetic waves, and the depth of the holes is greater than the shortest wavelength of electromagnetic waves. Moreover, the effective refractive index of the surface microstructure monotonically increases from the environment to the material substrate.

EFFECT: reduction of losses during transmission of electromagnetic waves due to reflection from the



Фиг.1

Средний инфракрасный диапазон (средний ИК-диапазон, от 2 до 10 мкм) является технологически важным спектральным интервалом для зондирования, визуализации и связи. В последние несколько лет наблюдается всплеск интереса к новым оптическим материалам среднего ИК-диапазона, а также к устройствам на их основе, отвечающим
 5 все возрастающим требованиям со стороны указанных приложений. Широкий спектр последних технологических достижений в этой области охватывает функции генерации, распространения, манипулирования и обнаружения света среднего ИК-диапазона в свободном пространстве, в также в оптоволоконных и планарных платформах. Сегодня в ведущих лабораториях мира активно разрабатываются новые материалы для среднего
 10 ИК-диапазона: лазерные кристаллы, полупроводники, стекла, плазмонные металлы, наноструктуры.

Однако оптические материалы, применяемые для создания компонентов оптики и фотоники среднего ИК-диапазона, как правило, имеют характерную особенность, связанную с высокими значениями показателя преломления, что приводит к
 15 значительными френелевским потерям на отражение на границе раздела материал-воздух. Последнее приводит к снижению энергетической эффективности отдельных компонентов оптики и фотоники среднего ИК-диапазона и ограничивает КПД систем в целом.

Традиционные покрытия, представляющие собой диэлектрические многослойные тонкие пленки, обладают существенными недостатками, связанными с узким
 20 спектральным диапазоном просветления, сильной зависимостью коэффициента пропускания от угла падения лучей, низкой лучевой прочностью, высокими требованиями к адгезии пленок к поверхности материалов, что является критическим ограничением применения таких покрытий в целом ряде случаев. В этой связи большую
 25 актуальность приобретает задача сверхширокополосного просветления поверхностей оптических материалов среднего ИК-диапазона, который бы снял вышеназванные ограничения.

Также сегодня активно развивается направление компактных волноводных лазеров среднего ИК-диапазона. В частности, из уровня техники известен волноводный Cr:ZnS
 30 -лазер [N. Tolstik, A. Okhrimchuk, M. Smayev, V. Likhov, E. Sorokin, and I. Sorokina, "Single-mode depressed cladding buried waveguide laser based on single-crystal Cr:ZnS," in CLEO: Science and Innovations, (Optical Society of America, 2019), pp.STh1E-6.]. Оптический материал, применяемый для создания волноводного Cr:ZnS лазера, имеет характерную особенность, связанную со сравнительно высокими значениями показателя преломления,
 35 что приводит к значительными френелевским потерям на отражение на границе раздела материал-воздух, однако разработка способа широкополосно просветленных поверхностей торцев волноводов Cr:ZnS оставалось непреодолимой проблемой.

Из уровня техники известен патент CN104816099A. Изобретение раскрывает устройство для подготовки субволновой антиотражающей структуры. Устройство
 40 состоит из компьютерного модуля управления и лазерного устройства, компонента оптической передачи, компонента гальванометра, компонента системы фокусировки и платформы обработки, при этом компонент оптической передачи, компонент гальванометра и компонент системы фокусировки расположены последовательно вдоль светового пути лазера. Лазерное устройство управляется модулем компьютерного
 45 управления, действия компонента гальванометра и платформы обработки также контролируются модулем компьютерного управления, а на обрабатываемой поверхности подготавливается антиотражающая структура. Устройство для подготовки субволновой антиотражающей структуры, обеспечиваемое изобретением, имеет

преимущества, заключающиеся в том, что устройство и процесс просты, подготовка пластины и маски не требуется, размер субволновой структуры можно точно контролировать, точность обработки меньше, чем размер элемента, эффективность подготовки высока, процесс подготовки может быть завершен за один этап, а источники лазерного света обладают высокой избирательной эффективностью и низкими затратами.

