



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2002115875/28, 14.11.2000

(24) Дата начала действия патента: 14.11.2000

(30) Приоритет: 15.11.1999 (пп.1-11) FR 99/14285

(43) Дата публикации заявки: 27.04.2004

(45) Опубликовано: 10.04.2005 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 5293396 A, 08.03.1994. EP 0474011 A, 11.03.1992. EP 0181194 A, 14.05.1986. RU 2030826 C1, 10.03.1995.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 17.06.2002

(86) Заявка РСТ:
FR 00/03163 (14.11.2000)

(87) Публикация РСТ:
WO 01/37618 (25.05.2001)

Адрес для переписки:
103735, Москва, ул.Ильинка, 5/2, ООО
"Союзпатент", пат.пов. Ю.В.Пинчуку

(72) Автор(ы):

БАБОНО Даниэль (FR),
МАРМОРЕ Реми (FR),
БОННЕ Лоранс (FR)

(73) Патентообладатель(ли):

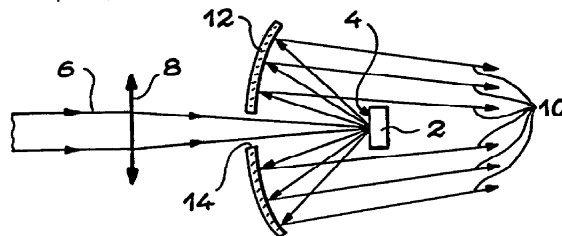
КОММИССАРИАТ А Л'ЭНЕРЖИ АТОМИК (FR)

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЕГО ИСТОЧНИК, ПРИМЕНЕНИЕ В ЛИТОГРАФИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к производству экстремального ультрафиолетового излучения и к области литографии. Согласно изобретению используют по меньшей мере одну твердую мишень, излучающую экстремальное ультрафиолетовое излучение при взаимодействии с лазерным лучом, сфокусированным на обращенной к лазеру поверхности мишени. Эта мишень способна излучать часть излучения из второй поверхности, и эту часть излучения собирают и передают для использования.

Техническим результатом изобретения является повышение КПД источника УФ-излучения. 3 с. и 8 з.п. ф-лы, 6 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2002115875/28, 14.11.2000**
 (24) Effective date for property rights: **14.11.2000**
 (30) Priority: **15.11.1999 (cl.1-11) FR 99/14285**
 (43) Application published: **27.04.2004**
 (45) Date of publication: **10.04.2005 Bull. 10**
 (85) Commencement of national phase: **17.06.2002**
 (86) PCT application:
FR 00/03163 (14.11.2000)
 (87) PCT publication:
WO 01/37618 (25.05.2001)

Mail address:
**103735, Moskva, ul.Ill'inka, 5/2, OOO "Sojuzpatent",
 pat.pov. Ju.V.Pinchuku**

(72) Inventor(s):
**BABONO Daniel' (FR),
 MARMORE Remi (FR),
 BONNE Lorans (FR)**
 (73) Proprietor(s):
KOMMISSARIAT A L'EhNERZhi ATOMIK (FR)

(54) **METHOD FOR CREATING EXTREME ULTRAVIOLET IRRADIATION AND SOURCE OF SUCH IRRADIATION USED IN LITHOGRAPHY**

(57) Abstract:

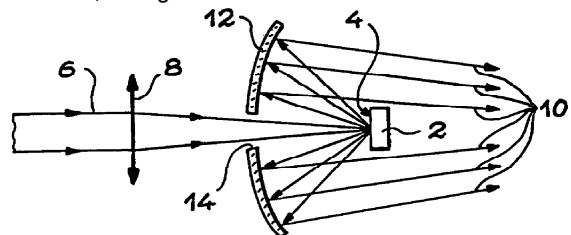
FIELD: production of extreme ultraviolet irradiation, lithography.

SUBSTANCE: method comprises steps of using at least one solid target that irradiates extreme ultraviolet at interaction with laser beam focused on target surface turned to laser. Such target is capable to irradiate part of irradiation from second surface. Said irradiation part is collected and transmitted for usage.

EFFECT: enhanced efficiency of ultraviolet

irradiation source.

11 cl, 6 dwg



Фиг. 1

RU 2 2 4 9 9 2 6 C 2

RU 2 2 4 9 9 2 6 C 2

Область техники, к которой относится изобретение

Данное изобретение относится к экстремальному ультрафиолетовому излучению, которое также называется ЭУФ-излучением, и к его источнику.

Это излучение является излучением с длиной волны внутри диапазона от 8 нм до 25 нм.

5 Данное изобретение имеет множество применений, в частности, в материаловедении, в микроскопии и в особенности в литографии.

Данное изобретение относится также к литографическому устройству, в котором используется источник экстремального ультрафиолетового излучения, согласно данному изобретению.

10 При использовании такого излучения можно уменьшить шаг травления в интегральных схемах и можно изготавливать интегральные схемы с очень высокой степенью интеграции.

