## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



斑 斑 斑

密

斑

斑

斑

斑

路路

密

密

密

密

田

斑

资

田

密

田

斑

斑

田

密

田

密

斑

E

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

路路路路路路

<u>路路路路路路</u>

密

密

密

斑

斑

密

路

斑

密

斑

斑

斑

斑

日

斑

密

密

密

密

密

密

斑

斑

密

斑

斑

路路路

斑

斑

斑

斑

斑

密

斑

密

斑

密

斑

斑

斑

密



НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2541495

## **ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА**

Патентообладатель(ли): Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра Российской Академии наук (КФТИ КазНЦ РАН) (RU)

Автор(ы): см. на обороте

Заявка № 2013158579

Приоритет изобретения **27** декабря 2013 г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации *13 января 2015 г.* Срок действия патента истекает **27 декабря 2033 г.** 

> Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

Автор(ы): Степанов Андрей Львович (RU), Нуждин Владимир Иванович (RU), Валеев Валерий Фердинандович (RU), Галяутдинов Мансур Фаляхутдинович (RU), Осин Юрий Николаевич (RU)

#### РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



#### **2 541 495<sup>(13)</sup> C1** (11)

Степанов Андрей Львович (RU),

(51) MITK G02B 5/18 (2006.01)

(72) Автор(ы):

フ C N ശ (J

#### ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(21)(22) Заявка: 2013158579/28, 27.12.2013

### (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

<ul><li>(24) Дата начала отсчета срока действия патента:</li><li>27.12.2013</li></ul>	Нуждин Владимир Иванович (RU), Валеев Валерий Фердинандович (RU),
Приоритет(ы):	Галяутдинов Мансур Фаляхутдинович (RU),
(22) Дата подачи заявки: 27.12.2013	Осин Юрий Николаевич (RU)
(45) Опубликовано: 20.02.2015 Бюл. № 5	(73) Патентообладатель(и):
(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Фаттахов Я.В., Галяутдинов М.Ф., Львова Т.Н., Хайбуллин И.Б. Динамика плавлениякремнияприоблучениимощными импульсами некогерентного света, Оптика атмосферы и океана, 1998, т.11, N2-3, с.264- 268. Фаттахов Я.В., Галяутдинов М.Ф., Львова Т.Н., Хайбуллин И.Б. Формирование двумерной периодической структуры локальных областей плавления кремния при (см. прод.)	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский физико- технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного центра Российской Академии наук (КФТИ КазНЦ РАН) (RU)
Адрес для переписки:	
420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7,	
Физико-технический институт Российской	
академии наук, проф. Степанову Андрею	
Львовичу	

# S റ 4 4 S 2

Ľ

C

#### (54) ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

#### (57) Реферат:

Изобретение может быть использовано, в том числе, для введения в тонкопленочные волноводы лазерного излучения или фильтрации в волноводе оптического сигнала, для исследования и контроля напряжений деформаций тонкого слоя на поверхности твердого тела методом муаровых картин, как тонкопленочный температурный сенсор при постоянном или импульсном режиме нагрева материалов в агрессивных средах. Дифракционная решетка для видимого диапазона содержит подложку с внедренной в ее поверхность дифракционнной периодической микроструктуой, элементами которой являются области, подвергнутые ионному облучению и характеризуемые другой диэлектрической проницаемостью материала относительно подложки. Подложка выполнена из оптически прозрачного диэлектрического или полупроводникового материала. Дифракционная периодическая микроструктура содержит ионносинтезированные металлические наночастицы, диспергированные в приповерхностной области подложки на толщине слоя от 20 до 100 нм при концентрации металла 3·10<sup>20</sup>-6·10<sup>22</sup> атомов/см<sup>3</sup>. Технический результат - улучшение контраста и возможность использования как лля отраженного, так и для проходящего света. 8 ил.



