

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2699310

### СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ К ГИГАНТСКОМУ КОМБИНАЦИОННОМУ РАССЕЯНИЮ ПОДЛОЖЕК НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, СОДЕРЖАЩЕГО НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА

Патентообладатель: *Степанов Андрей Львович (RU)*

Авторы: *Степанов Андрей Львович (RU), Воробьев Вячеслав Валерьевич (RU), Нуждин Владимир Иванович (RU), Валеев Валерий Фердинандович (RU), Осин Юрий Николаевич (RU)*

Заявка № 2018123431

Приоритет изобретения 27 июня 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 04 сентября 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 27 июня 2038 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01L 21/265 (2019.02); B82Y 40/00 (2019.02)

(21)(22) Заявка: 2018123431, 27.06.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.06.2018

Дата регистрации:  
04.09.2019

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 27.06.2018

(45) Опубликовано: 04.09.2019 Бюл. № 25

Адрес для переписки:  
420081, г. Казань, ул. Курская, 25, кв. 14,  
Степанову Андрею Львовичу

(72) Автор(ы):  
Степанов Андрей Львович (RU),  
Воробьев Вячеслав Валерьевич (RU),  
Нуждин Владимир Иванович (RU),  
Валеев Валерий Фердинандович (RU),  
Осин Юрий Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Степанов Андрей Львович (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: Бондаренко А.В. и др.  
Формирование металлических кластеров  
серебра на пористом кремнии для создания  
высокочувствительных к гигантскому  
комбинационному рассеянию структур. 4-ая  
Международная конференция. Материалы и  
структуры современной электроники. Минск.  
Беларусь. 2010, стр.50-53. RU 2547515 C1,  
10.04.2015. Козадев К.В. и др., Лазерное (см.  
прод.)

## (54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ К ГИГАНТСКОМУ КОМБИНАЦИОННОМУ РАССЕЯНИЮ ПОДЛОЖЕК НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, СОДЕРЖАЩЕГО НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА

(57) Реферат:

Изобретение относится к оптике, а именно к способам изготовления устройств, служащих для анализа химических веществ при использовании эффекта поверхностно-усиленного комбинационного рассеяния света молекулами, находящимися вблизи наноструктур из серебра, проявляющих плазмонный резонанс электронов проводимости, колебания которых создает локальное электромагнитное поле. Данные устройства предназначены для определения малых концентраций органического вещества при возбуждении его лучом лазера в видимом диапазоне и выполнены на основе подложек из пористого кремния с поверхностными наноструктурами из серебра. Способ изготовления чувствительных к гигантскому

комбинационному рассеянию света подложек с поверхностью из пористого кремния заключается в формировании заданной структуры на поверхности исходной пластины монокристаллического кремния, путем имплантации ионами серебра с энергией 4-120 кэВ, дозой облучения, обеспечивающей концентрацию вводимых атомов металла в облучаемом слое кремния  $1.0 \cdot 10^{19}$ - $6.5 \cdot 10^{23}$  атомов/ $\text{см}^3$ , и плотностью тока ионного пучка  $2 \cdot 10^{12}$ - $1 \cdot 10^{14}$  ион/ $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ . Техническим результатом изобретения является обеспечение возможности изготовления чувствительных к гигантскому комбинационному рассеянию света подложек с поверхностью из пористого кремния,

содержащего наночастицы серебра не химическим вакууме. 10 ил.  
способом и за один технологический цикл в

(56) (продолжение):

осаждение ГКР-активных наноструктур серебра на поверхности кремния. ЖПС. 2016, т.83, 5, стр. 736-741.  
RU 2537301 С2, 27.12.2014.

R U 2 6 9 9 3 1 0 C 1

R U 2 6 9 9 3 1 0 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H01L 21/265* (2006.01)  
*B82Y 40/00* (2011.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H01L 21/265 (2019.02); B82Y 40/00 (2019.02)*

(21)(22) Application: **2018123431, 27.06.2018**

(24) Effective date for property rights:  
**27.06.2018**

Registration date:  
**04.09.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **27.06.2018**

(45) Date of publication: **04.09.2019** Bull. № 25

Mail address:  
**420081, g. Kazan, ul. Kurskaya, 25, kv. 14,  
Stepanovu Andreyu Lvovichu**

(72) Inventor(s):

**Stepanov Andrej Lvovich (RU),  
Vorobev Vyacheslav Valerevich (RU),  
Nuzhdin Vladimir Ivanovich (RU),  
Valeev Valerij Ferdinandovich (RU),  
Osin Yuriy Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Stepanov Andrej Lvovich (RU)**

(54) **METHOD OF PRODUCING SENSITIVE TO GIANT RAMAN SCATTERING SUBSTRATES BASED ON POROUS SILICON, CONTAINING SILVER NANOPARTICLES**

(57) Abstract:

FIELD: optics.

