

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



• ПАТЕНТ •

на изобретение

№ 2561197

ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА НА ПОЛИМЕРНОЙ
ОСНОВЕ

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 № 2014131706

Приоритет изобретения 30 июля 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 29 июля 2015 г.

Срок действия патента истекает 30 июля 2034 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Кирий", is placed below the official name.

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21)(22) Заявка: 2014131706/28, 30.07.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.07.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.07.2014

(45) Опубликовано: 27.08.2015 Бюл. № 24

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2120653 C1 20.10.1998 . SU 943625
A2 15.07.1982 . US 20070279745 A1 06.12.2007 .
JPS 6033502 A 20.02.1985. JP 2001281429 A
10.10.2001

Адрес для переписки:

420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7,
Физико-технический институт Российской
академии наук, Степанову Андрею Львовичу

(72) Автор(ы):

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

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ

(57) Формула изобретения

Дифракционная решетка на полимерной основе, содержащая подложку, выполненную из полимерного материала с дифракционной периодической микроструктурой, отличающаяся тем, что в качестве полимерного материала подложки использован несветочувствительный полимер, а сформированная дифракционная периодическая микроструктура содержит ионно-синтезированные металлические наночастицы, диспергированные в приповерхностной области подложки на толщине слоя от 20 до 500 нм при концентрации металла $2.5 \cdot 10^{20} - 6.5 \cdot 10^{22}$ атомов/см³.

R U 2 5 6 1 1 9 7 C 1

R U 2 5 6 1 1 9 7 C 1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014131706/28, 30.07.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.07.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.07.2014

(45) Опубликовано: 27.08.2015 Бюл. № 24

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2120653 C1 20.10.1998 . SU 943625
A2 15.07.1982 . US 20070279745 A1 06.12.2007 .
JPS 6033502 A 20.02.1985. JP 2001281429 A
10.10.2001

Адрес для переписки:

420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7,
Физико-технический институт Российской
академии наук, Степанову Андрею Львовичу

(72) Автор(ы):

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

(73) Патентообладатель(и):

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

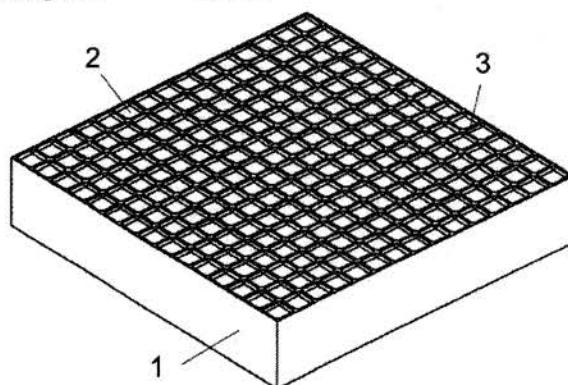
(54) ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к дифракционной решетке для видимого диапазона, выполненной на основе полимерных материалов. Дифракционная решетка содержит подложку, выполненную из полимерного материала с дифракционной периодической микроструктурой. В качестве полимерного материала подложки использован несветочувствительный полимер, а сформированная дифракционная периодическая микроструктура содержит ионно-

синтезированные металлические наночастицы, диспергированные в приповерхностной области подложки на толщине слоя от 20 до 500 нм при концентрации металла $2.5 \cdot 10^{20} - 6.5 \cdot 10^{22}$ атомов/см³. Технический результат заключается в обеспечении возможности дифракционных решёток на основе несветочувствительных типов полимеров с наночастицами различных металлов.

10 ил.



Фиг. 1

RU 2 561 197 C1

RU 2 561 197 C1

Изобретение относится к оптике, а именно к устройствам дифракционных решеток для видимого диапазона, выполненным на основе полимерных материалов. Полимеры представляют особый отдельный специфический класс материалов, который может характеризоваться различными диэлектрическими, полупроводниковыми и

5 проводниковыми свойствами, при этом коренным образом отличаясь по структуре от неорганических материалов. Полимерные материалы в настоящее время активно используются для построения различных типов оптических волноводов и управляющих светом фотонных элементов, таких как призмы, линзы и др. На практике решетки и периодические структуры на полимерной основе используются:

10 - в элементах оптической коммуникации для введения в тонкопленочные волноводы лазерного излучения или фильтрации в волноводе оптического сигнала (периодические структуры - решетки Брегга);

- в качестве резонаторов с распределенной обратной связью в волноводных лазерах, дифракционных элементов, используемых для управления светом [1] и др.

15 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 Р.Ф. №2226284, опубликованный 27.03.2004).

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

Известно [2] устройство, выполненное в виде оптической дифракционной решетки, в котором формирование заданной периодической структуры (участки полимера, чередуются с областями полимер/Ag-наночастицы) осуществлено восстановлением

25 металлического прекурсора, периодически распределенного в полимерной матрице. Для этого была использована специально разработанная фотополимеризующая композиция [3], которая обеспечила необратимое объемное диффузное перераспределение мономерной составляющей и прекурсора наночастиц серебра в интерференционном поле (топографическим способом). В результате проведения

30 фотохимической реакции была создана дифракционная решетка.