(56) (продолжение):

импульсном световом облучении, ЖТФ 1997, т.67, N12, с.97-99. Stepanov A.L. Synthesis of Silver Nanoparticles in Dielectric Matrix by Ion Implantation: a Review, REVIEWS ON ADVANCED MATERIALS SCIENCE, 2010, vol. 26, N 1/2, p. 1-29, найдено в Интернет: http://www.ipme.ru/ejournals/RAMS/no\_12610/stepanov.pdf. RU 2156490 C1, 20.09.2000. RU 2373307 C1, 20.11.2009. US 6611644 B2, 26.08.2003

U 2541495 C

#### **RUSSIAN FEDERATION**



## <sup>(19)</sup> RU<sup>(11)</sup> 2 541 495<sup>(13)</sup> C1

(51) Int. Cl. *G02B 5/18* (2006.01)

#### FEDERAL SERVICE FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

#### (72) Inventor(s): (21)(22) Application: 2013158579/28, 27.12.2013 Stepanov Andrej L'vovich (RU), (24) Effective date for property rights: Nuzhdin Vladimir Ivanovich (RU), 27.12.2013 Valeev Valerij Ferdinandovich (RU), Galjautdinov Mansur Faljakhutdinovich (RU), **Priority:** Osin Jurij Nikolaevich (RU) (22) Date of filing: 27.12.2013 (73) Proprietor(s): (45) Date of publication: 20.02.2015 Bull. № 5 Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe Mail address: uchrezhdenie nauki Kazanskij fiziko-420029, g. Kazan', ul. Sibirskij trakt, 10/7, Fizikotekhnicheskij institut im. E.K. Zavojskogo tekhnicheskij institut Rossijskoj akademii nauk, Kazanskogo nauchnogo tsentra Rossijskoj prof. Stepanovu Andreju L'vovichu Akademii nauk (KFTI KazNTs RAN) (RU)

#### (54) **DIFFRACTION GRATING**

#### (57) Abstract:

#### FIELD: physics.

SUBSTANCE: diffraction grating for the visible range comprises a substrate with a periodic diffraction microstructure embedded in the surface thereof, wherein elements of said microstructure are regions subjected to ion irradiation and are characterised by a different permittivity from the material of the substrate. The substrate is made of optically transparent dielectric or semiconductor material. The periodic diffraction microstructure comprises ion-synthesised metal nanoparticles dispersed in the surface region of the substrate on a layer thickness of 20 to 100 nm with metal concentration of  $3 \cdot 10^{20}$ - $6 \cdot 10^{22}$  atoms/cm<sup>3</sup>.

EFFECT: improved contrast and enabling use for

both reflected and transmitted light.



フ

C

Изобретение относится к оптике, а именно к устройствам дифракционных решеток, выполненным на поверхности оптически-прозрачных материалов. На практике такие решетки могут быть использованы:

- в элементах оптической коммуникации для введения в тонкопленочные волноводы лазерного излучения или фильтрации в волноводе оптического сигнала (решетки Брегга) 5 [1];

- для исследования и оптического контроля напряжений деформаций тонкого слоя на поверхности твердого тела методом муаровых картин [2];

- как тонкопленочный температурный сенсор при постоянном или импульсном режиме нагрева материалов в агрессивных средах [3] и др. 10

Известно устройство, выбранное в качестве аналога, выполненное в виде дифракционной решетки изготовленное из плоской прозрачной подложки и нанесенной на нее оптически непрозрачной пленки, имеющей кольцеобразную полупрозрачную зону, состоящую из чередующихся концентрических штрихов (патент РФ №2226284, опубликовано 27.03.2004).

15

20

35

Недостатком аналога является то, что в такой дифракционной решетке имеются непрозрачные области, что существенно снижает ее пропускную способность.

Известна дифракционная решетка [4], выполненная на поверхности подложки из монокристаллического кремния, структура элементов которой сформирована с помощью имплантации ионами фосфора через поверхностную маску.

