

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2546989

### РЕНТГЕНОШАБЛОН И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН (ИЯФ СО РАН) (RU)*

Автор(ы): *Генцелев Александр Николаевич (RU)*

Заявка № 2013136230

Приоритет изобретения **01 августа 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **05 марта 2015 г.**

Срок действия патента истекает **01 августа 2033 г.**

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

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

(21)(22) Заявка: 2013136230/28, 01.08.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
01.08.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.08.2013

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2015 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2469369 C2, 10.12.2012; . RU  
2488910 C1, 27.07.2013; . EP 2315077 A1,  
27.04.2011; . US 6875544 B1, 05.04.2005.

Адрес для переписки:

630090, г.Новосибирск, пр. Академика  
Лаврентьева, 11, ИЯФ СО РАН, ОНИО

(72) Автор(ы):

Генцелев Александр Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт ядерной физики  
им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН  
(ИЯФ СО РАН) (RU)

(54) **РЕНТГЕНОШАБЛОН И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

(57) Формула изобретения

1. Рентгеношаблон, содержащий опорное кольцо, прикрепленную к нему несущую мембрану со сформированным на ее рабочей поверхности топологическим рентгенопоглощающим рисунком, отличающийся тем, что опорное кольцо содержит участок «плавного перехода», выполненный из того же материала, что и опорное кольцо, и примыкающий к внутренней боковой стенке опорного кольца и несущей мембране.

2. Способ изготовления рентгеношаблона, включающий в себя процессы создания на высокого класса чистоты рабочей поверхности исходной подложки тонкой неорганической пленки (в последующем выполняющей роль несущей мембраны шаблона), формирования поверх нее резистивной маски и через маску металлического маскирующего слоя, изготовления опорного кольца из исходной подложки, отличающийся тем, что исходную подложку выполняют в виде цельнометаллической шайбы переменного сечения с участком «плавного перехода» и тонкой центральной частью, которую удаляют химическим травлением на финальной стадии изготовления рентгеношаблона.

3. Рентгеношаблон по п.1, отличающийся тем, что на рабочей поверхности несущей мембраны непосредственно в области проекции внутреннего края опорного кольца располагается по обе стороны проекции (т.е. перекрывающий ее) упрочняющий кольцеобразный элемент в виде элемента маскирующего слоя.

4. Рентгеношаблон по п.3, отличающийся тем, что упрочняющий кольцеобразный элемент выполнен из резиста.

5. Рентгеношаблон по п.1, отличающийся тем, что материалы опорного кольца, несущей мембраны и маскирующего слоя подбираются с близкими значениями соответствующих коэффициентов линейного теплового расширения (КТР).

R U 2 5 4 6 9 8 9 C 2



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013136230/28, 01.08.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
01.08.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.08.2013

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2015 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2469369 C2, 10.12.2012; . RU  
2488910 C1, 27.07.2013; . EP 2315077 A1,  
27.04.2011; . US 6875544 B1, 05.04.2005.

Адрес для переписки:

630090, г.Новосибирск, пр. Академика  
Лаврентьева, 11, ИЯФ СО РАН, ОНИО

(72) Автор(ы):

Генцелев Александр Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

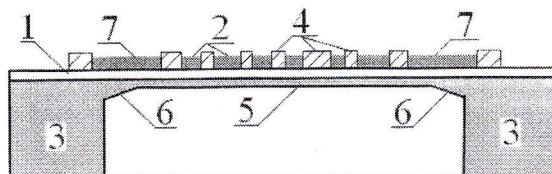
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт ядерной физики  
им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН  
(ИЯФ СО РАН) (RU)

## (54) РЕНТГЕНОШАБЛОН И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к конструкции и способу изготовления рентгеношаблонов, преимущественно для «мягкой» рентгенолитографии (где основная часть экспонирующего излучения находится в спектральном диапазоне -  $\lambda \approx 2,5 \div 9$  Å). Рентгеношаблон содержит опорное кольцо, прикрепленную к нему несущую мембрану со сформированным на ее рабочей поверхности

топологическим рентгенопоглощающим рисунком, при этом опорное кольцо содержит участок «плавного перехода», выполненный из того же материала, что и опорное кольцо, и примыкающий к внутренней боковой стенке опорного кольца и несущей мембране. Технический результат - повышение сохранности несущей мембраны. 2 н. и 3 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 3



Предлагаемое изобретение относится к конструкции и способу изготовления рентгеношаблонов, преимущественно для «мягкой» рентгенолитографии (где основная часть экспонирующего излучения находится в спектральном диапазоне -  $\lambda \approx 2,5 \div 9 \text{ \AA}$ ).

