РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 629 135** (13) **C1**

(51) МПК
H01L 21/321 (2006.01)
B81C 1/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2016137167, 16.09.2016**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.09.2016

Дата регистрации:
24.08.2017

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **16.09.2016**

(45) Опубликовано: **24.08.2017** Бюл. № **24**

Адрес для переписки:
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Фонд "Национальное интеллектуальное развитие"

(72) Автор(ы):
Жарик Георгий Александрович (RU),
Дагесян Саркис Арменакович (RU),
Солдатов Евгений Сергеевич (RU),
Божьев Иван Вячеславович (RU),
Преснов Денис Евгеньевич (RU),
Крупенин Владимир Александрович (RU),
Снигирев Олег Васильевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова" (МГУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 20130215406 A1, 22.08.2013. US 20150098984 A1, 09.04.2015. WO 2005101466 A2, 27.10.2005. EP 2122417 B1, 15.08.2012. RU 2228900 C1, 20.05.2004.**

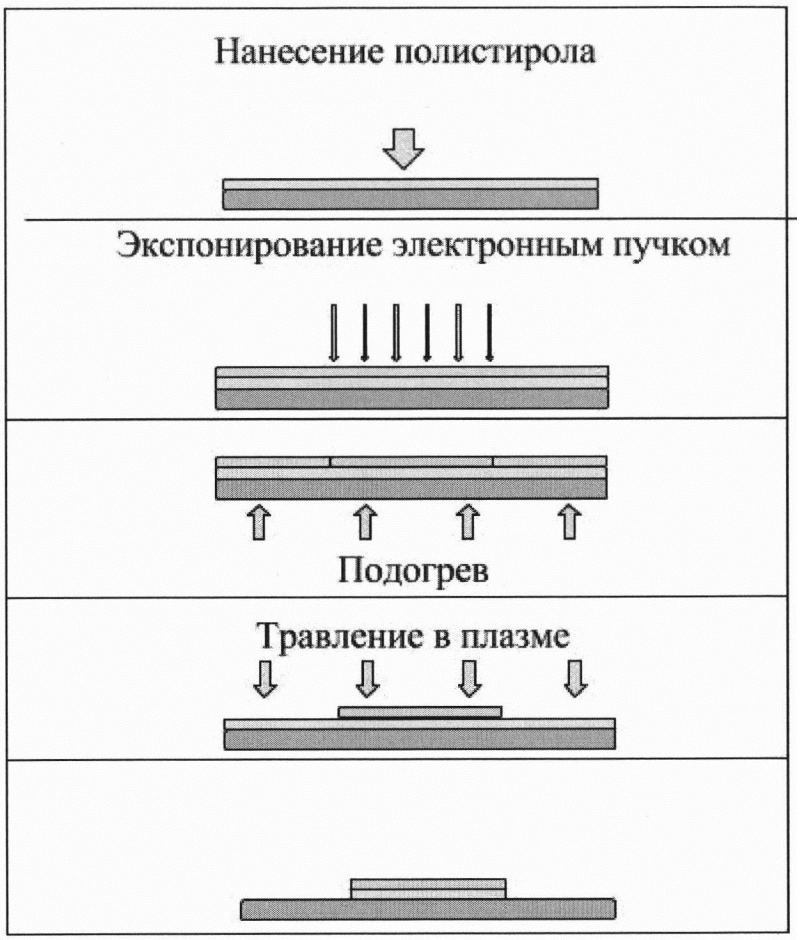
(54) СПОСОБ СУХОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ

(57) Реферат:

Использование: для формирования резистных масок. Сущность изобретения заключается в том, что наносят слой резиста, в качестве которого выбирают низкомолекулярный полистирол, на подложку методом термического вакуумного напыления, при этом температура подложки во время напыления не более 30°С; формируют на подложке скрытое изображение путем локального экспонирования высокоэнергетичным пучком электронов с дозой засветки 2000-20000 мкКл/см^2; проявляют резист при подогреве подложки в вакууме до температуры 600-800 К и при давлении не более 10^{-1} мбар и плазменное травление для переноса рисунка резистной маски в подложку для формирования микро- и наноструктуры на подложке. Технический результат: обеспечение возможности повышения разрешающей способности готовой структуры формирования наноструктур на поверхностях неровной сложной формы, таких как микроэлектромеханические системы, оптоволокно, кантилеверы и пр.; и создания очень тонких пленок резиста (в некоторых определенных случаях менее 20 нм). 7 з.п. ф-лы, 6 ил.