SUBSTANCE: invention relates to optics and specifically to methods of making devices for analyzing chemical substances using the effect of surface-enhanced Raman light scattering by molecules located near silver nanostructures exhibiting plasmon resonance of conduction electrons whose oscillations generate a local electromagnetic field. These devices are designed to determine low concentrations of organic matter when excited by a laser beam in the visible range and are based on substrates of porous silicon with surface nanostructures of silver. Method of making substrates with surface of porous silicon which are sensitive to giant Raman scattering involves forming a given

structure on the surface of the initial monocrystalline silicon plate by implantation with silver ions with energy of 4–120 keV, radiation dose, providing concentration of the introduced metal atoms in the irradiated silicon layer  $1.0 \cdot 10^{19}$ – $6.5 \cdot 10^{23}$  atoms/cm<sup>3</sup>, and current density of ion beam  $2 \cdot 10^{12}$ – $1 \cdot 10^{14}$  ion/cm<sup>2</sup>sec.

EFFECT: enabling production of substrates having a surface of porous silicon which contains silver nanoparticles not chemically and per one process cycle in a vacuum, which are sensitive to giant Raman scattering.

1 cl, 10 dwg

Изобретение относится к оптике [1], а именно, к способам изготовления устройств, служащих для анализа химических веществ при использовании эффекта поверхностно-усиленного комбинационного рассеяния света молекулами, находящимися вблизи наноструктур (наночастиц) из серебра, проявляющих плазмонный резонанс электронов проводимости, колебания которых создает локальное электромагнитное поле. Данные устройства предназначены для определения малых концентраций органического вещества при возбуждении его лучом лазера в видимом диапазоне и выполнены на основе подложек из пористого кремния с поверхностными наноструктурами из серебра.

Удельная поверхность полированного кремния ограничивается значением  $0.1-0.3 \text{ м}^2/\text{см}^3$  тогда, как пористый кремний характеризуется большей суммарной площадью его внутренней поверхности, величина которой может возрастать до 3-4 порядков [2]. Подложки на основе пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, могут использоваться в различных областях науки и техники: молекулярная спектроскопия, биология, медицина, экология, криминалистическая экспертиза, полупроводниковая индустрия и других.

Известен способ [3] изготовления чувствительной к гигантскому комбинационному рассеянию подложки с наноструктурами серебра, выбранный в качестве первого аналога, который заключается в создании методом вакуумного термического напыления многослойной структуры из слоев серебра и диэлектрика, нанесенных на кремниевые пластины. Последовательность слоев включала: 1) экранирующий слой серебра 50 нм; 2) изолирующий слой оксида кремния толщиной 15 нм; 3) nanoостровковый слой из серебра с массовой толщиной 6 нм; 4) отделяющий слой диэлектрика оксида кремния переменной толщины в диапазоне 0-60 нм.

Недостатком способа по первому аналогу является то, что при изготовлении чувствительной к гигантскому комбинационному рассеянию подложки с наночастицами серебра требуется обязательное выполнение нескольких технологических операций, а именно, последовательные осаждения слоев диэлектрика и металла. Кроме того, используемая в данном способе пластина кремния, для создания подобной чувствительной к гигантскому комбинационному рассеянию подложки, носит пассивный характер и не содержит в своей структуре наночастиц серебра.

Известен способ [4] изготовления чувствительной к гигантскому комбинационному рассеянию подложки с наночастицами серебра, выбранный в качестве второго аналога, который заключается в создании методом атмосферного лазерного осаждения двумерного массива наночастиц серебра на плоской поверхности полированного кремния.

Недостатком способа по второму аналогу является то, что при изготовлении чувствительной к гигантскому комбинационному рассеянию подложки осаждение наночастиц серебра осуществляется на плоскую полированную поверхность кремния, а не на пористый кремний, обладающий большей суммарной площадью его внутренней поверхности.