В качестве аналога выбраны конструкция и способ [описанные в работе Flanders D.C., Smith H.I. Polyimide membrane X-ray lithography masks fabrication and distortion measurements. - J. Vac. Sci. Technol., 1978, V.15, №3. P.995].

Конструкция-аналог (схематически изображена на Фиг.1) содержит следующие основные элементы: несущую мембрану 1 в виде тонкой пленки майлара (полиэтилентерефталата - ПЭТФ, толщиной  $0,5 \div 1 \text{ мкм}$ ), выполненные из «тяжелого» металла элементы 2 рентгенопоглощающего маскирующего слоя; металлическое опорное кольцо 3.

Способ-аналог изготовления рентгеношаблона содержит следующие операции:

- наносят тонкий слой полимера (майлара) на подложку из стекла, сапфира, кварца или другого материала, способного выдержать температуру  $400^\circ\text{C}$  и имеющего хорошо подготовленную поверхность;

- наносят рентгенопоглощающий слой «тяжелого» металла поверх полимерного слоя,

- формируют методами литографии резистивную маску;

- формируют топологический рисунок шаблона путем травления «тяжелого» металла через резистивную маску;

- удаляют остаточную резистивную маску;

- прикрепляют (приклеивают) к полимерной мембране опорное кольцо (из стали, алюминия или другого материала);

- удаляют подложку (проводят селективное травление подложки).

Выбранный в качестве аналога рентгеношаблон характеризуется достаточно высокой прочностью несущей полимерной мембраны, вследствие чего она может находиться в непосредственном контакте с резистивным слоем, нанесенным на рабочую поверхность обрабатываемой подложки. В результате влияние дифракции экспонирующего излучения на разрешающую способность рентгенолитографического процесса может быть сведено к минимуму, поскольку зазор между рабочими поверхностями шаблона и рентгенорезиста может быть установлен практически равным нулю. Однако, вследствие того, что материалом несущей мембраны является углеводородный полимер, меняющий со временем свои физические характеристики под воздействием рентгеновского излучения (что обычно выражается в превышении допустимого уровня деформаций топологического рисунка шаблона), то срок службы такого шаблона значительно меньше срока службы подобных изделий с неорганическими несущими мембранами.

В качестве прототипа выбраны конструкция и способ изготовления рентгеношаблона [описанные в работе Артамонова Л.Д., Гаврюшкина Н.И., Гаштольд В.Н., Глуздакова Г.В., Дейс Г.А., Домахина А.М., Коломеец А.Н., Коломеец Т.М., Прокопенко В.С., Черков Г.А. - Рентгеновские шаблоны для рентгенолитографии и LIGA-технологии. // Отчет Сибирского международного центра синхротронного излучения за 1991-1992 г. / Ин-т ядерной физики им. Будкера СО РАН. - Новосибирск, 1993, с.229-231].

Конструкция-прототип (схематически изображена на Фиг.2) содержит следующие основные элементы: несущую мембрану 1 в виде тонкой пленки легированного бором кремния; выполненные из золота элементы 2 рентгенопоглощающего маскирующего слоя; кремниевое опорное кольцо 3.

Способ-прототип изготовления рентгеношаблона содержит следующие операции:

- проводят предварительное формирование границы кремниевой несущей мембраны



путем создания стоп-слоя для селективного травления, например методом термического легирования кремниевой пластины со стороны ее рабочей поверхности бором на глубину  $\sim 2\div 3$  мкм (толщина будущей несущей мембраны);

- напыляют на кремниевую пластину адгезивные электропроводящие подслои;
- наносят на рабочую поверхность пластины толстый ( $\geq 10$  мкм) слой рентгенорезиста и формируют методом рентгеновской литографии резистивную маску;
- производят гальваническое осаждение золотого рентгенопоглощающего слоя;
- удаляют остаточную резистивную маску и формируют несущую мембрану (методом травливания центральной части кремниевой пластины до «стоп-слоя», которым является легированный бором кремний).

На фиг.2 приведено схематическое изображение кремниевого рентгеношаблона, изготовленного вышеописанным способом и содержащего: кремниевое опорное кольцо 1; несущую мембрану 2 в виде тонкой пленки легированного бором кремния; золотой рентгенопоглощающий топологический рисунок 3.