RU 2629135 C1

RU 2629135 C1



Фиг. 1

RU 2629135 C1

RU 2629135 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 629 135** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
H01L 21/321 (2006.01)
B81C 1/00 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2016137167, 16.09.2016**

(24) Effective date for property rights:
16.09.2016

Registration date:
24.08.2017

Priority:
(22) Date of filing: **16.09.2016**

(45) Date of publication: **24.08.2017** Bull. № **24**

Mail address:
119991, Moskva, GSP-1, Leninskie gory, 1, Moskovskij gosudarstvennyj universitet imeni M.V. Lomonosova, Fond "Natsionalnoe intellektualnoe razvitie"

(72) Inventor(s):
Zharik Georgij Aleksandrovich (RU),
Dagesyan Sarkis Armenakovich (RU),
Soldatov Evgenij Sergeevich (RU),
Bozhev Ivan Vyacheslavovich (RU),
Presnov Denis Evgenevich (RU),
Krupenin Vladimir Aleksandrovich (RU),
Snigirev Oleg Vasilevich (RU)

(73) Proprietor(s):
Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj universitet imeni M.V. Lomonosova" (MGU) (RU)

(54) METHOD OF DRY ELECTRON-BEAM LITHOGRAPHY

(57) Abstract:

FIELD: physics.

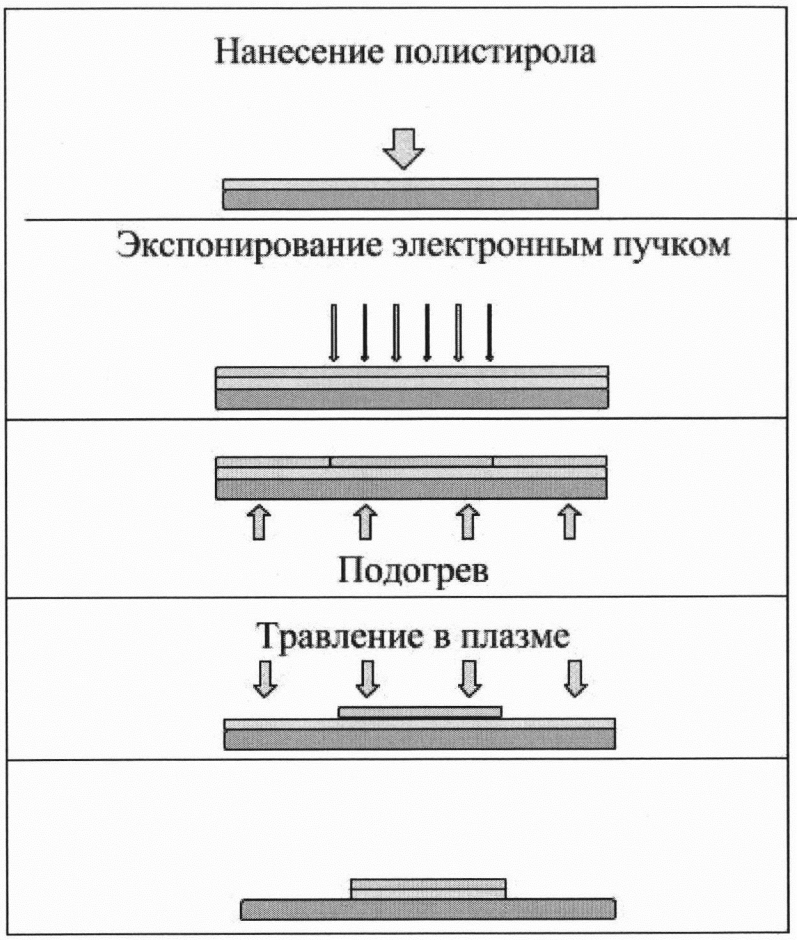
SUBSTANCE: layer of resist is applied, which is chosen as a low-molecular-weight polystyrene, onto the substrate by the method of thermal vacuum deposition, while the temperature of the substrate during the deposition is not more than 30°C; a latent image is formed on the substrate by local exposure of a high-energy electron beam with a light dose of 2000-20000 mcC/cm^2; a resist is developed, when the substrate is heated in a vacuum to the temperature of 600-800 K and at the pressure of not more than 10^{-1} mbar and plasma etching to transfer the pattern of the resist mask to the substrate to form the micro- and nanostructure on the substrate.