Эта дифракционная решетка [2] является наиболее близкой к заявляемому техническому решению и поэтому выбрана в качестве прототипа.

Недостатки прототипа:

35 - дифракционная решетка, описанная в прототипе [2], может быть сформирована только на основе специальной фотополимеризующей композиции. Это ограничивает выбор полимеров, используемых, в настоящее время, для изготовления оптических устройств, таких как, например, полиметилметакрилат (ПММА), полиимид, эпоксидные смолы и др. [4];

- в элементах периодической структуры дифракционной решетки, выполненной на основе фоточувствительной полимерной матрицы, могут быть использованы только наночастицы металла - серебра, это ограничивает возможность использования наночастиц других металлов.

40 Решаемая техническая задача в заявлении техническом решении - обеспечение возможности получения дифракционных решеток на основе несветочувствительных типов полимеров с наночастицами различных металлов.

Поставленная задача в предлагаемом техническом решении в дифракционной решетке на полимерной основе, содержащей подложку, выполненную из полимерного материала с дифракционной периодической микроструктурой, достигается тем, что в качестве

5 полимерного материала подложки использован несветочувствительный полимер, а сформированная дифракционная периодическая микроструктура содержит ионно-синтезированные металлические наночастицы, диспергированные в приповерхностной области подложки на толщине слоя от 20 до 500 нм при концентрации металла $2.5 \cdot 10^{20}$ - $6.5 \cdot 10^{22}$ атомов/см³.

10 На фиг. 1 показан чертеж в изометрии дифракционной решетки (изделия), содержащей: 1 - подложку из несветочувствительного полимера; 2 - имплантированные ячейки; 3 - необлученные перегородки между ячейками.

15 На фиг. 2 показано рассчитанное распределение имплантированного серебра по глубине в ПММА, при энергии облучения 30 кэВ.

На фиг. 3 показаны спектры оптического пропускания необлученного ПММА (а) и ПММА с ионно-синтезированными наночастицами серебра (б).

20 На фиг. 4 показано ПЭМ-изображение, полученное на просвечивающем электронном микроскопе, поверхности ПММА с наночастицами серебра, синтезированными с помощью ионной имплантации.

На фиг. 5 показано АСМ-изображение, полученное на атомно-силовом микроскопе, микроструктурированного ПММА (фрагмента дифракционной решетки), имплантированного ионами серебра через поверхностную маску.

25 На фиг. 6 показано изображение картины дифракционного рассеяния, полученное на экране при пропускании света от микроструктурированного ПММА с ионно-синтезированными наночастицами серебра, зондируемого лазером на длине волны 527 нм.

На фиг. 7 показано ПЭМ-изображение, полученное на просвечивающем электронном микроскопе, поверхности эпоксидной смолы с наночастицами серебра, синтезированными с помощью ионной имплантации.

На фиг. 8 показан спектр оптического поглощения эпоксидной смолы (а) и эпоксидной смолы с ионно-синтезированными наночастицами серебра (б).

Фиг. 9 - ПЭМ-изображение, полученное на просвечивающем электронном микроскопе, поверхности эпоксидной смолы с наночастицами кобальта, синтезированными с помощью ионной имплантации. Слева внизу на вставке приведена электронная микродифракция наночастиц кобальта.

На фиг. 10 показан спектр оптического пропускания полиимида (а) и полиимида с ионно-синтезированными наночастицами меди (б).

30 Рассмотрим способ изготовления дифракционной решетки на полимерной основе на конкретных примерах. Условие изготовления дифракционной решетки на полимерной основе включает формирование заданной периодической микроструктуры на полимерной подложке. Формирование заданной дифракционной периодической микроструктуры осуществляют с помощью имплантаций ионами металла с энергией 4-1200 кэВ, дозой облучения, обеспечивающей концентрацию вводимых атомов металла $2.5 \cdot 10^{20}$ - $6.5 \cdot 10^{22}$ атомов/см³, в облучаемой подложке, в качестве которой используют несветочувствительный полимер, на толщине слоя его приповерхностной области от 20 до 500 нм, плотностью тока ионного пучка $1.5 \cdot 10^{12}$ - $3.5 \cdot 10^{13}$ ион/см²·с через поверхностную маску.