В качестве маски использовалась тонкая металлическая сетка с размерами ячейки 40 мкм. Энергия (40 кэВ) и доза имплантации (3.12·10<sup>15</sup> ион/см<sup>2</sup>) были выбраны таким образом [4, 5], чтобы аморфизованный слой кремния, полученный в результате облучения, начинался непосредственно от поверхности образца. В результате этого на

25 поверхности формируются аморфные ячейки, ограниченные сеткой монокристаллического кремния. При освещении такой решетки непрерывным лучом гелий-неонового лазера (длина волны 632.8 нм) наблюдается дифракционная картина, интенсивность которой зависит от разности оптических характеристик имплантированных и не имплантированных областей кремния.

30 Эта дифракционная решетка [4] является наиболее близкой к заявляемому техническому решению и поэтому выбрана в качестве прототипа.

Недостатками прототипа являются:

- дифракционные решетки, изготовленные на кремниевых подложках, непрозрачных в видимой области, можно использовать только на оптическое отражение;

- как отмечают сами авторы [4], дифракционная эффективность этих решеток относительно низкая за счет малого контраста в коэффициентах отражения (ΔR) монокристаллического и аморфизованного кремния, в частности, на длине волны излучения лазера 632.8 нм. Коэффициенты отражения для аморфного и монокристаллического кремния на данной длине волны составляют 45 и 38% 40 соответственно, а контраст  $\Delta R=7\%$  [6].

Решаемая техническая задача в заявляемом изобретении заключается в создании дифракционной решетки с улучшенным контрастом и возможностью использования, как для отраженного, так и для проходящего света.

Поставленная задача в предлагаемом техническом решении в дифракционной решетке 45 для видимого диапазона, содержащей подложку с внедренной в ее поверхность дифракционнной периодической микроструктуой, элементами которой являются области, подвергнутые ионному облучению и характеризуемые другой диэлектрической проницаемостью относительно материала подложки, достигается тем, что подложка

выполнена из оптически прозрачного диэлектрического или полупроводникового материала, а дифракционная периодическая микроструктура содержит ионносинтезированные металлические наночастицы, диспергированные в приповерхностной

области подложки на толщине слоя от 20 до 100 нм при концентрации металла 3 $\cdot 10^{20}$ -6 $\cdot$ 5  $10^{22}$  atomob/cm<sup>3</sup>.

На фиг.1 показан чертеж в изометрии тонкопленочной дифракционной решетки (изделия) содержащей: 1 - оптически-прозрачную подложку; 2 - имплантированные ячейки; 3 - необлученные перегородки между ячейками.

На фиг.2 показано рассчитанное распределение имплантированной меди по глубине 10 в кварцевом стекле, при энергии облучения 40 кэВ.

На фиг.3 показаны спектры оптического пропускания необлученного (а) и (б) кварцевого стекла с ионно-синтезированными наночастицами меди.

На фиг.4 показано ACM-изображение поверхности SiO<sub>2</sub> с наночастицами меди,

синтезированными с помощью ионной имплантации. 15

На фиг.5 показано изображение, полученное на сканирующем электронном микроскопе, микроструктурированного кварцевого стекла (дифракционной решетки), имплантированного ионами меди через поверхностную маску.

На фиг.6 показан спектр оптического отражения натриево-кальциевого силикатного стекла и стекла с ионно-синтезированными наночастицами серебра. 20

На фиг.7 показан спектр оптического отражения сапфира и сапфира с ионносинтезированными наночастицами золота.