EFFECT: providing the possibility of increasing the resolution of the finished structure of nanostructure formation on surfaces of uneven complex shapes, and creating very thin resist films.

8 cl, 6 dwg

RU 2629135 C1

RU 2629135 C1



Фиг. 1

RU 2629135 C1

RU 2629135 C1

Область техники

Изобретение относится к области микро- и нанолитографии, в частности к способу сухой электронно-лучевой литографии, и предназначено для формирования резистных масок.

Уровень техники

Известен способ литографии, включающий нанесение на подложку, например с помощью центрифуги, слоя растворенного в жидкости электронного резиста, в частности PMMA, локальное экспонирование резиста пучком электронов, жидкостное проявление маски путем селективного растворения экспонированных и неэкспонированных областей резиста в жидком проявителе (Electron beam lithography: resolution limits and applications. Applied Surface Science Volume 164, Issues 1-4, 1 September 2000, Pages 111-117 [1]). Достоинствами этого способа являются высокая производительность на стадии экспонирования, хорошая разрешающая способность (20 нм) и достаточная плазмостойкость резиста, а его недостатком - использование жидкостей на стадиях нанесения и проявления резиста, т.к. при последующей сушке пленки резиста в ней образуются проколы, и, кроме того, оседание микрочастиц-пылинок на влажную поверхность резиста также приводит к возникновению дефектов в изготавливаемой структуре. Также влияние краевых эффектов вблизи края подложки сказывается на неравномерности толщины наносимой пленки. Для устранения этих нежелательных последствий приходится проводить такие литографические процессы в технологических помещениях особо высокой чистоты, что требует значительных капитальных и эксплуатационных затрат. Также существенным недостатком является возможность проведения данного метода только на плоских подложках вдали от их краев в силу краевых эффектов, связанных с использованием способа нанесения растворенного резиста методом центрифугирования.

Наиболее близким аналогом заявляемого метода нанесения резиста является способ литографии, включающий нанесение негативного резиста (Vinyl T8) на подложку методом вакуумного термического напыления, экспонирование резиста с помощью электронного луча, проявление резистной пленки методом нагрева в вакууме и удаление экспонированного резиста методом ионного травления (All-dry vacuum submicron lithography. V.P. Korchkov, T.N. Martynova, V.S. Danilovich. Thin Solid Films. Volume 101, Issue 4, 25 March 1983, Pages 369-372 [2]). Данный способ имеет схожие признаки с описанным выше решением на этапе экспонирования резистной пленки, однако метод нанесения и удаления резиста существенно отличается тем, что протекает в вакууме без использования жидкости. Так же, как и способ литографии, описанный выше, данный метод был продемонстрирован только для подложек плоской формы.

Также недостатками данного способа являются относительно низкая разрешающая способность используемого резиста Vinyl T8 около 200 нм; невозможность формирования наноструктур на поверхностях неровной/сложной формы; низкая разрешающая способность готовой структуры, большая получаемая толщина резистной пленки (более 150 нм).

Раскрытие изобретения

Задачей изобретения является усовершенствование способа сухой электронно-лучевой литографии с использованием негативного резиста.

Техническим результатом заявляемого изобретения является повышение разрешающей способности готовой структуры (в некоторых определенных случаях до 10 нм); возможность формирования наноструктур на поверхностях неровной сложной формы, таких как микроэлектромеханические системы, оптоволокно, кантилеверы и

пр., и создание очень тонких пленок резиста (в некоторых определенных случаях менее 20 нм).