45 На фиг. 1 показан в изометрии чертеж дифракционной решетки (изделия) на полимерной основе, содержащей подложку 1 (выполненную из не светочувствительного полимерного материала) с дифракционной периодической микроструктурой на ее поверхности, элементами которой являются области, подвергнутые ионному облучению

- имплантированные ячейки 2 и характеризуемые другой диэлектрической проницаемостью относительно материала подложки 1. Дифракционная периодическая микроструктура имплантированных ячеек 2 содержит ионно-синтезированные металлические наночастицы, диспергированные в приповерхностной области подложки

5 1 на толщине слоя от 20 до 500 нм при концентрации атомов металла $2.5 \cdot 10^{20} - 6.5 \cdot 10^{22}$ атомов/см³. Необлученные перегородки 3, находящиеся между имплантированными ячейками 2, имеют ту же диэлектрическую проницаемость, что и оптически прозрачная подложка 1.

10 Пример 1. Дифракционная решетка изготовлена на полимерной основе, ее способ изготовления включает формирование заданной дифракционной периодической микроструктуры на полимерной основе, при этом формирование заданной дифракционной периодической микроструктуры осуществлялось с помощью имплантации на ускорителе ИЛУ-3 ионами металла - Ag+ с энергией E=30 кэВ, дозой 15 облучения D=2.5·10¹⁶ ион/см², обеспечивающей концентрацию вводимых атомов металла 1.0·10²² атомов/см³ в облучаемой подложке, в качестве которой использовался несветочувствительный полимер (ПММА) плотностью тока в ионном пучке J=1·10¹³ ион/см²·с через поверхностную маску - металлическую сетку с размерами ячейки 25 20 мкм.

25 Моделирование концентрационных профилей распределения имплантированного серебра с энергией 30 кэВ в ПММА по глубине с помощью компьютерного алгоритма SRIM-2013 [5] (фиг. 2) показало, что в приповерхностном имплантированном слое полимера происходит накопление атомов серебра, приводящее к зарождению и росту металлических наночастиц. Общая толщина имплантированного слоя с наночастицами серебра, а следовательно, и толщина активного слоя формируемой дифракционной решетки в ПММА, для данных условий имплантации, не превышает 100 нм.

30 На фиг. 3. приведены экспериментальные спектры линейного оптического пропускания для исходного ПММА, а также имплантированного ионами серебра (Ag: ПММА), измеренные на двухлучевом спектрометре Hitach-330. В отличие от исходной матрицы ПММА фиг. 3 (а) имплантированный образец Ag:ПММА фиг. 3 (б) характеризуется наличием в видимой области спектра селективной полосы поглощения с максимумом ~500 нм. Данная полоса указывает на формирование в ПММА наночастиц серебра, и она обусловлена проявлением эффекта поверхности плазменного резонанса в металлических наночастицах [6].

35 Изображение, полученное на просвечивающем электронном микроскопе - TESLA BS-5 00, (ПЭМ-изображение) поверхности ПММА в области полимера, не покрытого сетчатой маской, после имплантации ионами серебра приведено на фиг. 4. В отличие от необлученного полимера на микрофотографии видны наночастицы сферической формы. Из анализа микродифракции (фотография не приводится) следует, что сферические образования имеют гранецентрированную кубическую решетку с постоянной, соответствующей металлическому серебру. Изображение микродифракции характеризуются набором тонких колец поликристаллического типа от наночастиц серебра, наблюдаемым на фоне широких диффузных дифракционно-размытых колец низкой интенсивности, соответствующих аморфной полимерной матрице. Сравнение экспериментальных дифракционных картин со стандартными международными табличными рентгеновскими ASTM-данными позволяет заключить, что образование каких-либо химических соединений с ионами серебра при ионной имплантации не

происходит.

Поверхностные микроструктуры на имплантированном ионами серебра через маску ПММА, наблюдаемые на атомно-силовом микроскопе FastScan Brucker (ACM), приведены на фиг. 5. На ACM-изображении видно, что поверхность образца

представляет собой упорядоченную решетку с ячейками размером 25 мкм, которые сформированы при имплантации ПММА ионами серебра в заданном режиме. При этом квадратная область ячеек представляет собой ионно-облученный ПММА, т.е. структуру полимера с наночастицами серебра, наблюдаемыми на фиг. 4, характеризуемыми селективным плазменным поглощением. Стенки между квадратными ячейками решетки состоят из необлученного полимера. Дифракционная решетка, показанная на фиг. 5, сформирована в соответствии с заданным чертежом, изометрическое изображение которого приведено на фиг. 1.

Поскольку известно, что имплантация ионов металла в диэлектрик приводит к увеличению его показателя преломления вплоть до ~1.7-1.9 для видимой области спектра (особенно на частотах плазмонного резонанса металлических наночастиц) [7], то очевидно, что в результате имплантации ПММА через маску формируется микроструктура с периодически изменяемым распределением оптических констант материала, т.е. между ячейками решетки и ее стенками ($\eta_{\text{ПММА}}=1.5$).

Таким образом, сформированная имплантацией микроструктура с периодически изменяемым показателем преломления (диэлектрической проницаемостью) представляет собой дифракционную решетку. На фиг. 6 приведено дифракционное изображение, регистрируемое при зондировании сформированной решетки лазером на длине волны 527 нм.

