



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2015118438/28, 18.05.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.05.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.05.2015

(45) Опубликовано: 20.09.2016 Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: WO 2006025760A2, 09.03.2006;RU 2488910C1, 27.07.2013;RU 2350996C1, 27.03.2009. Гольденберг Борис Григорьевич, Создание LIGA-технологического комплекса на источнике синхротронного излучения ВЭПП-3, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Новосибирск, 2011;RU 2450384C1, 10.05.2012;JP 2005175406A, 30.06.2005.

Адрес для переписки:

308015, обл. Белгородская, г. Белгород, ул. Победы, 85, НИУ "БелГУ", Цурикова Н.Д.

(72) Автор(ы):

Кубанкин Александр Сергеевич (RU),  
Олейник Андрей Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

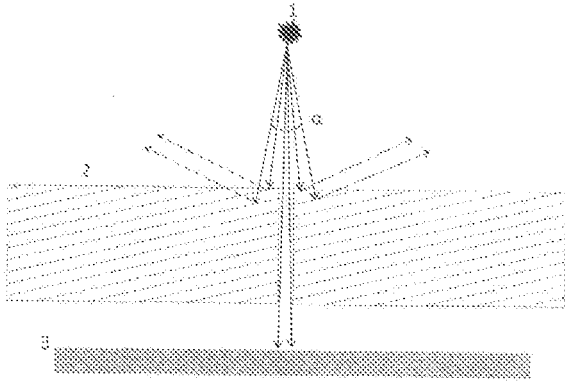
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный национальный исследовательский университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

**(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТРАСТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

(57) Реферат:

Использование: для формирования контрастного изображения рентгеновского излучения. Сущность изобретения заключается в том, что используют шаблон, который освещают рентгеновским излучением по нормали для получения контрастного рентгеновского изображения, при этом в качестве шаблона используют монокристаллическую поверхность с необходимой топологией микроотверстий, через которые проходит монохроматическое рентгеновское излучение, приобретая форму распределения контрастного изображения, согласованную с топологией микроотверстий, которое далее облучает обрабатываемую поверхность, а рентгеновское излучение, попадающее на монокристаллическую поверхность рентгеношаблона, отражается от нее под брэгговским углом, кроме того,

рентгеновское излучение может направляться под необходимым углом с изменением энергии излучения для выполнения условия Брэгга. Технический результат: обеспечение возможности формирования контрастного изображения монохроматического рентгеновского излучения для получения поверхностных структур дифракционных элементов без влияния деформационных искажений рентгеношаблона. 2 ил.



Фиг. 1

R U 2 5 9 8 1 5 3 C 1

R U 2 5 9 8 1 5 3 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015118438/28, 18.05.2015

(24) Effective date for property rights:  
18.05.2015

Priority:

(22) Date of filing: 18.05.2015

(45) Date of publication: 20.09.2016 Bull. № 26

Mail address:

308015, obl. Belgorodskaya, g. Belgorod, ul. Pobedy,  
85, NIU "BelGU", Tsurikova N.D.

(72) Inventor(s):

**Kubankin Aleksandr Sergeevich (RU),  
Olejnuk Andrej Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj  
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU  
"BelGU") (RU)**

(54) **METHOD OF FORMING CONTRAST X-RAY IMAGE**

(57) Abstract:

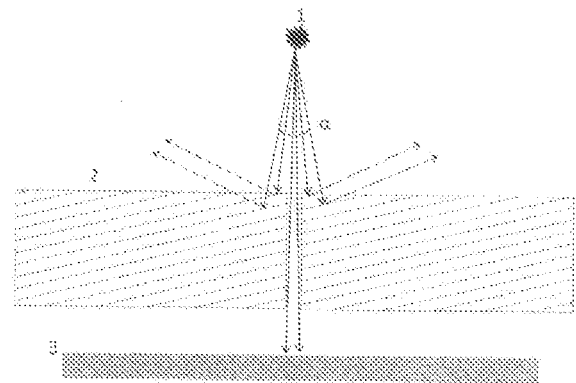
FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention summary consists in fact that template is used, which is illuminated with x-rays in normal to obtain contrast x-ray image, wherein template used is monocrystalline surface with required topology of micro holes, through which monochromatic image x-rays, assuming shape distribution of contrast image, coupled with topology of micro holes, which then irradiates treated surface, and x-ray radiation incident on a monocrystalline surface of x-ray template is reflected from it under Bragg angle. Besides, x-ray radiation may be directed at required angle with variation of radiation energy to meet Bragg conditions.