Технический результат достигается за счет способа создания микро- и наноструктур на подложке, включающего: нанесение слоя резиста, в качестве которого выбирают низкомолекулярный полистирол, на подложку методом термического вакуумного напыления, при этом температура подложки во время напыления не более 30°С; формирование на подложке скрытого изображения путем локального экспонирования высокоэнергетичным пучком электронов с дозой засветки 2000-20000 мкКл/см^2; проявление резиста при подогреве подложки в вакууме до температуры 600-800 К и при давлении не более 10^{-1} мбар и последующее плазменное травление для переноса рисунка резистной маски в подложку для формирования микро- и наноструктуры на подложке.

Предпочтительно молекулярная масса полистирола составляет не более 2 кг/моль.

Экспонирование высокоэнергетичным пучком электронов производят с дозой засветки предпочтительно 8000 мкКл/см^2.

Перед нанесением слоя низкомолекулярного полистирола на подложку возможно провести предварительную чистку подложки в плазме кислорода или аргона.

Температура подложки во время напыления составляет предпочтительно 15°С.

После плазменного травления при переносе рисунка резистной маски в подложку возможно осуществить травление в плазме кислорода для удаления экспонированного полистирола.

Термическое вакуумное напыление проводят предпочтительно при температуре около 600 К.

Термическое вакуумное напыление проводят со скоростью напыления не более 5 А/с, предпочтительно 1 А/с.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 представлена схема создания микро- и наноструктур на подложке.

На фиг. 2A-2D схематично изображены различные этапы способа создания микро- и наноструктур на подложке.

На фиг. 3 изображена готовая микро- и наноструктура на подложке в результате последовательно осуществленных этапов из фиг. 2A-2D.

Осуществление изобретения

Способ создания микро- и наноструктур на подложке осуществляют следующим образом.

Сначала, как показано на фиг. 2A, на подложку 1 наносят слой 2 негативного резиста - низкомолекулярного полистирола. В данной заявке под подложкой понимается совокупность слоев из одного и более материалов, в которой будут сформированы микро- и наноструктуры (на всех фигурах изображена подложка 1 с верхним слоем подложки 1', однако подложка 1 может быть и без такого слоя). Предпочтительно молекулярная масса полистирола составляет не более 2 кг/моль. При молекулярной массе полистирола более 2 кг/моль процесс напыления становится нестабильным, и резистная пленка получается недостаточно однородной. Нанесение чувствительного слоя 2 резиста осуществляют без жидкости. Данный метод предполагает нанесение резиста методом термического вакуумного напыления, не требующего жидкого раствора полимера. Термическое вакуумное напыление проводят при диапазоне температур 575-700 К, предпочтительно при температуре около 600 К, и со скоростью напыления не более 5 А/с, предпочтительно 1 А/с. При более высокой скорости (более 5 А/с) пленка

получается неоднородной по толщине. Высокое значение скорости соответствует перегреву полистирола, который становится не применим для дальнейшего экспонирования.

При этом температура подложки 1 во время напыления составляет не более 30°С. Выбор данной температуры обусловлен тем, что при температурах выше 30°С ухудшается адгезия полистирола, и резистная пленка получается неоднородной.

Также перед нанесением слоя резиста возможно осуществить предварительную чистку подложки 1 в плазме кислорода или аргона. Предварительная чистка подложки 1 в плазменном разряде улучшает адгезию и качество пленки.

Далее, как показано на фиг. 2B, формируют на подложке 1 скрытое изображение путем локального экспонирования высокоэнергетичным пучком электронов с дозой засветки 2000-20000 мкКл/см^2, предпочтительно 8000 мкКл/см^2. В результате происходит химическое соединение молекул чувствительного слоя и образуется засвеченная структура 2_3 на подложке 1.

Проявление засвеченной структуры 2_3 осуществляется без использования жидкого проявителя, как схематично показано на фиг. 2C. А именно проявление происходит путем подогрева подложки 1 с засвеченной структурой 2_3 в вакууме до температуры 600-800 К и более, и при давлении не более 10^{-1} мбар. При других параметрах температуры и давления становится невозможно проявить засвеченную структуру.