Пример 2. В качестве подложки используется несветочувствительный полимер - эпоксидная смола, которая характеризуется относительно высокой оптической прозрачностью в широком спектральном диапазоне от 350 до 900 нм.

Имплантацию проводят однозарядными ионами Ag^+ с энергией $E=30$ кэВ, дозой $D=3 \cdot 10^{16}$ ион/ cm^2 (концентрация - $2.2 \cdot 10^{22}$ атомов/ cm^3) и плотностью тока в ионном пучке $J=3.2 \cdot 10^{13}$ ион/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$. Остальные технологические операции и режимы ионной имплантации, связанные с облучением через поверхность маску, такие, как и в первом примере конкретной реализации предлагаемой дифракционной решетки на полимерной основе.

ПЭМ-изображение поверхности эпоксидной смолы, имплантированной ионами серебра, приведено на фиг. 7, на котором отчетливо видны сферические синтезированные наночастицы серебра.

Спектр оптического поглощения синтезированного образца, измеренный на спектрометре Hitachi-330, приведен на фиг. 8. В результате ионной имплантации полимера в спектре композиционного материала появляется селективная полоса плазменного поглощения с максимумом вблизи 495 нм, соответствующая ионно-синтезируемым наночастицам серебра [6].

Пример 3. В качестве подложки используется несветочувствительный полимер - эпоксидная смола, которая характеризуется относительно высокой оптической прозрачностью в широком спектральном диапазоне от 350 до 900 нм.

Имплантацию проводят однозарядными ионами Co^+ с энергией $E=40$ кэВ, дозой $D=1 \cdot 10^{17}$ (концентрация - $0.7 \cdot 10^{22}$ атомов/ cm^3) и плотностью тока в ионном пучке $J=3.2 \cdot 10^{13}$ ион/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$. Остальные технологические операции и режимы ионной имплантации,

связанные с облучением через поверхностную маску, такие, как и в первом примере конкретной реализации предлагаемой дифракционной решетки на полимерной основе.

ПЭМ-изображение поверхности эпоксидной смолы, имплантированной ионами кобальта, приведено на фиг. 9, на котором отчетливо видны сферические 5 синтезированные наночастицы кобальта. На этом же рисунке на вставке приведена электронная микродифракция, подтверждающая образование наночастиц кобальта. Сравнение экспериментальных дифракционных картин со стандартными 10 международными табличными рентгеновскими ASTM-данными позволяет заключить, что образование каких-либо химических соединений с ионами кобальта при ионной имплантации не происходит.

Пример 4. В качестве подложки используется несветочувствительный полимер - полиимид, характеризующийся высокой прозрачностью (около 90%) в широком спектральном диапазоне от 200 до 1000 нм.

Имплантацию проводят однозарядными ионами Cu^+ с энергией $E=40$ кэВ, дозой $D=15 5.0 \cdot 10^{16}$ ион/ cm^2 (концентрация - $2.0 \cdot 10^{22}$ атомов/ cm^3) и плотностью тока в ионном пучке $J=3.5 \cdot 10^{13}$ ион/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$. Остальные технологические операции и режимы ионной 20 имплантации, связанные с облучением через поверхностную маску, такие, как и в первом примере конкретной реализации предлагаемой дифракционной решетки на полимерной основе.

Спектр оптического пропускания синтезированного образца, измеренный на спектрометре Hitachi-330, приведен на фиг. 10. В результате ионной имплантации полимера в спектре композиционного материала появляется селективная полоса 25 плазменного поглощения с максимумом вблизи 630 нм, соответствующая ионно-синтезируемым наночастицам меди [6].

При изготовлении дифракционной решетки на полимерной основе режимы ионной имплантации по параметрам имеют следующие ограничения: $E=4-1200$ кэВ, D - должна обеспечивать концентрацию вводимых атомов металла в облучаемой подложке $2.5 \cdot 10^{20} - 6.5 \cdot 10^{22}$ атомов/ cm^3 , $J=1.5 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{14}$ ион/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$. За границами этих режимов не 30 достигается необходимого технического результата, и качество изготовленных дифракционных решеток на полимерной основе не будет соответствовать необходимым требованиям.

Доза облучения определяется необходимым количеством атомов металлического вещества, чтобы, во-первых, обеспечить высокий контраст в коэффициентах отражения 35 формируемых элементов дифракционной решетки, т.е. должны быть синтезированы достаточно крупные металлические наночастицы, проявляющие селективное плазменное отражение и поглощение для наночастиц благородных металлов или релеевское рассеяние, например, для наночастиц переходных металлов. Это условие, согласно 40 нашим исследованиям зависимости появления оптического сигнала у металлических наночастиц от дозы имплантации, выполняется при концентрациях атомов металла в облучаемом полимере порядка $2.5 \cdot 10^{20}$ атомов/ cm^3 . Во-вторых, количество внедренной примеси не должно превышать той дозы, при которой начнется слипание растущих 45 металлических наночастиц, приводящее к образованию сплошной металлической пленки, и по нашим оценкам составляет не более $6.5 \cdot 10^{22}$ атомов/ cm^3 .