Уровень техники

15 Известно, что литографическое устройство предназначено для освещения образца в соответствии с заданным дизайном ("узором"). Этот образец обычно содержит полупроводниковую подложку, на которую нанесен слой фоточувствительного полимера ("фоторезистивный слой"), который предназначен для освещения в соответствии с заданным узором.

Литографическое устройство содержит:

- источник освещающего излучения,
- 20 - маску, на которой воспроизведен подлежащий облучению узор с коэффициентом увеличения, равным 4,
- опору для образца, и
- оптические средства, которые обеспечивают перенос излучения между источником и маской, с одной стороны, и между маской и образцом, с другой стороны.

25 Известны, в основном, две технологии для получения интенсивного экстремального ультрафиолетового излучения. Они обе основаны на сборе фотонов, созданных за счет микроскопического процесса спонтанного излучения с помощью горячей и не очень интенсивной плазмы, которая генерируется с помощью лазера.

30 В первой технологии используется ксеноновая струя, облучаемая лазером на иттрий-алюминиевой основе с мощностью около 1 кВт. В действительности, когда природа газа и условия расширения в вакууме выбраны правильно, то в струе естественным образом создаются агрегаты ("скопления") за счет многотельного взаимодействия. Речь идет о макрочастицах, которые могут содержать до миллиона атомов и имеют достаточно высокую плотность (около одной десятой плотности твердого вещества) для поглощения 35 лазерного луча и тем самым нагревания атомов окружающего газа, которые затем могут излучать фотоны за счет флуоресценции.

Полученное при этом ЭУФ-излучение или мягкое рентгеновское излучение собирается с помощью подходящего оптического средства, формируется в пространстве с помощью 40 нескольких промежуточных оптических средств и затем облучает маску. Используемые промежуточные оптические средства являются многослойными зеркалами, которые имеют высокий, но узкий пик отражения (с полосой передачи от 2 до 5% в зависимости от конкретных многих слоев) вблизи интересующей длины волны экстремального ультрафиолетового излучения (например, 13,4 нм при чередовании слоев Mo и Si и 11,2 нм при чередовании слоев Mo и Be).

45 Во второй технологии используется корона из плазмы с высоким атомным номером, полученной посредством взаимодействия лазерного луча, который выдается KrF-лазером и имеет плотность около 10^{12} Вт/см², и твердой мишенью с большой толщиной (по меньшей мере 20 мкм).

50 Это схематично изображено на фиг.1, где показана твердая мишень 2, при этом лазерный луч 6 сфокусирован на ее поверхности 4 через соответствующее фокусирующее оптическое устройство 8. Как показано на фиг.1, ЭУФ-излучение генерируется за счет взаимодействия сфокусированного лазерного луча с материалом мишени. Это излучение излучается из поверхности 4, называемой передней поверхностью, и улавливается с

помощью соответствующих оптических коллекторных средств 12.

В показанном примере, эти оптические коллекторные средства 12 расположены напротив передней поверхности 4, они включают отверстие 14 для прохождения фокусированного луча и сбора ЭУФ-излучения 10 с целью его передачи в направлении
5 других оптических средств (не изображены) для использования этого ЭУФ-излучения. Наиболее подходящим материалом для этого типа источников представляется рений для излучения вблизи 13,4 нм. Коэффициент преобразования, полученный с помощью этого материала (отношение между излучаемой энергией облучения и падающей энергией), может достигать даже 0,85% в 2% полосе передачи вокруг этой длины волны 13,4 нм.

10 Однако энергия такого источника ЭУФ-излучения является недостаточной, поскольку лазерная энергия, в случае приведенных экспериментов, составляет порядка от 1 Дж до нескольких джоулей.

Однако, прежде всего, эффективность сбора фотонов является низкой (порядка 10%) и это в конечном итоге приводит к тому, что выход (используемые фотоны) лазерная
15 энергия) является слишком низким. Кроме того, разрушение мишени является значительным, так что необходимо разрабатывать специальные устройства для сдерживания излучаемых частиц от коллекторных оптических средств во время взаимодействия лазерного луча с мишенью.

Указанные выше трудности вытекают из природы используемого физического процесса,
20 т.е. излучения за счет флуоресценции из горячей и не очень плотной среды. В действительности, когда связанный электрон возбуждается внутри атома или многозарядного иона с помощью процесса с участием фотона (механизм облучения) или электрона (механизм столкновения), то этот атом или этот ион снова находится в возбужденном состоянии, которое не стабильно. Затем он может распасться за счет
25 излучения одного или нескольких фотонов.

Поэтому для получения фотона с точной длиной волны (внутри ширины перехода) достаточно генерировать подходящий многозарядный ион, в котором существуют энергии перехода, соответствующие энергии необходимого фотона. Необходимо отметить, что
30 когда фотон излучается за счет спонтанной эмиссии, то он не имеет какого-либо предпочтительного направления и получается изотропное излучение.