Таким образом, резист проявляют, формируя на подложке 1 резистную маску.

Далее, как показано на фиг. 2D, производят плазменное травление для переноса рисунка резистной маски в подложку 1. Травление осуществляется в плазме аргона, фторсодержащей плазме и т.п., внутри вакуумной камеры. После вышеуказанного травления возможно произвести травление в плазме кислорода для удаления остатков резистной маски.

В результате осуществления вышеуказанного способа происходит повышение разрешающей способности готовой структуры - фиг. 3 (до менее чем 10 нм); имеется возможность формирования наноструктур на поверхностях неровной сложной формы, таких как микроэлектромеханические системы, оптоволокно, кантилеверы и пр.; и возможность создания очень тонких пленок резиста (менее 20 нм).

В общем виде этапы заявляемого способа: метод термического вакуумного напыления, формирование на подложке скрытого изображения, проявление засвеченной структуры и плазменное травление широко известны из уровня техники и реализованы, например, в источнике [2].

Примеры

Пример 1. Создание золотых структур на игле кантилевера. В качестве напыляемого резиста использовался полистирол с молекулярной массой 1.2 кг/моль. В качестве подложки использовался кантилевер атомно-силового микроскопа с 20 нм слоем золота. Затем на золотую поверхность подложки методом термического вакуумного напыления наносилось 30 нм полистирола. Температура подложки во время напыления была 15°С. После этого осуществлялось экспонирование напыленной резистной пленки электронным пучком с дозой засветки 6000 мкКл/см^2, электронами с энергией - 5 кэВ. Затем образец нагревался в вакууме при давлении 10^{-4} мбар до температуры 700 К. Нагрев осуществлялся в течение 5 минут. Таким образом, происходило формирование резистной маски для травления золота. Травление осуществлялось в плазме аргона при давлении $5\cdot10^{-3}$ мбар в течение 60 с. Затем в течение 30 с осуществлялось травление в

плазме кислорода при давлении $5 \cdot 10^{-3}$ мбар для удаления экспонированного резиста. Конечным результатом являлись золотые наноструктуры, как на кантилевере, так и на его игле, с разрешающей способностью готовой структуры 10 нм.

Пример 2. Формирование кремниевых наноструктур вблизи края подложки. На подложку из монокристаллического кремния наносился полистирол толщиной 70 нм описанным в примере 1 способом. Далее осуществлялось экспонирование резиста электронным пучком с дозой засветки 6000 мкКл/см^2 и электронами с энергией - 5 кэВ. Затем образец нагревался до температуры 700 К и при давлении 10^{-4} мбар, нагрев осуществлялся в течение 10 мин. В результате формировалась резистная маска для травления во фторсодержащей плазме с формированием кремниевых монокристаллических наноструктур вблизи края подложки, имеющей разрешающую способность до 30 нм.

Пример 3 (наилучший вариант осуществления изобретения). На пластину из монокристаллического кремния наносилось 20 нм золота для формирования верхнего слоя подложки. Затем на золотую поверхность подложки методом термического вакуумного напыления наносилось 20 нм полистирола. Температура подложки во время напыления была 15°С. После этого осуществлялось экспонирование напыленной резистной пленки электронным пучком с дозой засветки 8000 мкКл/см^2, электронами с энергией - 10 кэВ. Затем образец нагревался в вакууме при давлении 10^{-4} мбар до температуры 700 К. Нагрев осуществлялся в течение 5 минут. После формирования резистной маски осуществлялось травление в плазме аргона при давлении $5 \cdot 10^{-3}$ мбар в течение 60 с. Затем в течение 30 с осуществлялось травление в плазме кислорода при давлении $5 \cdot 10^{-3}$ мбар для удаления экспонированного резиста. Конечным результатом являлись золотые наноструктуры на плоской подложке шириной менее 20 нм, с разрешением менее 10 нм.