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 $J=3.5 \cdot 10^{13}$ ион/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ температура облучаемой

поверхности образца увеличивается и приводит к ее разрушению (изменению). Облучение с малой плотностью ионного тока нецелесообразно увеличивает время имплантации.

Поэтому, минимальная плотность ионного тока ограничена величиной $J=1.5 \cdot 10^{12}$ ион/ $\text{см}^2\cdot\text{с}$.

- ⁵ Энергия иона E обуславливает величину его среднего проекционного пробега, которая определяет глубину залегания имплантированного иона, а следовательно, толщину модифицированного слоя и дифракционной решетки. Сверху энергия ускорения иона ограничена величиной $E=1200$ кэВ, поскольку при увеличении данной энергии имплантации и разумной длительности облучения не достигается требуемая
- ¹⁰ концентрация примеси атомов металла, необходимая для зарождения на большой глубине металлических наночастиц. Ограничение снизу величиной $E=4$ кэВ, 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. При выборе $E=4-1200$ кэВ дифракционная периодическая
- ¹⁵ микроструктура содержит ионно-синтезированные металлические наночастицы, диспергированные в приповерхностной области подложки на толщине слоя от 20 до 500 нм.

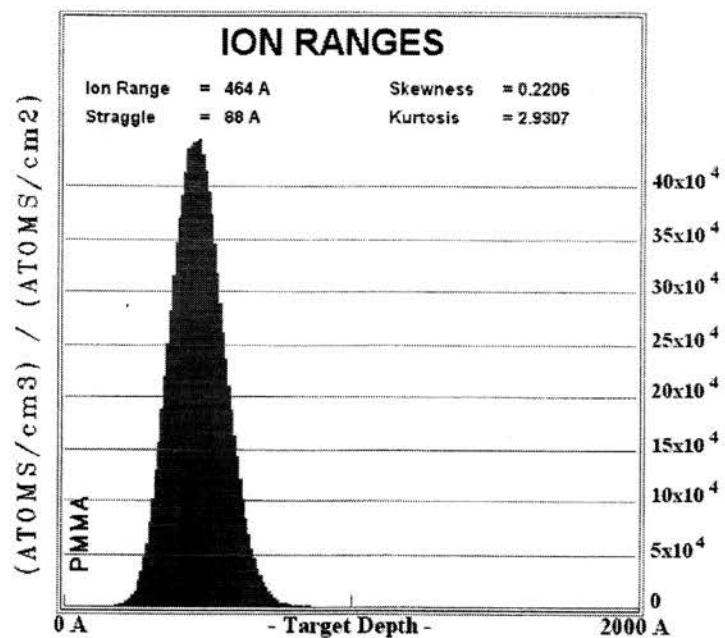
Техническим результатом является то, что предлагаемая дифракционная решетка на полимерной основе может быть изготовлена на основе несветочувствительных ²⁰ полимеров при использовании различных типов металлов.

Список цитируемой литературы

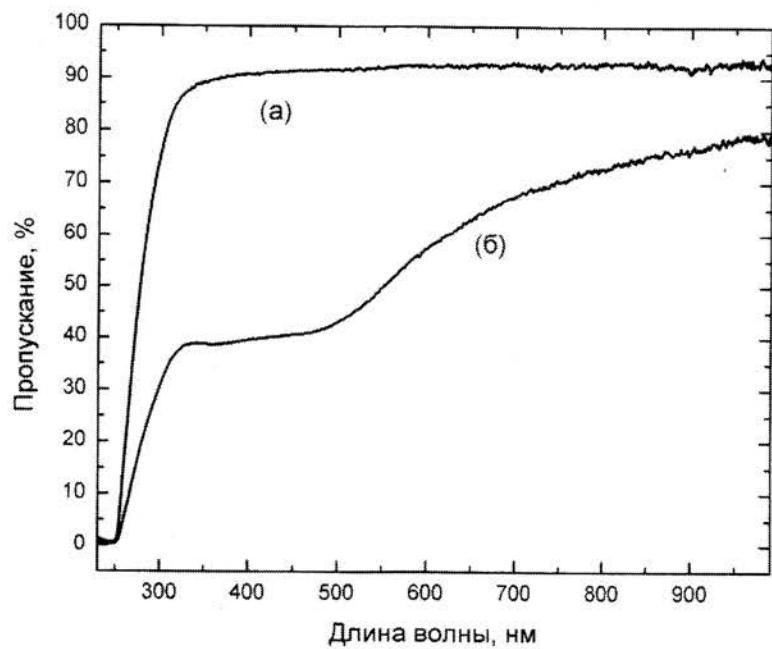
1. Дифракционнаяnanoфотоника. Ред. Сойфер В.А. М.: Физматлид, 2011.
2. Кохтич Л.М., Смирнова Т.Н., Куценко А.С. Новый метод формирования ²⁵ периодических структур полимер - наночастицы серебра. Труды научно-практической конференции «Голография. Наука и практика» и the 6-th international conference „HOLOEXPO-2009”, 1-2 июля 2009, Киев, Украина С.223-224.
3. Смирнова А.Л., Кохтич Л.М., Сахно О.В., Штумпе И. Голографические ³⁰ нанокомпозиты для записи периодических структур полимер-наночастицы. I. Общий подход к выбору компонент нанокомпозитов и их голографические свойства. / Оптика и спектроскопия 2011. Т.110. №1. С.135-142.
4. Серова В.Н. Полимерные материалы для оптики. М.: Научные основы и технологии 2011.
5. Ziegel J.F., Biersak J.R, Littmark U. The stopping and range of ions in solids. N.Y.: Pergamon, ³⁵ 1996.
6. Kreibig U., Vollmer M. Optical properties of metal clusters. Berlin: Springer. 1995.
7. Faik A., Allen L., Etcher C., Gagola A., Townsend P.D. Dispersion and luminescence measurements of optical waveguides / J. Appl. Phys. 1983. V.54. P.2597-2601.