В соответствии с законами кристаллографии постоянная кристаллической решетки легированного бором кремния имеет меньший размер по сравнению с постоянной исходного нелегированного кремния. Вследствие этого выбранный в качестве прототипа рентгеношаблон характеризуется достаточно сильно натянутой на опорном кольце несущей мембраной (с внутренним напряжением около  $5\div 7,5\cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>). Формирование такой сильно натянутой мембраны методом «утонения» центральной части стандартной кремниевой пластины (толщиной  $\sim 0,5$  мм), уже после того как топологический рисунок был на ней сформирован, приводит к деформации самого рентгенопоглощающего рисунка и к деформации опорного кольца, края которого начинают выступать за планарную поверхность, как схематично показано на Фиг.2. В результате возникает прогиб рабочей поверхности кремниевого рентгеношаблона (что выражается в увеличении его неплоскостности).

Таким образом, основным недостатком способа-прототипа является то, что рентгеношаблон содержит относительно тонкое опорное кольцо (кремний толщиной  $\sim 0,5$  мм) и сильно напряженную несущую мембрану (легированный бором кремний, толщиной  $\sim 2\div 3$  мкм), формируемую после создания топологического рентгенопоглощающего рисунка, что влечет за собой существенные деформации как самой формы рентгеношаблона (края опорного кольца выступают за рабочую поверхность шаблона), так и его рентгенопоглощающего топологического рисунка.

Предлагаемым конструкцией и способу изготовления рентгеношаблона не свойственны недостатки, присущие прототипу.

С целью повышения качества рентгеношаблона, а именно уменьшения его неплоскостности и геометрических искажений его маскирующего топологического рисунка, предлагается формировать топологический рисунок на поверхности титановой пленки (толщиной  $\sim 2,5$  мкм), нанесенной на рабочую поверхность достаточно толстой ( $\sim 4\div 10$  мм) металлической шайбы переменного сечения с утоненной ( $\sim 0,5$  мм) центральной частью, которая удаляется химическим селективным травлением на финальной стадии изготовления рентгеношаблона (что схематично проиллюстрировано на Фиг.3).

Предлагаемый способ изготовления рентгеношаблона характеризуется простотой и содержит следующие основные операции:

- 1) изготавливают цельнометаллическую шайбу переменного сечения (с тонкой центральной частью и участком «плавного перехода», выполненным из того же материала, что и опорное кольцо, примыкающим к внутренней боковой стенке опорного



кольца и тонкой центральной части и выглядящим в плоскости сечения ортогональной рабочей поверхности в виде «клина») с высоким классом чистоты ее рабочей поверхности,

2) напыляют на рабочую поверхность шайбы титановую пленку и тонкий подслоя из металла с высокой электропроводностью и высокой химической стойкостью в селективном травителе (например, золото и т.п.)

3) формируют известными методами на поверхности пленки резистивную маску толщиной больше, чем толщина изготавливаемого на следующей стадии маскирующего слоя,

4) проводят на рабочую поверхность пленки через резистивную маску напыление или электрохимическое осаждение металлического маскирующего слоя соответствующей толщины, обеспечивающей требуемый уровень контрастности шаблона в выбранном для его дальнейшей эксплуатации спектральном диапазоне рентгеновского излучения;

5) удаляют остатки резистивной маски и центральную часть шайбы-подложки.

Прохождение исходной подложки по предлагаемому маршруту схематично иллюстрируется рисунками, представленными на Фиг.3 (вид подложки перед последней операцией), на Фиг.4 (окончательный вид рентгеношаблона с кольцеобразным упрочняющим элементом в виде элемента маскирующего слоя), Фиг.5 (окончательный вид рентгеношаблона с кольцеобразным упрочняющим элементом, выполненным из резиста). В обеспечение наглядности пропорции размеров основных элементов шаблона не соблюдены.

На Фиг.1 схематично изображена конструкция-аналог рентгеношаблона, содержащая несущую мембрану 1 в виде тонкой полимерной пленки, элементы 2 рентгенопоглощающего маскирующего слоя; металлическое опорное кольцо 3.

На Фиг.2 схематично изображена конструкция-прототип рентгеношаблона, содержащая несущую мембрану 1 в виде тонкой кремниевой пленки, элементы 2 рентгенопоглощающего маскирующего слоя; кремниевое опорное кольцо 3.

На Фиг.3 схематично изображена подложка рентгеношаблона перед последней стадией его изготовления, где элементы 2, упрочняющий кольцеобразный элемент 7 рентгенопоглощающего маскирующего слоя и элементы 4 резистивной маски сформированы на поверхности несущей титановой мембраны 1, созданной путем напыления на рабочую поверхность исходной шайбы переменного сечения, содержащей опорное кольцо 3, тонкую центральную часть 5 и участок 6, обеспечивающий плавный переход, возникающий между опорным кольцом и несущей мембраной после удаления центральной части 5.