Авторами предлагается способ просветления торцов активных Cr:ZnS волноводов (Фиг. 1) на основе микроstructuring поверхности, предназначенный для подавления отражения и рассеяния электромагнитных волн от поверхности торца активного Cr:ZnS волновода и, таким образом, увеличения пропускания электромагнитных волн через активный Cr:ZnS волновод. При этом электромагнитные волны имеют известные длины волн; в основе способа лежит процесс модификации плоской поверхности торца активного Cr:ZnS волновода с использованием прямой лазерной абляции (испарения) одиночными сверхкороткими импульсами лазерного излучения, в котором используется лазер сверхкоротких импульсов лазерного излучения, объектив для фокусировки сверхкоротких импульсов лазерного излучения относительно верхней границы подложки, позиционер, который перемещает подложку в трех координатах относительно точки фокусировки сверхкоротких импульсов лазерного излучения; процесс включает в себя: размещение активного Cr:ZnS волновода относительно точки фокусировки сверхкоротких импульсов лазерного излучения, где торец активного Cr:ZnS волновода непосредственно подвергается воздействию сверхкоротких импульсов лазерного излучения, причем сверхкороткие импульсы лазерного излучения воздействуют на поверхность торца активного Cr:ZnS волновода физически для удаления материала с поверхности торца активного Cr:ZnS волновода путем абляции (испарения), образуя углубление заданной глубины и формы, позиционер непрерывно перемещает торец активного Cr:ZnS волновода в соответствии с определенным алгоритмом, синхронизированным с частотой повторения сверхкоротких импульсов лазерного излучения, для образования отверстий с определенным периодом на плоской верхней поверхности подложки; при этом процесс использует один сверхкороткий импульс лазерного излучения для формирования каждого отдельного отверстия на подложке; при этом создаваемая микроструктура поверхности имеет определенное распределение расстояния между отверстиями и глубину отверстий, где расстояние между отверстиями меньше, чем самая короткая длина волны электромагнитных волн; при этом глубина структуры в несколько раз больше чем самая короткая длина волны электромагнитных волн; при этом эффективный показатель преломления микроструктуры поверхности обычно монотонно возрастает от окружающей среды к подложке материала; причем для электромагнитных волн, падающих на поверхность подложки под углами в диапазоне от 0 до 40 градусов, потери при пропускании электромагнитных волн из-за отражения от микроструктуры рельефа поверхности составляют менее 1%.

Способ отличается от аналога тем, что позволяет создать не субволновые микроструктуры, а углубления с большей глубиной, чем одна четвертая длины волны излучения. Способ, представленный в аналоге изобретения, позволяет сделать просветление только на одну длину волны, а предлагаемый авторами способ предназначен для просветления в широком спектральном диапазоне (от 2 до 10 мкм). Также в аналоге используется гальваносканер, что ограничивает область нанесения микроструктуры. В предлагаемом авторами способе такого ограничения нет, так как используется нанопозиционер на воздушной подушке.

Перечень фигур

Фиг. 1 - способ просветления торцов активных Cr:ZnS волноводов на основе микроstructuring поверхности.

(57) Формула изобретения

Способ просветления торцов активных Cr:ZnS волноводов на основе микроstructuring поверхности, предназначенный для подавления отражения и рассеяния электромагнитных волн от 2 до 10 мкм, падающих на поверхность подложки под углами в диапазоне от 0 до 40 градусов, от поверхности торца активного Cr:ZnS волновода и, таким образом, увеличения пропускания электромагнитных волн через активный Cr:ZnS волновод, посредством модификации плоской поверхности торца активного Cr:ZnS волновода с использованием прямой лазерной абляции одиночными сверхкороткими импульсами лазерного излучения, в котором используют лазер сверхкоротких импульсов лазерного излучения, объектив для фокусировки сверхкоротких импульсов лазерного излучения относительно верхней границы подложки, позиционер, который перемещает подложку в трех координатах относительно точки фокусировки сверхкоротких импульсов лазерного излучения; способ включает в себя: размещение активного Cr:ZnS волновода относительно точки фокусировки сверхкоротких импульсов лазерного излучения, где торец активного Cr:ZnS волновода непосредственно подвергается воздействию сверхкоротких импульсов лазерного излучения, причем сверхкороткие импульсы лазерного излучения воздействуют на поверхность торца активного Cr:ZnS волновода физически для удаления материала с поверхности торца активного Cr:ZnS волновода путем абляции, образуя отверстие или углубление, позиционер непрерывно перемещает торец активного Cr:ZnS волновода, синхронизированный с частотой повторения сверхкоротких импульсов лазерного излучения, для образования отверстий на плоской верхней поверхности подложки; при этом создаваемая микроструктура поверхности имеет расстояния между отверстиями меньше, чем самая короткая длина волны электромагнитных волн, а глубина отверстий больше, чем самая короткая длина волны электромагнитных волн; также при этом эффективный показатель преломления микроструктуры поверхности монотонно возрастает от окружающей среды к подложке материала.