Формула изобретения

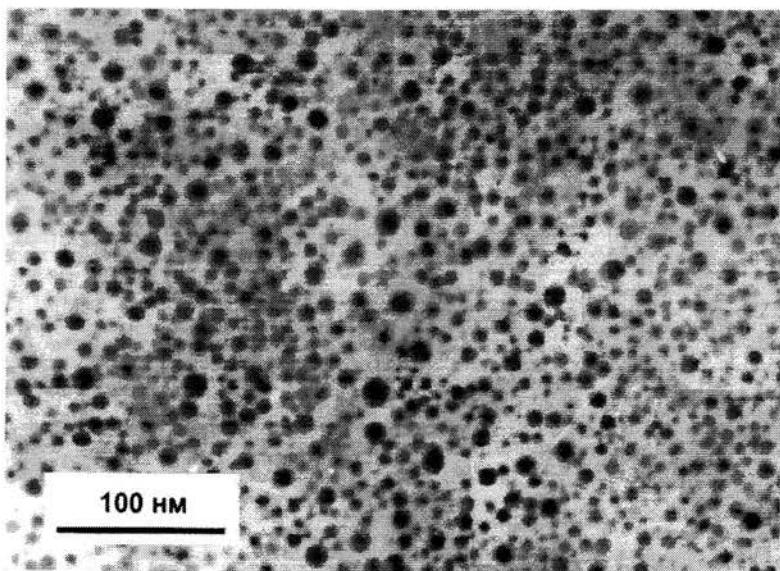
- ⁴⁰ Дифракционная решетка на полимерной основе, содержащая подложку, выполненную из полимерного материала с дифракционной периодической микроструктурой, отличающаяся тем, что в качестве полимерного материала подложки использован несветочувствительный полимер, а сформированная дифракционная периодическая микроструктура содержит ионно-синтезированные металлические наночастицы, диспергированные в приповерхностной области подложки на толщине слоя от 20 до 500 нм при концентрации металла $2.5 \cdot 10^{20} - 6.5 \cdot 10^{22}$ атомов/ см^3 .