EFFECT: enabling generation of contrast image of monochromatic x-ray radiation for producing surface structures of diffraction elements without affecting

deformation distortions x-ray template.

1 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2 598 153 C1

RU 2 598 153 C1

Изобретение относится к способу формирования поверхностной структуры различных материалов через воздействие на материал рентгеновским излучением и может применяться для производства поверхностных дифракционных элементов всевозможных оптических систем.

5 Проблема формирования контрастного рентгеновского изображения на фоторезисте при изготовлении поверхностных дифракционных структур является актуальной. Можно выделить два основных подхода - формирование изображения остросфокусированным рентгеновским лучом, например, (WO №2002086476 АЗ, опубл. 06.02.2003), и при помощи шаблона. Поскольку сфокусировать рентгеновский луч до  
10 размеров порядка 10 нм достаточно сложно, то основным подходом остается использование шаблонов.

Основными характеристиками шаблона являются ширина щели и толщина шаблона. Очевидно, что при формировании изображения с периодом порядка 10 нм необходимо использовать шаблон с шириной щели такого же порядка при нормальном  
15 взаимодействии излучения с шаблоном.

Ниже приведены определения терминов, которые использованы в описании этого изобретения.

Шаблон (рентгеношаблон) - структура, позволяющая получать при ее облучении рентгеновским излучением специфический характер пространственного распределения  
20 излучения.

Энергия монохроматического падающего излучения определяется условием Брэгга:  
$$2d \sin \alpha = n\lambda \quad (1)$$

где d - расстояние между кристаллографическими плоскостями в монокристаллическом шаблоне,  $\alpha$  - угол падения первичного пучка,  $\lambda$  - длина волны  
25 первичного излучения.

Брэгговский угол (угол Брэгга) - угол отражения рентгеновских лучей от кристаллографической плоскости при выполнении условия (1).

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому изобретению является шаблон или маска для рентгеновской литографии (US №4035522А, опубл. 12.07.1977).  
30 На поверхность подложки (например, полиметилметакрилат) наносится тонкий слой металла (Al), причем этот слой и подложка прозрачны для рентгеновских лучей. Подвергая определенные области тонкого металлического слоя облучению электронным пучком, на шаблоне происходит частичное удаление металлического слоя на облучаемых участках. На данные участки наносятся гальваническим методом абсорбенты падающего  
35 и вторичного рентгеновского излучения (как правило, это металлы с большим атомным номером, например, Au). Таким образом, проходящее через шаблон рентгеновское излучение имеет определенную пространственную структуру, и может использоваться далее для обработки поверхностей.

40 Принцип действия вышеприведенного устройства основан на явлении поглощения рентгеновского излучения различными структурами с высоким атомным номером. Недостатком подобных устройств является влияние эффекта фотопоглощения, что приводит к накоплению дозы рентгеновского излучения в шаблоне и формированию деформаций в поглощающей структуре, что в результате приводит к искажению получаемого пространственного распределения рентгеновского излучения. Типичная  
45 длина фотопоглощения для рентгеновского диапазона составляет величину порядка 1-10 мкм, следовательно, необходимы структуры именно с такой толщиной.

Избежать негативных эффектов при создании рентгеновского изображения возможно, используя в качестве шаблона монокристалл, при этом, формирование изображения

будет происходить монохроматическим рентгеновским излучением, что технологически осуществить вполне возможно.

Задачей, на решение которой направлено изобретение, является создание способа формирования контрастного изображения монохроматического рентгеновского излучения для получения поверхностных структур дифракционных элементов, без влияния деформационных искажений рентгеношаблона.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого способа, заключающегося в использовании шаблона, освещаемого рентгеновским излучением по нормали для получения контрастного рентгеновского изображения, причем, в качестве шаблона используют монокристаллическую поверхность с необходимой топологией микроотверстий, через которые проходит монохроматическое рентгеновское излучение, приобретая форму распределения контрастного изображения, согласованную с топологией микроотверстий, которое далее облучает обрабатываемую поверхность, а рентгеновское излучение, попадающее на монокристаллическую поверхность рентгеношаблона, отражается от нее под брэгговским углом, кроме того, рентгеновское излучение может направляться под необходимым углом с изменением энергии излучения для выполнения условия Брэгга.