Известен [5] способ изготовления чувствительной к гигантскому комбинационному рассеянию подложки с поверхностью из пористого кремния, содержащего наночастицы серебра. Для этого пористый кремний формируется электрохимическим анодированием кремниевых пластин, ориентированных в плоскости (100), в водно-спиртовом растворе фтористоводородной кислоты. После анодирования на поверхность пористого кремния иммерсионным методом проводится осаждение наночастиц серебра из водного раствора азотнокислого серебра.

Способ химического изготовления чувствительных к гигантскому комбинационному

рассеянию света подложек с поверхностью из пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, сочетающего в себе последовательные этапы анодирования и иммерсионного осаждения, является наиболее близким к заявляемому, и поэтому выбран в качестве прототипа.

5 Недостатки прототипа:

- используемый способ формирования чувствительной к гигантскому комбинационному рассеянию подложки для анализа химических веществ на основе пористого кремния, содержащего наночастицы серебра [5], позволяет создавать подложки только при использовании комбинации химических методов -  
10 электрохимического анодирования и иммерсионного осаждения в водном растворе, т.е. содержит несколько отдельных технологических этапов, что усложняет ее изготовление;

- подложка для анализа химических веществ на основе пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, изготавливается химическим способом [5] в  
15 растворах и поэтому, содержит в себе примеси и загрязнения продуктов химической реакции, что затрудняет ее применение совместно с устройствами микроэлектроники, создаваемыми вакуумной техникой.

Решаемая техническая задача в заявляемом способе заключается в обеспечении возможности изготовления чувствительных к гигантскому комбинационному рассеянию  
20 света подложек на основе пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, за один технологический цикл в вакууме.

Поставленная техническая задача в предлагаемом способе изготовления чувствительных к гигантскому комбинационному рассеянию света подложек с  
25 поверхностью из пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, заключающаяся в формировании заданной структуры на поверхности исходной пластины монокристаллического кремния, достигается тем, что формирование структуры осуществляют с помощью имплантации ионами серебра с энергией 4-120  
кэВ, дозой облучения, обеспечивающей концентрацию вводимых атомов металла в  
30 облучаемом слое кремния  $1.0 \cdot 10^{19}$ - $6.5 \cdot 10^{23}$  атомов/см<sup>3</sup>, и плотностью тока ионного пучка  $2 \cdot 10^{12}$ - $1 \cdot 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup>с.

На фиг. 1. Показано изображение, полученное на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) при малом увеличении, поверхности слоя пористого кремния,  
35 содержащего наночастицы серебра, сформированного имплантацией монокристаллического кремния ионами серебра.

На фиг. 2. Показано изображение, полученное на СЭМ при большом увеличении, поверхности слоя пористого кремния, содержащего наночастицы серебра,  
сформированного имплантацией монокристаллического кремния ионами серебра.

40 На фиг. 3. Показано СЭМ-изображение поверхности исходной пластины неимплантированного кремния.

На фиг. 4. Показано изображение, полученное на атомно-силовом микроскопе (АСМ) при малом увеличении, поверхности слоя пористого кремния, содержащего наночастицы  
серебра, сформированного имплантацией монокристаллического кремния ионами  
серебра.

45 На фиг. 5. Показано изображение, полученное на атомно-силовом микроскопе (АСМ) при большом увеличении, поверхности слоя пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, сформированного имплантацией монокристаллического кремния ионами серебра.

На фиг. 6. Показан профиль поперечного сечения отдельной поры кремния,

измеренного по направлению, обозначенному на фрагменте фиг. 5.

На фиг. 7. Показано изображение поперечного сечения, полученное на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) приповерхностного слоя пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, сформированного имплантацией монокристаллического кремния ионами серебра. На вставке приведена микродифракция от наночастиц серебра.

На фиг. 8. Показана гистограмма распределения наночастиц серебра в структуре пористого кремния, сформированного имплантацией монокристаллического кремния ионами серебра по данным фиг. 2.

На фиг. 9. Показаны спектры оптического отражения необлученного кремния (1) и пористого кремния, содержащего ионно-синтезированные наночастицы серебра (2).

На фиг. 10. Показан спектр комбинационного рассеяния для молекул красителя метилового оранжевого на пористом кремнии, содержащем наночастицы серебра, сформированном ионной имплантацией.

Рассмотрим осуществление предлагаемого способа на конкретном примере.