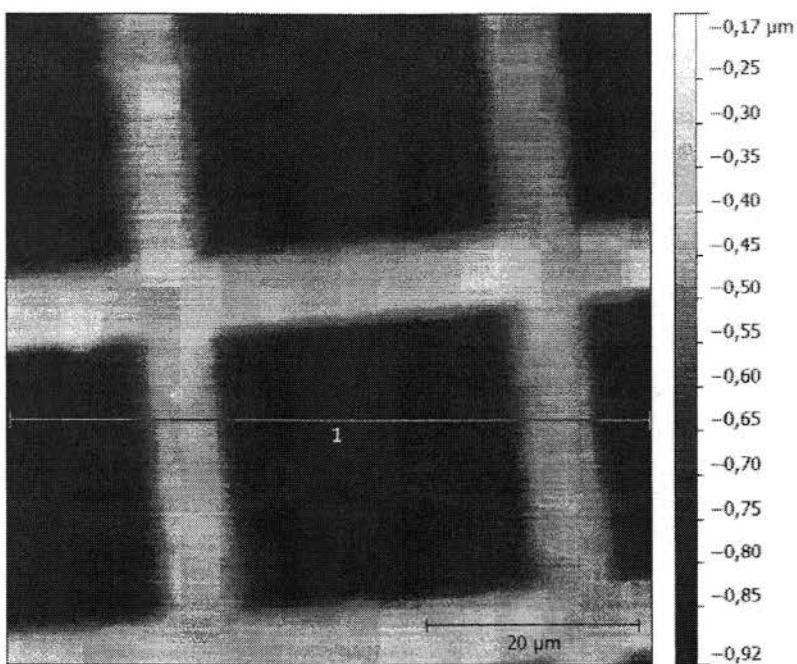
Фиг. 2



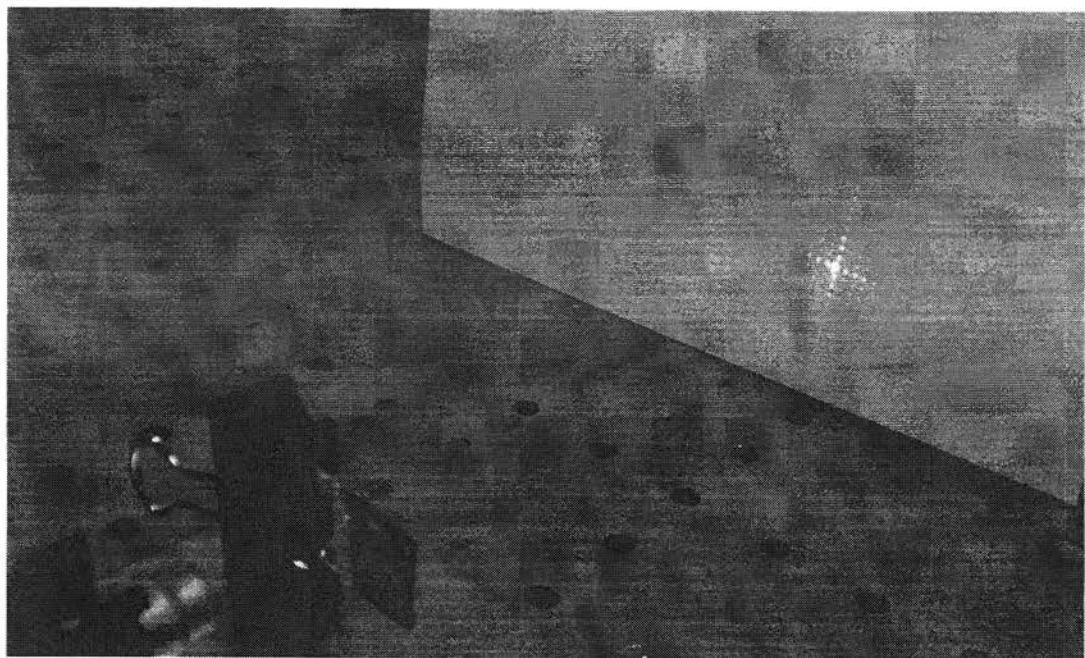
Фиг. 3



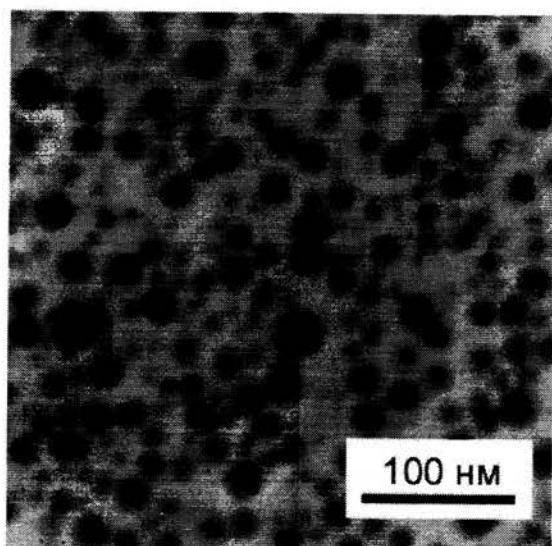
Фиг. 4



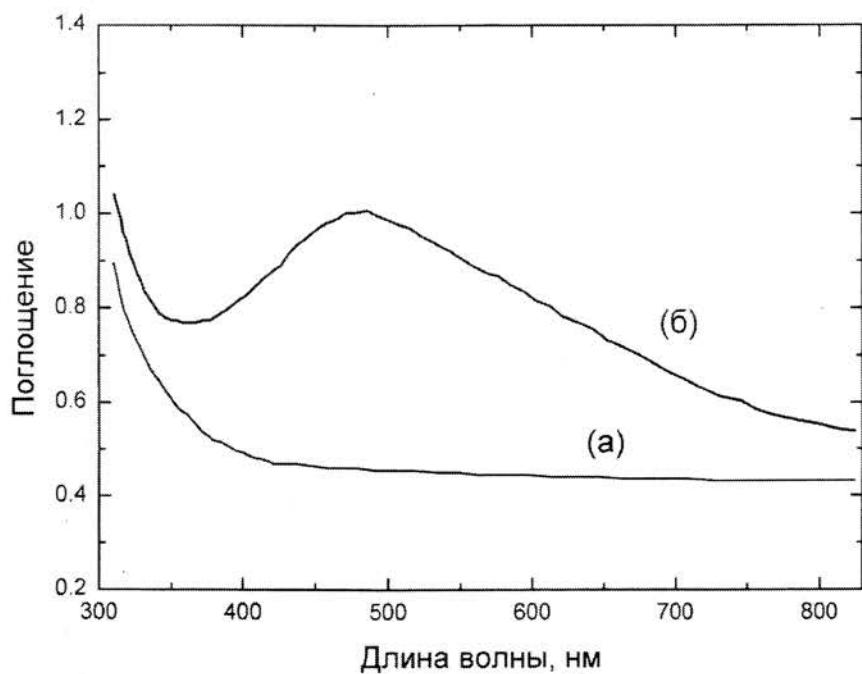