На Фиг.4 схематично изображена предлагаемая конструкция рентгеношаблона, содержащая несущую титановую мембрану 1, элементы 2 маскирующего слоя, опорное кольцо 3, участок 6 «плавного перехода», упрочняющий кольцеобразный элемент 7 в виде элемента маскирующего слоя.

На Фиг.5 схематично изображена предлагаемая конструкция рентгеношаблона, содержащая несущую титановую мембрану 1, элементы 2 маскирующего слоя, опорное кольцо 3, участок 6 «плавного перехода», резистивный упрочняющий кольцеобразный элемент 7.

Предлагаемые конструкция и способ изготовления рентгеношаблона с несущей титановой мембраной достаточно просты и легко реализуемы. При этом опорное кольцо характеризуется достаточной жесткостью, а несущая мембрана - отсутствием значительной исходной напряженности, что в целом обеспечивает лучшую, по сравнению с прототипом, сохранность несущей мембраны как при изготовлении шаблона, так и



при его эксплуатации. Место «стыковки» несущей мембраны с опорным кольцом (проекция которого на рабочую поверхность шаблона выглядит обычно как окружность) является наиболее «слабым» местом данной конструкции (поскольку тут концентрируются внутренние напряжения несущей мембраны и, в абсолютном

5 большинстве случаев, именно в этом месте происходит ее порыв), которое предлагается «усилить» путем размещения здесь упрочняющего кольцеобразного элемента выполненного в виде элемента маскирующего слоя или резистивного элемента (полностью перекрывающего данную область, т.е. располагая его по обе стороны проекции края опорного кольца на рабочую поверхность несущей мембраны), а

10 благодаря реализации плавного перехода между опорным кольцом и несущей мембраной внутренние напряжения в ней частично минимизируются.

Формирование «плавного» перехода и «упрочняющего» элемента не добавляет каких-либо операций в технологию изготовления шаблона (они должны быть заранее предусмотрены: первый - на стадии точения шайбы, второй - при разработке топологии

15 резистивной маски), но их наличие позволяет увеличить процент выхода годных шаблонов при их изготовлении и снизить вероятность порыва мембраны при их эксплуатации.

Пример конкретного исполнения (с упрочняющим резистивным элементом). Для изготовления рентгеношаблона предлагаемой конструкции предлагаемым способом

20 из сплава Д-16 изготавливается шайба переменного сечения (например, с размерами: толщиной ~6 мм, внешним диаметром ~40 мм, диаметр внутренней выборки ~28 мм, толщина утоненной центральной части ~0,5 мм), при этом ее рабочая поверхность предварительно шлифуется и полируется до 9 класса чистоты. Затем после ее подготовки (включающей промывку химическими растворителями, прогрев до температуры 450°C

25 и плазменную чистку) на нее производят последовательное магнетронное напыление слоя титана толщиной ~2,5 мкм и медного подслоя толщиной ~0,1 мкм (можно использовать золотой подслоя ~30 нм). На следующем этапе поверх последнего известными способами формируют резистивную маску, например из резиста SU-8 толщиной ~5 мкм, через которую в последующем проводят электролитическое осаждение

30 золотого маскирующего слоя (толщиной ~2 мкм). На последнем этапе удаляют остаточную резистивную маску из центральной области несущей мембраны, например, путем травления SU-8 в кислородной плазме, прикрывая кольцом из нержавеющей стали области формирования упрочняющего элемента (разумеется, что возможны и иные способы формирования упрочняющего элемента из резиста), так что резистивная

35 маска остается на части (или на всем) опорном кольце и периферии несущей мембраны, полностью и с некоторым запасом перекрывая область плавного перехода. На самом последнем этапе удаляется центральная часть шайбы из алюминиевого сплава путем ее локального одностороннего травления в специальной кассете в ~20% водном растворе гидроксида натрия (NaOH).

#### 40 Формула изобретения

1. Рентгеношаблон, содержащий опорное кольцо, прикрепленную к нему несущую мембрану со сформированным на ее рабочей поверхности топологическим рентгенопоглощающим рисунком, отличающийся тем, что опорное кольцо содержит

45 участок «плавного перехода», выполненный из того же материала, что и опорное кольцо, и примыкающий к внутренней боковой стенке опорного кольца и несущей мембране.