Рассмотрим способ изготовления чувствительных к гигантскому комбинационному рассеянию света подложек с поверхностью из пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, заключающийся в формировании заданной структуры на поверхности исходной пластины монокристаллического кремния. Формирование структуры осуществляют с помощью имплантации на ускорителе ИЛУ-3 ионами  $\text{Ag}^+$  с энергией  $E=30$  кэВ, дозой облучения  $D=1.5 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>, обеспечивающей концентрацию вводимых атомов металла в облучаемом слое кремния  $6.0 \cdot 10^{22}$  атомов/см<sup>3</sup>, плотностью тока ионного пучка  $J=7.5 \cdot 10^{12}$  ион/см<sup>2</sup>с.

Моделирование концентрационных профилей распределения имплантированного серебра с энергией 30 кэВ в кремний по глубине с помощью компьютерного алгоритма SRIM-2013 [6], показало, что в приповерхностном имплантированном слое кремния 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 структуры чувствительной к гигантскому комбинационному рассеянию света, для данных условий имплантации, не превышает 60 нм.

На фиг. 1 и 2 в различных масштабах приведены изображения поверхности кремния, имплантированного ионами серебра, наблюдаемые на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Merlin Zeiss. Как следует из приведенных СЭМ-изображений, морфология облученного кремния в отличие от исходной полированной пластины монокристаллического кремния (фиг. 3) характеризуется наличием ярко-выраженной пористой кремниевой структуры, содержащей наночастицы серебра, частично выступающие над поверхностью. При этом, сформированный имплантацией слой выглядит однородным на большой площади образца в десятки микрон (фиг. 1), что является важной характеристикой для технологических приложений (масштабируемость) [7]. Увеличение фрагмента поверхности (фиг. 2) позволяет оценить средний диаметр отверстий пор (черные области): ~150-180 нм и толщину стенок пор (светлые серые области): ~30-60 нм. Следует отметить, что формирование слоя пористого кремния происходит сразу же или одновременно с зарождением и ростом наночастиц серебра из ионов имплантируемой примеси. На фиг. 2 наночастицы серебра хорошо просматриваются в виде светлых пятен на стенках кремниевых пор.

Дополнительная информация, подтверждающая формирование слоя пористого

кремния, содержащего наночастицы серебра, при имплантации пластины монокристаллического кремния наблюдалась на атомно-силовом микроскопе (АСМ) Dimension FastScan Bruker. На фиг. 4 и 5 приведены в различных масштабах АСМ-изображения фрагмента поверхности пластины пористого кремния, которые выглядят типичными при данном методе наблюдения для пористых кремниевых структур, синтезированных электрохимическими способами [7]. На фиг. 6, представлен профиль сечения поверхности отдельной поры, измеренный вдоль направления по отрезку, указанному на фиг. 5, позволяющий оценить глубину пор: ~40-50 нм. Таким образом, из АСМ также можно заключить, что в результате имплантации кремния ионами серебра формируется слой пористого кремния, содержащего наночастицы серебра. Светлые сферические пятна, наблюдаемые на поверхности, соответствуют ионно-синтезированным наночастицам серебра (фиг. 4 и 5).

На фиг. 7 показано изображение, полученное на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) JEM-2100 (JEOL) приповерхностного слоя пористого кремния, содержащего наночастицы Ag, сформированного имплантацией пластины монокристаллического кремния ионами серебра. На выбранном локальном участке размеры частиц варьируются от 5 до 15 нм. На вставке фиг. 7 приведена микродифракция от наночастиц серебра, которая соответствует гранецентрированной кристаллической фазе наночастиц с их различной пространственной ориентацией в слое пористого кремния.

На фиг. 8. Показана гистограмма распределения наночастиц серебра в структуре пористого кремния, сформированного имплантацией пластины монокристаллического кремния ионами серебра по данным СЭМ-изображения, приведенного на фиг. 2. Средний размер наночастиц оценивается величиной порядка 5-15 нм.

На фиг. 9. приведены экспериментальные спектры линейного оптического отражения для поверхностей исходной пластины монокристаллического кремния, а также пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, полученного имплантацией ионами серебра монокристаллического кремния, измеренные на спектрометре AvaSpec-2048 (Avantes). В отличие от исходной матрицы кремния фиг. 9 (1), сформированный имплантацией ионами серебра слой фиг. 9 (2) характеризуется наличием в видимой области спектра селективной полосы поглощения с максимумом ~850 нм. Данная полоса указывает на формирование в кремниевой матрице наночастиц серебра, и она обусловлена проявлением эффекта поверхностного плазмонного резонанса в металлических наночастицах [8].