Фиг. 5



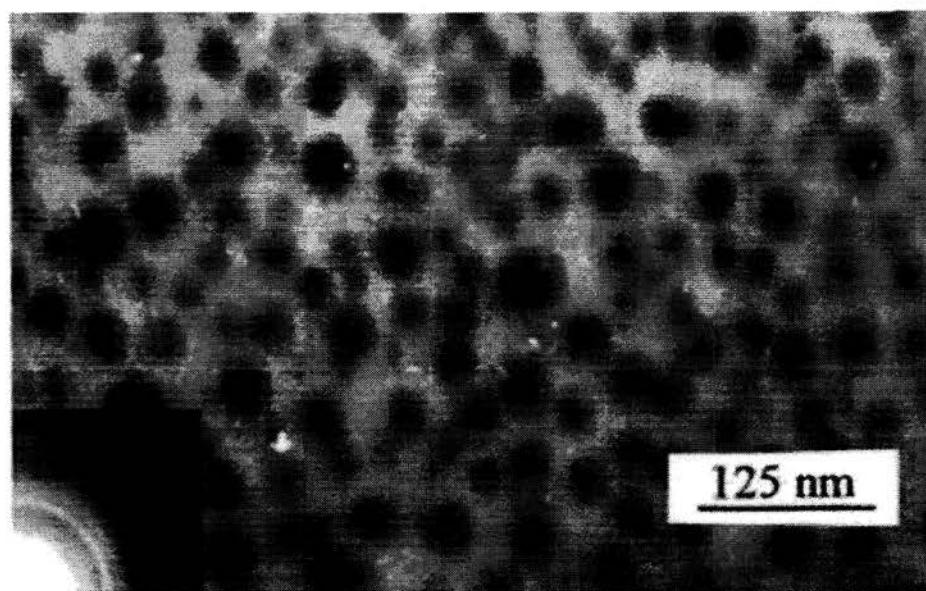
Фиг. 6



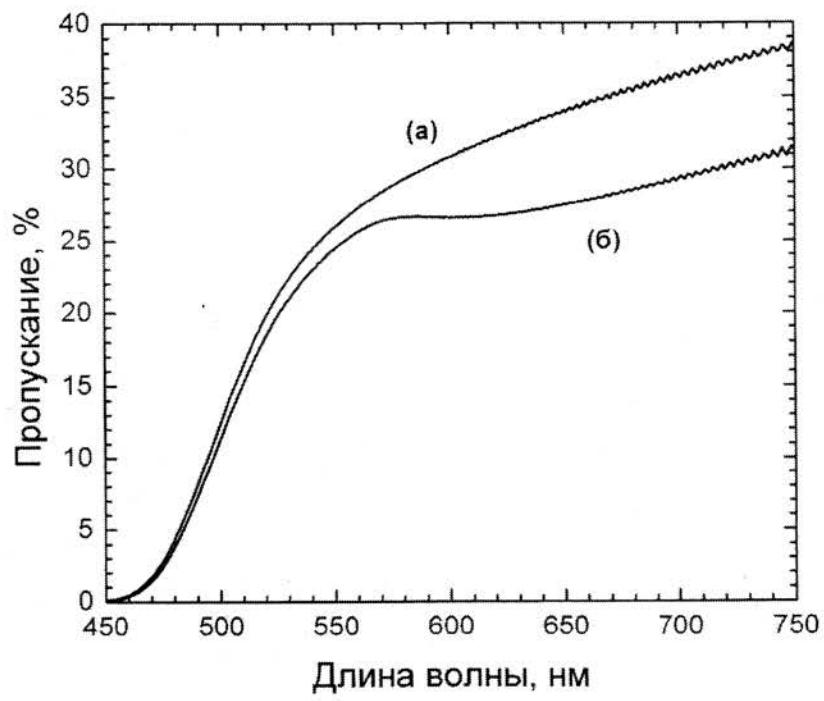
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10