2. Способ изготовления рентгеношаблона, включающий в себя процессы создания



на высокого класса чистоты рабочей поверхности исходной подложки тонкой неорганической пленки (в последующем выполняющей роль несущей мембраны шаблона), формирования поверх нее резистивной маски и через маску металлического маскирующего слоя, изготовления опорного кольца из исходной подложки, отличающийся тем, что исходную подложку выполняют в виде цельнометаллической шайбы переменного сечения с участком «плавного перехода» и тонкой центральной частью, которую удаляют химическим травлением на финальной стадии изготовления рентгеношаблона.

3. Рентгеношаблон по п.1, отличающийся тем, что на рабочей поверхности несущей мембраны непосредственно в области проекции внутреннего края опорного кольца располагается по обе стороны проекции (т.е. перекрывающий ее) упрочняющий кольцеобразный элемент в виде элемента маскирующего слоя.

4. Рентгеношаблон по п.3, отличающийся тем, что упрочняющий кольцеобразный элемент выполнен из резиста.

5. Рентгеношаблон по п.1, отличающийся тем, что материалы опорного кольца, несущей мембраны и маскирующего слоя подбираются с близкими значениями соответствующих коэффициентов линейного теплового расширения (КТР).

20

25

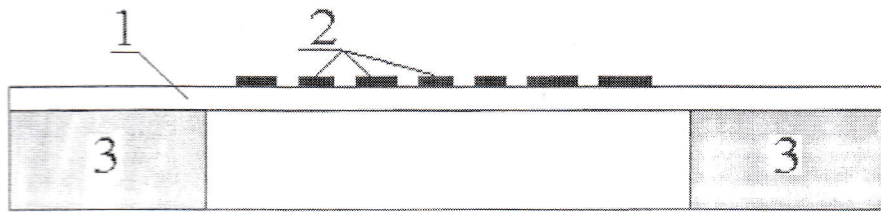
30

35

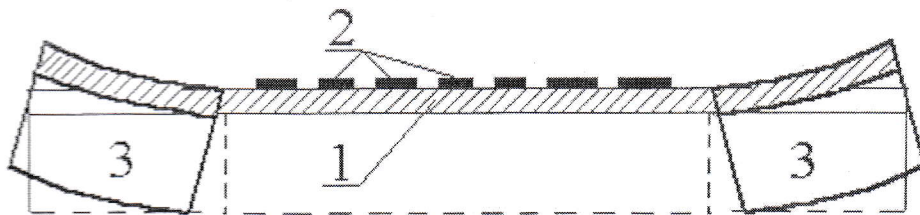
40

45

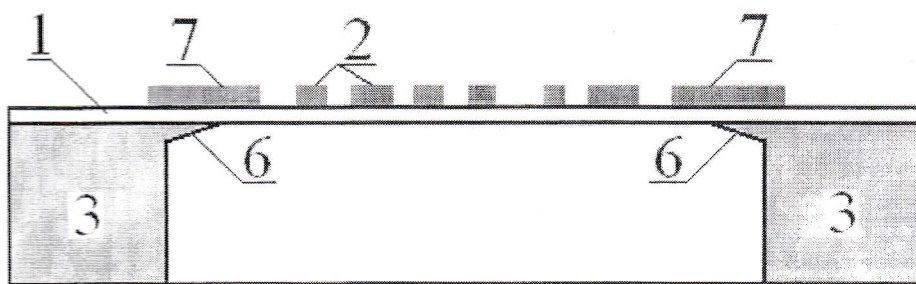




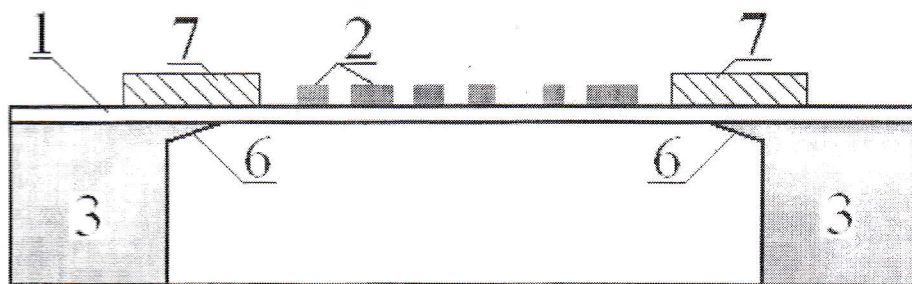
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 4



Фиг. 5