Тестирование сформированной по предлагаемому способу изготовления чувствительной к гигантскому комбинационному рассеянию света подложки с поверхностью из пористого кремния, содержащего наночастицы серебра проводилось при использовании раствора красителя метилового оранжевого (МО) в бидистиллированной воде при концентрации 10 мМ. Капля (100 мкл) раствора МО наносилась на поверхность слоя пористого кремния, содержащего наночастицы серебра. Высота капли, оцениваемая в оптическом микроскопе, составляла порядка 0.5 мм, а ее площадь на образце ~0,78 мм<sup>2</sup>. Регистрация спектров комбинационного рассеяния красителя в присутствии наночастиц серебра проводилась при фокусировке лазерного излучения на границу раздела капля - подложка.

Спектр комбинационного рассеяния МО был измерен на конфокальном микроскопе DXR Raman Microscope (ThermoFisher Scientific). В качестве источника возбуждения КР сигнала использовался непрерывный диодный лазер, генерирующий излучение на длине волны 780 нм с максимальной мощностью 10 мВт. Диапазон измерений составлял 450-



1700  $\text{см}^{-1}$ , а спектральное и конфокальное разрешения микроскопа 3  $\text{см}^{-1}$  и 5  $\mu\text{м}$ , соответственно. Латеральное разрешение микроскопа было равно 2  $\mu\text{м}$ .

На фиг. 10. показан спектр комбинационного рассеяния света для молекул МО на пористом кремнии, содержащем наночастицы серебра, сформированном ионной имплантацией. На приведенной спектральной зависимости присутствует узкая линия на частотах 1118, 1150, 1200, 1316, 1366, 1392, 1421, 1446 и 1592  $\text{см}^{-1}$ , соответствующих колебаниям молекул МО, известным из литературы [9]. Спектр комбинационного рассеяния был нормирован на интенсивность фонной линии монокристаллического кремния, регистрируемой на частоте 520  $\text{см}^{-1}$ . Для той же используемой мощности лазерного излучения 10 мВт сигнала комбинационного рассеяния света для того же количества МО, осажденного на исходную гладкую пластину кремния, обнаружено не было. Данное обстоятельство указывает способность усиливать сигнал комбинационного рассеяния МО подложкой с поверхностью из пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, изготовленной по предлагаемому способу.

При изготовлении чувствительных к гигантскому комбинационному рассеянию света подложек с поверхностью из пористого кремния, содержащего наночастицы серебра режимы ионной имплантации по параметрам имеют следующие ограничения,  $E=4-120$  кэВ,  $D$  - должна обеспечивать концентрацию вводимых атомов металла в облучаемой подложке кремния  $1.0 \cdot 10^{19}-6.8 \cdot 10^{23}$  атомов/ $\text{см}^3$ , плотность тока ионного пучка  $J=2 \cdot 10^{12}-1 \cdot 10^{14}$  ион/ $\text{см}^2\text{с}$ . За границами этих режимов не достигается необходимый технический результат, и качество изготовленной чувствительной к гигантскому комбинационному рассеянию света подложки с поверхностью из пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, не будет соответствовать необходимым требованиям.

Доза облучения определяется количеством атомов серебра, необходимого для образования серебряных наночастиц, формирование которых в облучаемой матрице сопровождается процессом порообразования в кремнии. Это условие, согласно нашим исследованиям зависимости появления пор на поверхности облучаемого слоя кремния от дозы имплантации, выполняется при концентрациях вводимых атомов металла  $1.0 \cdot 10^{19}$  атомов/ $\text{см}^3$ . При этом количество внедренной примеси не должно превышать той дозы, при которой начнется слипание растущих металлосодержащих наночастиц, приводящее к образованию сплошной металлосодержащей пленки, и по нашим оценкам составляет не более  $6.8 \cdot 10^{23}$  атомов/ $\text{см}^3$ .

Плотность тока в ионном пучке  $J$  определяет, с одной стороны, время набора дозы имплантации, а с другой стороны скорость нагрева облучаемого материала.

Экспериментально установлено, что при превышении плотности ионного тока  $J=1 \cdot 10^{14}$  ион/ $\text{см}^2\text{с}$  разогрев локального поверхностного слоя кремния, приводящего к его плавлению, происходит настолько быстро, что формирование пор не происходит. Облучение с малой плотностью ионного тока нецелесообразно увеличивает время имплантации. Поэтому, минимальная плотность ионного тока ограничена величиной  $J=2 \cdot 10^{12}$  ион/ $\text{см}^2\text{с}$ .