Указанная совокупность признаков способствует решению поставленной задачи таким образом, что при облучении шаблона монохроматическое рентгеновское излучение беспрепятственно проходит через сформированную систему микроотверстий и отражается на остальной части шаблона за счет брэгговского отражения, что позволяет получать наиболее контрастное изображение.

Технический результат - формирование контрастного распределения рентгеновского излучения требуемой формы для воздействия на обрабатываемую поверхность с возможностью изменения контрастности и геометрии получаемого изображения.

Использовать рентгеношаблон в таком режиме в других способах не представляется возможным, поскольку из-за эффекта фотопоглощения контрастность исчезает.

Изобретение поясняется чертежами.

Фиг. 1. Схема получения контрастного изображения.

Фиг. 2. Различные режимы работы, предлагаемого способа.

Предлагаемый способ формирования контрастного изображения рентгеновского излучения реализуется рентгеношаблоном 2, схематично обозначенным на Фиг. 1.

Рентгеношаблон 1 представляет собой выращенный монокристалл или монокристаллическую пленку (например, кремния, германия, арсенида галлия) с определенной топологией отверстий и толщиной, зависящей от конкретной решаемой задачи.

Выращивание тонкого монокристалла или монокристаллической пленки может происходить известными методами, например методами катодного распыления, молекулярно-лучевой эпитаксии, газофазной эпитаксии.

Формирование сетки отверстий может проводиться также известными методами. Например, путем нанесения на подложку, на которой будет выращиваться пленка, микросфер, содержащих поли-N-изопропиламид, что способствует росту пленки с отверстиями в местах содержания микросфер (US №20120028029 A1, опубл. 02.02.2012). Или, например, нанесением фоторезиста на поверхность пленки, с атомами которого атомы пленки имеют большую силу сцепления, чем с атомами подложки, и длительным экспонированием резиста ионным или электронным пучком, с последующим химическим травлением оставшихся участков.

Монокристаллическая поверхность, которая используется в способе в качестве

шаблона, должна быть сориентирована в геометрии, соответствующей брэгговскому рассеянию используемого в качестве засветки первичного излучения. В данном случае, формирование распределения проходящего рентгеновского излучения будет происходить более контрастно, чем при использовании обычного поглощающего шаблона, поскольку излучение будет рассеиваться на длине экстинкции, имеющей порядок величины 10 нм (механизмом ослабления излучения являются процессы когерентного рассеяния), а не на длине фотопоглощения. Таким образом, возможно, использовать рентгеношаблоны толщиной порядка десятка нм и более. Шаблон может располагаться непосредственно над облучаемой поверхностью либо на типичных держателях шаблона.

На Фиг. 1 представлена принципиальная схема получения контрастного изображения. Монохроматический источник 1 рентгеновского излучения облучает поверхность шаблона 2, имеющего определенную кристаллографическую ориентацию. Угол расходимости  $\alpha$  первичного потока излучения должен составлять величину порядка мозаичности кристаллического вещества рентгеношаблона, типичная величина которой порядка 0.1-1 мрад, что является вполне достижимой величиной. Это необходимо для выполнения условия брэгговского отражения рентгеновского излучения от шаблона.

Таким образом, первичное монохроматическое рентгеновское излучение от источника 1, попадающее в зону отверстия на шаблоне 2, беспрепятственно проходит через него, и сформированное контрастное рентгеновское изображение попадает на облучаемую поверхность 3. Монохроматическое рентгеновское излучение попадающее на шаблон 2, отражается из-за условия Брэгга от кристаллографических плоскостей шаблона 2 назад.

Энергия монохроматического падающего излучения определяется условием Брэгга:

$$2d \sin \alpha = n\lambda \quad (1)$$

где  $d$  - расстояние между кристаллографическими плоскостями в монокристаллическом шаблоне,  $\alpha$  - угол падения первичного пучка,  $\lambda$  - длина волны первичного излучения.

Существенным отличием данного способа формирования изображения является возможность регулировать контрастность и размер формируемой структуры. В известных способах получения рентгеновского изображения с помощью рентгеношаблонов, основанных на эффекте фотопоглощения, возможна только малая регулировка контраста изображения, за счет изменения энергии падающего излучения.

В предлагаемом способе излучение может падать на шаблон нормально или под некоторым углом, в зависимости от поставленной задачи. Поскольку типичная величина длины экстинкции (длина, на которой излучение когерентно рассеивается вследствие брэгговской дифракции) более чем на порядок меньше длины фотопоглощения, то излучение, попадающее через стенки отверстия в шаблон, также отражается под брэгговским углом в определенном энергетическом диапазоне. Причем возможность реализации падения рентгеновского излучения под углом к шаблону позволит формировать контрастную засветку активного вещества формируемой структуры в наномасштабах при ширине щели, существенно превышающей размеры формируемой структуры. При этом необходимо также менять энергию падающего излучения, для реализации брэгговского отражения, что является возможным, учитывая современный уровень техники.