На фиг.8 показано изображение картины дифракционного рассеяния, полученное на экране при отражении от микроструктурированного кварцевого стекла с ионносинтезированными наночастицами меди, зондируемого гелий-неоновым лазером. 25

Рассмотрим способ изготовления дифракционной решетки на конкретных примерах. Условием изготовления дифракционной решетки является формирование на поверхности исходной подложки элементов заданной структуры дифракционной решетки путем ионной имплантации через поверхностную маску, при этом ионную имплантацию осуществляют ионами металла с энергией 5-1100 кэВ, дозой облучения, обеспечивающей

концентрацию вводимых атомов металла в облучаемой подложке 3·10<sup>20</sup>-6·10<sup>22</sup> атомов/  $cm^3$ , плотностью тока ионного пучка  $2 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup>с в оптически-прозрачную диэлектрическую или полупроводниковую подложку.

- На фиг.1 показан в изометрии чертеж тонкопленочной дифракционной решетки 35 (изделия) для видимого диапазона, содержащей оптически-прозрачную подложку 1 выполненную из оптически прозрачного диэлектрического или полупроводникового материала с внедренной в ее поверхность дифракционной периодической микроструктурой, элементами которой являются области, подвергнутые ионному
- облучению имплантированные ячейки 2 и характеризуемые другой диэлектрической 40 проницаемостью относительно материала подложки 1, где дифракционная периодическая микроструктура имплантированных ячеек 2 содержит ионносинтезированные металлические наночастицы, диспергированные в приповерхностной области подложки 1 на толщине слоя от 20 до 100 нм при концентрации металла 3.
- $10^{20}$ -6·10<sup>22</sup> атомов/см<sup>3</sup>. Необлученные перегородки 3 находящиеся между 15 имплантированными ячейками 2 имеют туже диэлектрическую проницаемость, что и оптически-прозрачная подложка 1 (для справки).

Пример 1.

Дифракционная решетка изготовлена на поверхности подложки, структура элементов которой сформирована с помощью ионной имплантации на ускорителе ИЛУ-3 через поверхностную маску, в качестве которой использовалась тонкая металлическая сетка

- с размерами ячейки 40 мкм, причем имплантация выполнена ионами металла Cu<sup>+</sup> с 5 энергией E=40 кэB, дозой облучения, D=5.0·10<sup>16</sup> ион/см<sup>2</sup>, обеспечивающей концентрацию вводимых атомов металла в облучаемой подложке (2.0·10<sup>22</sup> атомов/см<sup>3</sup>), плотностью тока в ионном пучке  $J=3\cdot 10^{13}$  ион/см<sup>2</sup> с в оптически-прозрачную диэлектрическую подложку, кварцевое стекло - SiO<sub>2</sub> фирмы Heraeus.
- 10

15

Моделирование концентрационных профилей распределения имплантированной меди с энергией 40 кэВ в кварцевое стекло по глубине с помощью компьютерного алгоритма DINA [7] (фиг.2) показало, что в приповерхностном имплантированном слое стекла происходит накопление атомов меди, приводящее к зарождению и росту металлических наночастиц. Общая толщина имплантированного слоя с наночастицами

меди, а следовательно, и толщина формируемой дифракционной решетки в SiO<sub>2</sub> не превышает 40 нм.

На фиг.3 приведены экспериментальные спектры линейного оптического пропускания для исходного SiO<sub>2</sub>, а также имплантированного ионами меди (Cu:SiO<sub>2</sub>), измеренные

на двухлучевом спектрометре Hitach-330. Как видно из фигуры, в отличие от исходной 20 матрицы SiO<sub>2</sub>, имплантированный образец Cu:SiO<sub>2</sub> характеризируется наличием в видимой области спектра селективной полосы поглощения с максимумом ~ 585-590 нм. Данная полоса указывает на формирование в SiO<sub>2</sub> наночастиц меди, и она обусловлена

проявлением эффекта поверхностного плазменного резонанса в металлических 25 наночастицах [8]. Наличие плазменного резонанса в сформированных наночастицах меди приводит к высокому контрасту ( $\Delta R=18\%$ ) в коэффициентах между областью кварцевого стекла с наночастицами (R=22% на длине волны 632.8 нм) и неимплантированным стеклом (R=4%). В то же время, сформированная структура является оптически прозрачной в отличие от дифракционной решетки на кремниевой 30

основе.