Энергия иона  $E$  обуславливает величину его среднего проекционного пробега, которое определяет глубину залегания имплантированного иона, а следовательно, толщину модифицированного слоя. Сверху энергия ускорения иона ограничена величиной  $E=120$  кэВ, поскольку при увеличении данной энергии происходит столь

глубокое проникновение имплантированных ионов серебра, что зарождение слоя кремния, содержащего наночастицы серебра, будет происходить не вблизи поверхности исходной облучаемой пластины кремния, а в ее глубине. Ограничение снизу величиной  $E=4$  кэВ, связано с тем, что при дальнейшем уменьшении  $E$  не удастся получить

5 достаточно крупные элементы структуры кремния, чтобы характеризовать их как поры, а наблюдается лишь распыление его поверхностного слоя [9].

По сравнению с прототипом предлагаемый способ позволяет изготавливать чувствительные к гигантскому комбинационному рассеянию света подложки с поверхностью из пористого кремния, содержащего наночастицы серебра не химическим

10 способом и за один технологический цикл в вакууме.

Список цитируемой литературы

1. Ченга Р., Фуртака Т. Гигантское комбинационное рассеяние света. Ред. Агранович А.М. М.: Мир 1984.

2. Зимин С.П. Пористый кремний - материал с новыми свойствами. Сорский образовательный журнал. 2004. Т. 8. №1. С. 101-107.

15

3. Кукушкин В.И., Ваньков А.Б., Кукушкин И.В. К вопросу о дальнодействии поверхностно-усиленного рамановского рассеяния. Письма ЖЭТФ. 2013. Т. 98. вып. 2. С. 72-77.

4. Козадев К.В., Леончик С.В., Новиков А.Г., Зинчук О.В., Баран Л.В. Лазерное осаждение ГКР-активных наноструктур серебра на поверхности кремния. ЖПС 2016. Т. 83. №5. С. 736-741.

20

5. Бондаренко А.В., Холостов К.И., Панарин А.Ю., Терехов С.Н. Формирование металлических кластеров серебра на пористом кремнии для создания высокочувствительных к гигантскому комбинационному рассеянию структур. 4-ая

25 Международная научная конференция. Материалы и структуры современной электроники. Минск, Беларусь. С. 50-53.

6. Ziegel J.F., Biersak J.P., Littmark U. The stopping and range of ions in solids. N.Y.: Pergamon, 1996.

7. Ищенко А.А., Фетисов Г.В., Асланов Л.А.: Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля. М.: Физматлит, 2011. 573 с.

30

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

9. Герасименко Н., Пархоменко Ю. Кремний - материал наноэлектронике. М.: Техносфера, 2007. 276 с.

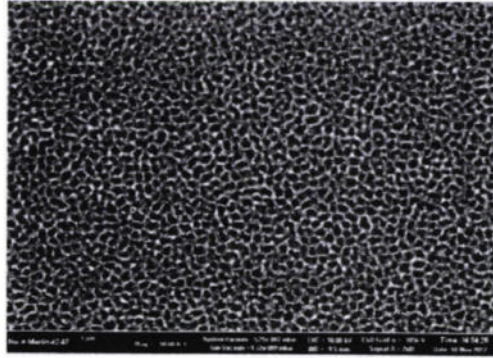
35 (57) Формула изобретения

Способ изготовления чувствительных к гигантскому комбинационному рассеянию света подложек с поверхностью из пористого кремния, содержащего наночастицы серебра, заключающийся в формировании заданной структуры на поверхности исходной пластины монокристаллического кремния, отличающийся тем, что формирование

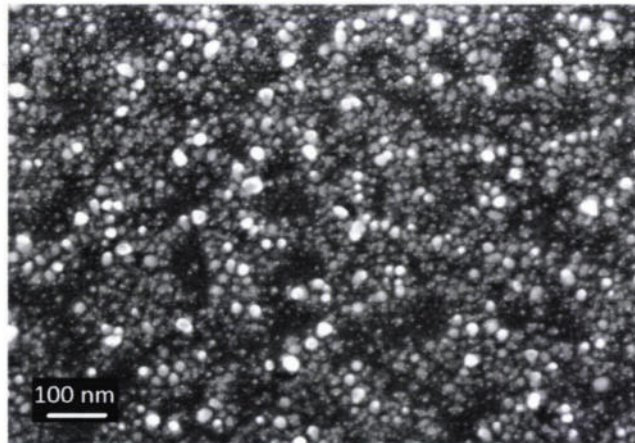
40 структуры осуществляют с помощью имплантации ионами серебра с энергией 4-120 кэВ, дозой облучения, обеспечивающей концентрацию вводимых атомов металла в облучаемом слое кремния  $1.0 \cdot 10^{19}$ - $6.5 \cdot 10^{23}$  атомов/см<sup>3</sup>, и плотностью тока ионного пучка  $2 \cdot 10^{12}$ - $1 \cdot 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup>с.