Отличие режима работы рентгеношаблона при падении излучения под углом показано на Фиг. 2, обозначения взяты с Фиг. 1. Изменение угла падения ведет к уменьшению площади засветки, с пропорциональным уменьшением контрастности изображения.

Пример 1 конкретного использования.

При облучении первичным монохроматическим рентгеновским излучением из источника 1 с энергией 4 кэВ под углом  $30^\circ$  рентгеношаблона 2, представляющего собой равномерно перфорированный монокристалл кремния с ориентацией (111), толщиной 20 нм, с периодом расположения отверстий 200 нм, диаметром отверстий 10 нм, получается пространственное распределение рентгеновского излучения с энергией 4 кэВ, с характерным диаметром регулярной засветки около 5 нм. Полученное изображение дальше экспонируется на обрабатываемую структуру - облучаемую поверхность 3 для получения необходимого характера поверхности, в рамках конкретной задачи. При этом остальное излучение будет отражаться под углом брэгговского рассеяния  $30^\circ$  от поверхности шаблона 2 (если кристаллографическая ориентация параллельна поверхности шаблона).

Для того же шаблона из кристалла кремния с той же ориентацией (111) и при угле падения излучения  $34^\circ$  и его энергии 3.5 кэВ на рентгеношаблон той же геометрии, получается пространственное распределение рентгеновского излучения с энергией 3.5 кэВ, с характерным диаметром регулярной засветки около 2 нм.

#### Пример 2.

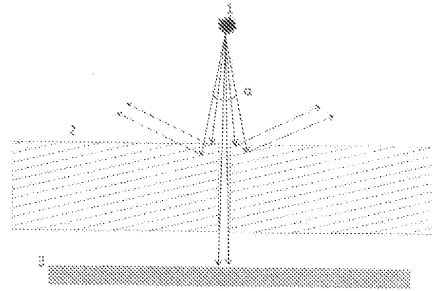
Рентгеношаблон - это монокристаллическая пленка германия с ориентацией (220) толщиной 100 нм, с рядом отверстий диаметром 25 нм, с расстоянием между отверстиями 250 нм, нанесенная на обрабатываемую поверхность. Падающее излучение с энергией 3.1 кэВ освещает рентгеношаблон по нормали, тогда на обрабатываемой поверхности будет экспонироваться изображение, в точности повторяющее топологию шаблона. Изменение угла падения на 7 градусов приведет к необходимости изменения энергии падающего излучения до 3.2 кэВ, при этом размер отверстия в изображении на шаблоне уменьшится до 19 нм.

Предлагаемый способ формирования контрастного изображения рентгеновского излучения может использоваться при создании дифракционных оптических элементов, электронных микросхем, систем записи и защиты информации (например, чипы банковских карт), где необходим поверхностный рельеф нанометрового масштаба.

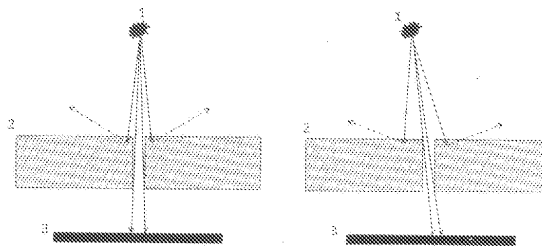
#### Формула изобретения

Способ формирования контрастного изображения рентгеновского излучения, включающий использование шаблона, который освещают рентгеновским излучением по нормали для получения контрастного рентгеновского изображения, отличающийся тем, что в качестве шаблона используют монокристаллическую поверхность с необходимой топологией микроотверстий, через которые проходит монохроматическое рентгеновское излучение, приобретая форму распределения контрастного изображения, согласованную с топологией микроотверстий, которое далее облучает обрабатываемую поверхность, а рентгеновское излучение, попадающее на монокристаллическую поверхность рентгеношаблона, отражается от нее под брэгговским углом, кроме того, рентгеновское излучение может направляться под необходимым углом с изменением энергии излучения для выполнения условия Брэгга.

Способ формирования контрастного  
изображения рентгеновского излучения



Фиг. 1



Фиг. 2