Изображение, полученное на атомно-силовом микроскопе - Интегра-Аура НТ-МДТ, (ACM-изображение) поверхности SiO<sub>2</sub> в области стекла, не покрытого сетчатой маской, после имплантации ионами меди приведено на фиг.4. В отличие от ровной поверхности необлученного стекла, шероховатость которого не превышала 1 нм, морфология

35 локальной области имплантированного образца, как это видно из фиг.4, характеризуется наличием полусферических выступов, которые, как было показано ранее, соответствуют синтезированным металлическим наночастицам на поверхности SiO<sub>2</sub> [9].

Поверхностные микроструктуры на имплантированном ионами меди через маску SiO<sub>2</sub>, наблюдаемые на сканирующем электронном микроскопе FEI Quantum 400-F 40 (СЭМ), приведены на фиг.5. Как видно из фигуры, вся поверхность образца представляет собой упорядоченную решетку с ячейками размером 40 мкм, которые сформированы ионным травлением при имплантации кварцевого стекла ионами меди в заданном режиме. При этом квадратная область ячеек представляет собой ионно-облученный 45

SiO<sub>2</sub>, т.е. структуру стекла с наночастицами меди, наблюдаемыми на фиг.4, характеризуемыми селективным плазменным пропусканием (фиг.3). Стенки между квадратными ячейками решетки состоят из необлученного кварцевого стекла. Дифракционная решетка, показанная на фиг.5, сформирована в точности с заданным

#### RU 2 541 495 C1

чертежом, изометрическое изображение которого приведено на фиг.1.

Поскольку известно, что имплантация ионов металла в стекло приводит к увеличению его показателя преломления вплоть до ~1.7-1.9 для видимой области спектра (особенно на частотах плазменного резонанса металлических наночастиц) [10], то очевидно, что

5 в результате имплантации кварцевого стекла через маску формируется микроструктура с периодически-изменяемым распределением оптических констант материала, т.е. между ячейками решетки и ее стенками (n<sub>SiO2</sub>=1.5).

Таким образом, сформированная имплантацией микроструктура с периодически изменяемым показателем преломления (диэлектрической проницаемостью) представляет <sup>10</sup> тонкопленочную дифракционную решетку.

Пример 2. В качестве подложки используется коммерческое натриево-кальциевое силикатное стекло итальянской фирмы SocietaItaliana Vetro, с однородным по объему образца содержанием химических компонент 70% SiO<sub>2</sub>, 20% Na<sub>2</sub>O, 10% CaO. Данное стекло характеризуется высокой оптической пропускательной способностью (около 90%) в широком спектральном диапазоне от 350 до 900 нм.

Имплантация проводится однозарядными ионами Ag<sup>+</sup> с энергией E=60кэB, дозой D= $3 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> ( $2.2 \cdot 10^{22}$  атомов/см<sup>3</sup>) и плотностью тока в ионном пучке.J= $3.2 \cdot 10^{13}$  ион/см<sup>2</sup>с. Остальные технологические операции и режимы ионной имплантации,

<sup>20</sup> связанные с облучением через поверхностную маску, такие как и в примере 1. Спектр отражения синтезированного образца, измеренный на оптическом спектрометре Hitachi-330, приведен на фиг.6. В результате ионной имплантации стекла в спектре композиционного материала появляется селективная полоса плазменного отражения с максимумом вблизи 495 нм, соответствующая ионно-синтезируемым

## <sup>25</sup> наночастицам серебра.

15

30

35

Как следует из спектров на фиг.6, сформированный композиционный слой характеризуется заметно более высоким отражением на длине волны излучения лазера 632.8 нм (23%) по сравнению с необлученным стеклом (8%). Это указывает на наличие высокого контраста в коэффициентах отражения между ними (ΔR=15%), требуемого для функционирования дифракционной решетки. При этом имплантированный ионами серебра образец остается оптически прозрачным.