45

1

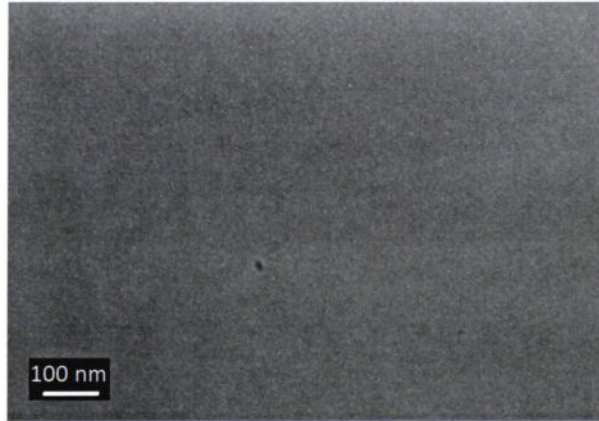


Фиг. 1

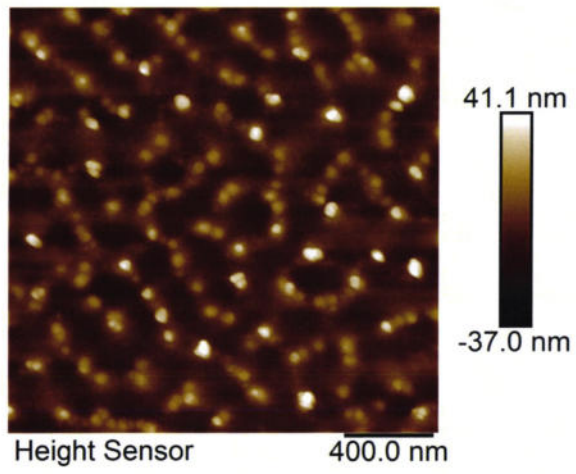


Фиг. 2

2

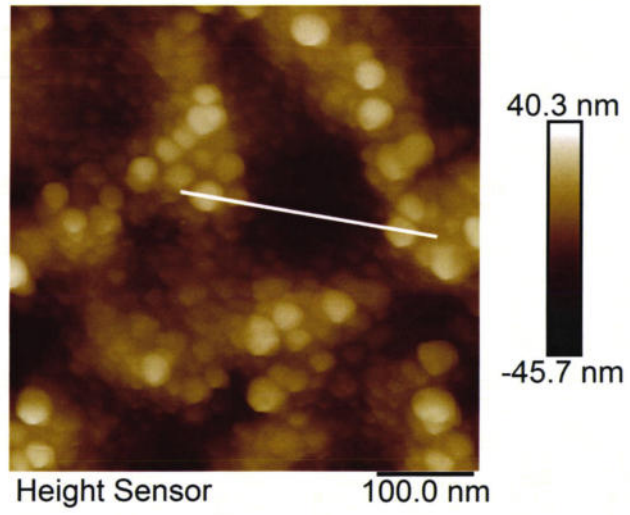


Фиг. 3

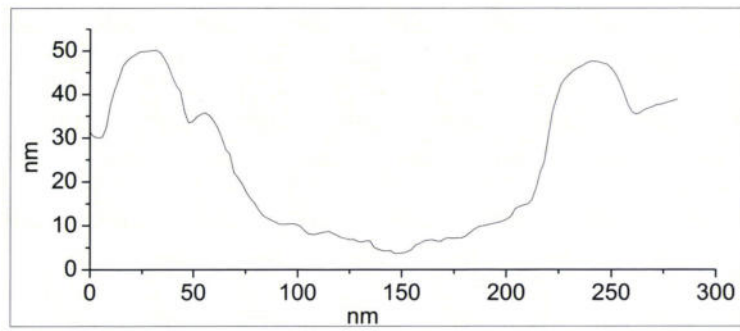


Фиг. 4