(57) Формула изобретения

1. Способ создания микро- и наноструктур на подложке, включающий

- нанесение слоя резиста, в качестве которого выбирают низкомолекулярный полистирол, на подложку методом термического вакуумного напыления, при этом температура подложки во время напыления не более 30°С;
- формирование на подложке скрытого изображения путем локального экспонирования высокоэнергетичным пучком электронов с дозой засветки 2000-20000 мкКл/см^2;
- проявление резиста при подогреве подложки в вакууме до температуры 600-800 К и при давлении не более 10^{-1} мбар;
- последующее плазменное травление для переноса рисунка резистной маски в подложку для формирования микро- и наноструктуры на подложке.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что молекулярная масса полистирола составляет предпочтительно не более 2 кг/моль.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что экспонирование высокоэнергетичным пучком электронов производят с дозой засветки предпочтительно 8000 мкКл/см^2.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что перед нанесением слоя низкомолекулярного полистирола на подложку осуществляют предварительную чистку подложки в плазме кислорода или аргона.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что температура подложки во время напыления предпочтительно 15°С.

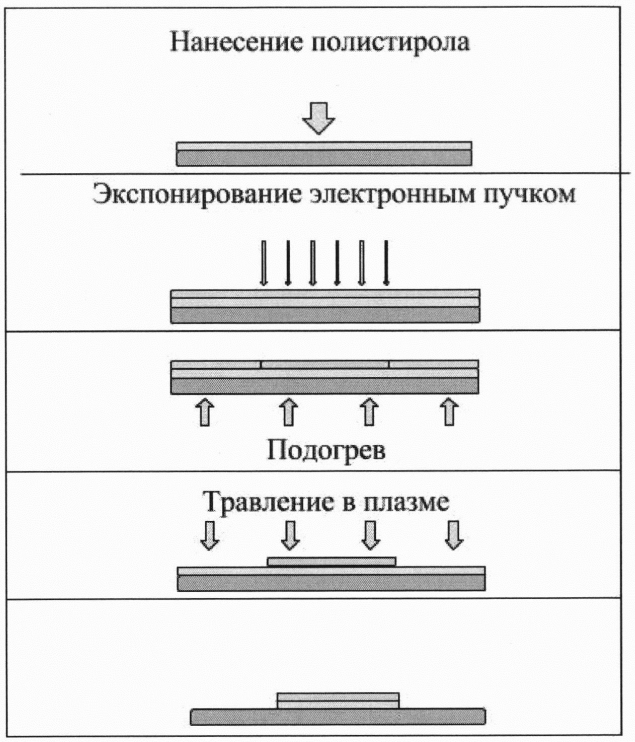
6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что после плазменного травления при переносе рисунка резистной маски в подложку производят травление в плазме кислорода для удаления экспонированного полистирола.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что термическое вакуумное напыление проводят предпочтительно при температуре около 600 К.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что термическое вакуумное напыление проводят со скоростью напыления не более 5 А/с, предпочтительно 1 А/с.

1

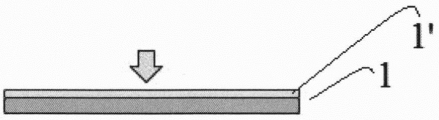
СПОСОБ СУХОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ



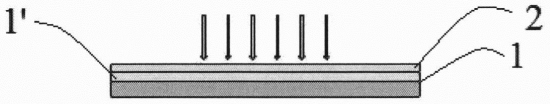
Фиг. 1

2

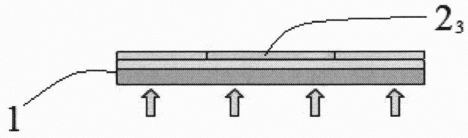
СПОСОБ СУХОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ



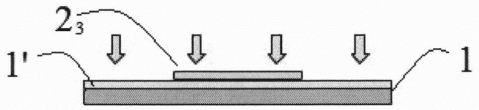
Фиг. 2A



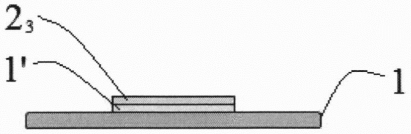
Фиг. 2B



Фиг. 2C



Фиг. 2D



Фиг. 3.