Пример 3. В качестве подложки используется монокристаллический сапфир (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), характеризующийся высокой прозрачностью, (около 90%) в широком спектральном диапазоне от 200 до 4500 нм.

Имплантация проводится однозарядными ионами Au<sup>+</sup> с энергией E=160 кэB, дозой D= $1 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> ( $1 \cdot 10^{21}$  атомов/см<sup>3</sup>) и плотностью тока в ионном пучке J= $3.5 \cdot 10^{13}$  ион/ см<sup>2</sup>с. Остальные технологические операции и режимы ионной имплантации, связанные с облучением через поверхностную маску, такие как и в примере 1.

- с облучением через поверхностную маску, такие как и в примере 1.
   Спектр отражения синтезированного образца, измеренный на оптическом спектрометре Hitachi-330, приведен на фиг.7. В результате ионной имплантации стекла в спектре композиционного материала появляется селективная полоса плазменного отражения с максимумом вблизи 600 нм, соответствующая ионно-синтезируемым наночастицам золота.
  - Как следует из спектров на фиг.7, сформированный композиционный слой характеризуется заметно более высоким отражением на длине волны излучения лазера 632.8 нм (38%) по сравнению с необлученным сапфиром (10%). Это указывает на наличие высокого контраста в коэффициентах отражения между ними ( $\Delta R$ =28%), требуемого

для функционирования дифракционной решетки. При этом имплантированный ионами золота образец остается оптически прозрачным.

- При изготовлении дифракционной решетки режимы ионной имплантации по параметрам имеют следующие ограничения, E=5-1100 кэB, D - должна обеспечивать <sup>5</sup> концентрацию вводимых атомов металла в облучаемой подложке 3·10<sup>20</sup>-6·10<sup>22</sup> атомов/ см<sup>3</sup>, J=2·10<sup>12</sup>-1·10<sup>14</sup> ион/см<sup>2</sup>с. За границами этих режимов не достигается необходимого технического результата, и качество изготовленных дифракционных решеток не будет соответствовать необходимым требованиям.
- Энергия иона Е обуславливает величину его среднего проекционного пробега, которое определяет глубину залегания имплантированного иона, а следовательно, толщину модифицированного слоя и дифракционной решетки. Сверху энергия ускорения иона ограничена величиной E=1100 кэВ, поскольку при увеличении данной энергии имплантации требуемые размерные параметры (в первую очередь, толщина)
- <sup>15</sup> модифицированного слоя начинают превышать значения, необходимые для практического применения тонкопленочных дифракционных решеток [8-10]. Ограничение снизу величиной E=5 кэB, согласно нашим экспериментам, связано с тем, что при дальнейшем уменьшении E не удается получить столь крупные элементы структуры решетки, на которых бы наблюдалась дифракция света.
- 20 Доза облучения D определяется необходимым количеством атомов металлического вещества, чтобы, во-первых, обеспечить высокий контраст в коэффициентах отражения формируемых элементов дифракционной решетки, т.е. должны быть синтезированы достаточно крупные металлические наночастицы, проявляющие плазменное отражение и поглощение. Это условие, согласно нашим исследованиям зависимости появления
- <sup>25</sup> сигнала плазменного поглощения у металлических наночастиц от дозы имплантации, выполняется при концентрациях атомов металла в объеме облучаемого материала порядка 3·10<sup>20</sup> атомов/см<sup>3</sup>. Во-вторых, количество внедренной примеси не должно превышать той дозы, при которой начнется слипание растущих металлических наночастиц, приводящее к образованию сплошной металлической пленки, и по нашим
- <sup>30</sup> оценкам составляет не более 6·10<sup>22</sup> атомов/см<sup>3</sup>. Плотность тока в ионном пучке J определяет, с одной стороны, время набора дозы имплантации, а с другой стороны степень нагрева облучаемого материала.