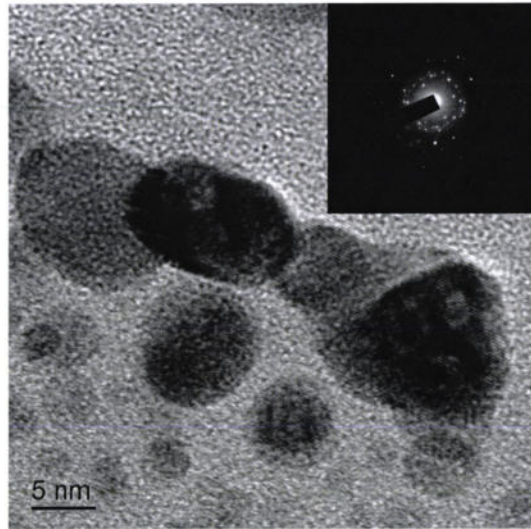




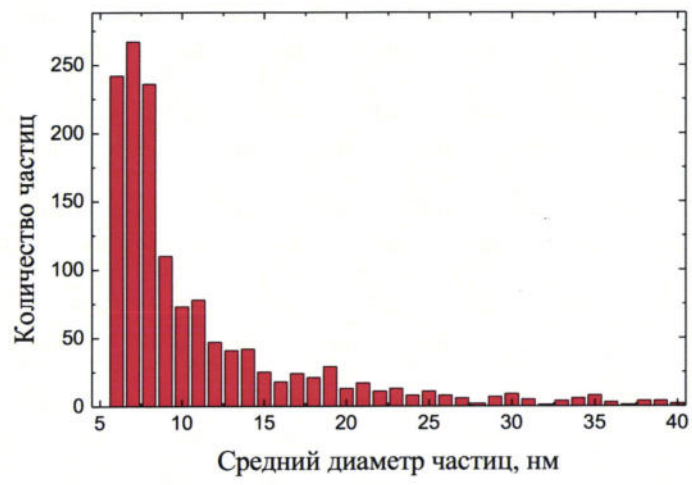
Фиг. 5



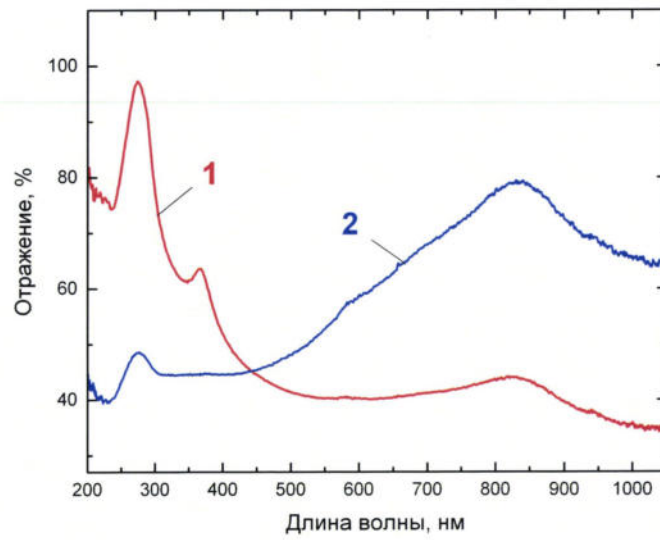
Фиг. 6



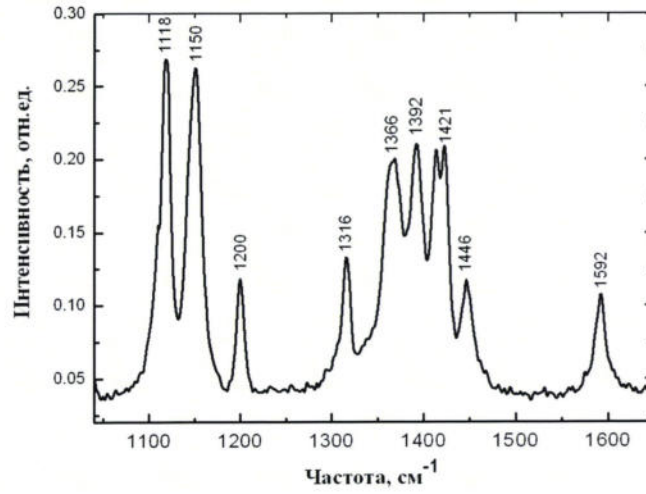
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10