Экспериментально установлено, что при J=1·10<sup>14</sup> ион/см<sup>2</sup>с температура облучаемой поверхности образца увеличивается до 150°С. Дальнейшее увеличение температуры

<sup>35</sup> поверхности ооразца увеличивается до 150°С. Дальнейшее увеличение температуры приводит к ускоренной диффузиии рассасыванию внедренной примеси по глубине образца без образования металлических наночастиц. Облучение с малой плотностью ионного тока нецелесообразно увеличивает время имплантации. Поэтому, минимальная

плотность ионного тока ограничена величиной  $J=2\cdot 10^{12}$  ион/см<sup>2</sup>с.

- 40 Рассмотрим предлагаемую дифракционную решетку (по примеру 1) в применении. На фиг.8 показана оптическая схема регистрации дифракционной картины от полученной дифракционной решетки. Луч гелий-неонового лазера, как показано стрелками, отражаясь от зеркала, падает на оптически-прозрачную дифракционную решетку (образец Cu:SiO<sub>2</sub>) и формирует дифракционную картину как при прохождении
- 45 света через образец, так и на отражение.

Техническим результатом является то, что предлагаемая дифракционная решетка характеризуется повышенным контрастом (ΔR=15-28%) в коэффициентах отражения между ее отдельными элементами. Это улучшает их дифракционную эффективность,

а использование в качестве подложки оптически-прозрачных диэлектрических и полупроводниковых материалов дает возможность ее применения как для отраженного, так и для проходящего света.

Список цитируемой литературы

1. Дифракционная нанофотоника. Ред. Сойфер В.А. М.: Физматлид 2011.

2. Галяутдинов М.Ф., Фаррахов Б.Ф., Фаттахов Я.В., Захаров М.В. Динамическая термометрия твердого тела методом оптической дифракции при импульсном облучении / Оптика и спектроскопия 2009. Т.107. №4. С.675-679.

3. Lanin A.V., Butov O.V., Golant K.M. Response of in-fiber Bragg gratings to hydrogen
loading and subsequent heat treatment in H<sub>2</sub> ambience / Appl. Opt. 2006. V.45. No.23. P.5800-5807.

4. Фаттахов Я.В., Галяутдинов М.Ф., Львова Т.Н., Хайбуллин И.Б. Динамика плавления кремния при облучении мощными импульсами некогерентного света / Оптика атмосферы и океана. 1998. Т.11. №2-3. С.264-268.

<sup>15</sup> 5. Фаттахов Я.В., Галяутдинов М.Ф., Львова Т.Н., Хайбуллин И.Б. Формирование двумерной периодической структуры локальных областей плавления кремния при импульсном световом облучении / ЖТФ 1997. Т.67. №12. С.97-99.

6. Stepanov A.L., Bayazitov R.M., Hole D.E., Khaibullin I.B. Annealing of europium-implanted silicon by nanosecond ion-beam pulses / Phil. Mag. Lett. 2001. V.81. No.1 P.29-38.

<sup>20</sup> 7. Stepanov A.L., Zhikharev V.A., Hole D.E., Townsend P.D., Khaibullin I.B. Depth distribution of Cu, Ag and Au ions implanted at low energy into insulators / Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B 2000. V.166-167. P26-30.

8. Kreibig U., Vollmer M. Optical properties of metal clusters. Berlin: Springer. 1995.

9. Stepanov A.L., Popok V.N. Nanostructuring of silicate glass under low-energy metal-ion <sup>25</sup> implantation / Surf. Sci. 2004. V.566-568. P.1250-1254.

10. Faik A., Alien L., Eicher C., Gagola A., Townsend P.D. Dispersion and luminescence measurements of optical waveguides / J. Appl. Phys. 1983. V.54. P.2597-2601.

## Формула изобретения

- 30 Дифракционная решетка для видимого диапазона, содержащая подложку с внедренной в ее поверхность дифракционнной периодической микроструктурой, элементами которой являются области, подвергнутые ионному облучению и характеризуемые другой диэлектрической проницаемостью относительно материала подложки, отличающаяся тем, что подложка выполнена из оптически прозрачного
- 35 диэлектрического или полупроводникового материала, а дифракционная периодическая микроструктура содержит ионно-синтезированные металлические наночастицы, диспергированные в приповерхностной области подложки на толщине слоя от 20 до 100 нм при концентрации металла 3.1020-6.1022 атомов/см<sup>3</sup>.

40





Фиг. 4



Фиг. 6

RU 2 541 495 C1





Фиг. 8

(56) (продолжение): импульсном световом облучения, ЖТФ 1997, т.67, И12, с.97-99. Stepanov A.L. Synthesis of Silver Nanoparticles in Dielectric Matrix by Ion Implantation: а Review, REVIEWS ON ADVANCED MATERIALS SCIENCE, 2010, vol. 26, N 1/2, р. 1-29, найдено в Интернет: http://www.ipme.tu/e-

100 нм при концентрации металла 3.1020-6.1022 атомов/см<sup>5</sup>.

Дифракционная решетка для видимого диапазона, содержащая подложку с внедренной в ес поверхность дифракционнной периодической микроструктурой, элементами которой являются области, подвергнутые ионному облучению и алементами которой являются области, подвергнутые ионному облучению и ладактеризуемые другой диэлектрической проницаемостью относительно материала подложки, отличающаяся тем, что подложка выполнена из оптически прозрачного диэлектрического или полупроводникового материала, а дифракционная периодическая микроструктура содержит ионно-синтезированные металлические наночастицы, диоструктура содержит ионно-синтезированные металлические наночастицы,

#### АХТЭШЭЧ КАННОИЦХАЧФИД (42)

꼬

C

N

ŝ

4

49

S

o

	(1 unongte
	академии наук, проф. степанову Апдрею
	Физико-технический институт госсинской
	420029, Г. Казань, ул. Сионрский тракт, 10/1,
	Адрес для переински:
	(см. прод.)
	идп кинмэд и кинэлавлп йэтэвлдо хыналвиол
	двумерной периодической структуры
	эннаводимдоФ. А. И ниппүдйьХ., Н. Т авоваП
	"Ф.М вонидтугал "В. В вохаттьФ .862
	атмосферы и океана, 1998, т.11, И2-3, с.264-
Cost (THE A TOTOL TEL ANT) NOR HUMPHONE	импульсами некогерентного света, Оптика
(HAT III KATN KOTN (MATH PARTIN A	имыншоминэгүлдоидпкинмэдикинэлаялп
MONDARY PROTECTION AND TO THE POSSAGE OF THE POSSAG	АлимениД. З.И ниппудах,
A 14000000000000000000000000000000000000	.Ф.М вонидтукия Т Я. R вохвттеФ :эмоноп
THE STORE I OCA TOP I DE TREMO CONTRACTOR	(56) Список документов, цитированных в отчете о
(73) Патентобладатель(и):	(42) Опубликовано: 20.02.2015 Бюл. № 5
(ON) FRADERIONALT REGOT PRO	<b>2102.21./2</b> : имакке прыдоп бтыд (22)
(IIA) HIGH HIGH AND	:(ы)тэтиоиqП
	27.12.2013
Степанов Андрей Львович (RU),	ланана и по стания и по стания и по на
:(IA)qotaA (27)	EI02.21.72, 32/9786215102 :вляка: 27.12.2013

### (12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

#### ФЕДЕРАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ



(109058 2/18 (2006.01)

Kn (II) 5 241 492(I3) C1

**РОССИЙСКАЛ ФЕДЕРАЦИЯ** 

t dro

journals/RAMS/no\_12610/stepanov.pdf. RU 2156490 C1, 20.09.2000. RU 2373307 C1, 20.11.2009. US 6611644 B2, 26.08.2003

RU 2541495 C1