В одной из предпочтительных технологий для генерирования большого числа возбужденных многозарядных ионов используется взаимодействие мощного лазерного луча со средой высокой плотности. В действительности, когда мощный лазерный луч взаимодействует с твердой (или квази твердой) мишенью, то электромагнитная волна,
35 связанная с лазерным лучом, распространяется в среде до так называемой пограничной плотности (которая в общем случае пропорциональна λ^2 , где λ является длиной волны лазера), и он передает свою энергию этой среде посредством нескольких микроскопических процессов.

В этом случае связанные электроны могут вырываться из атомов, ускоряться
40 электрическим полем, созданным лазером, и получать достаточную кинетическую энергию для отрыва в свою очередь других связанных электронов. За счет этого создаются многозарядные ионы, температура среды быстро увеличивается, пока не достигнет экстремальных величин (несколько сот тысяч, даже несколько миллионов градусов) и происходят микроскопические процессы, приводящие к излучению фотонов. В
45 действительности, под действием лазерного поля среда превращается в плазму, образованную многозарядными ионами, электронами и фотонами.

За исключением особых плотности, температуры и/или условий поля излучения различные указанные выше составляющие не находятся в равновесии друг с другом. А именно, это наблюдается в плазменной короне, которая соответствует зоне расширения,
50 где распространяется лазерная электромагнитная волна и сильно взаимодействует со средой. Эта корона характеризуется низкой плотностью материи (менее 0,001 плотности твердого вещества) и высокой температурой. Вероятность того, что излучаемый фотон будет поглощен в короне, является экстремально низкой. Эту корону называют оптически

тонкой.

Излучаемые фотоны покидают плазму и их можно затем использовать для различных целей, например для диагностики термодинамических условий среды с помощью спектроскопии или для литографии.

5 Ниже приводится описание недостатков известных источников экстремального ультрафиолетового излучения.

Эти источники создают проблему с эффективностью: в плазменной короне, генерируемой с помощью лазера, имеют место сильно изменяющиеся как во времени, так и в пространстве термодинамические условия (плотность, температура, количество
10 свободных электронов).

Характеристический эмиссионный спектр излучения из короны вблизи 10 нм является очень сложным и состоит из большого числа линий эмиссии, созданных атомной эмиссией или различными состояниями заряда. Когда выбирается хорошо определенная линия с очень узкой шириной полосы (порядка 2%), то можно видеть, что большая часть энергии,
15 эмитируемая плазмой в виде излучения, находится вне этой ширины полосы и поэтому теряется.

В соответствии с этим, сильно уменьшается эффективность (отношение созданной и используемой ЭУФ-энергии к используемой лазерной энергии). Кроме того, "паразитное"
20 излучение эмитируется изотропно, в частности, в телесном угле для сбора полезных фотонов и поэтому в направлении оптических средств для собирания этих фотонов.

Что касается сбора ЭУФ-излучения, то поскольку эмиссия фотонов горячей струей является изотропной, то необходимо предусматривать подходящие оптические коллекторные средства. Обычно применяют зонтиковый оптический коррелятор, полученный методом наложения друг на друга нескольких элементарных оптических
25 корреляторов (обычно шести). Для того, чтобы его телесный угол был максимальным, этот коллектор должен иметь большую площадь поверхности и должен быть размещен как можно ближе к плазме, которая эмитирует экстремальное ультрафиолетовое излучение.

Это очень трудно осуществимо с точки зрения материала (особенно в случае использования ксеноновых агрегатов из-за наличия сопла и системы улавливания
30 ксенона), и это создает также проблемы в отношении срока службы и обеспечения последнего. Таким образом, такой коллектор должен быть расположен вне источника ЭУФ-излучения, однако в этом случае уменьшается угол сбора (если не будет создан огромный коллектор, стоимость которого слишком велика). А это приводит к снижению эффективности.

35 Те же проблемы возникают в случае использования твердой мишени, где ЭУФ-излучение эмитируется с передней поверхности мишени. Кроме того, в этом случае плазменная корона, созданная лазером, имеет очень большую скорость расширения (более 10^6 см/с) даже при облучении лазером умеренной мощности. В соответствии с этим, существует вероятность загрязнения и повреждения частицами вещества различной
40 используемой оптики, что связано с риском уменьшения отражательных свойств этой оптики, а следовательно, числа фотонов, которые достигают подлежащего освещению фоточувствительного слоя. Необходимо разрабатывать специальные устройства для удаления этих частиц или остатков.

Кроме того, поскольку эмиссия за счет флуоресценции из горячей и не очень плотной
45 плазмы не имеет предпочтительного направления, то необходимо помещать специальные оптические средства между коллектором и маской для придания пространственной формы полю излучения. Эти специальные оптические средства содержат многослойные зеркала, что приводит к потере фотонов. Кроме того, следует упомянуть стоимость и трудности оптической настройки.

50 Источник излучения в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне спектра, использующий толстую твердую мишень, которая эмитирует ЭУФ-излучение через переднюю поверхность, т.е. поверхность, принимающую фокусированный лазерный луч, имеет различные недостатки, а именно излучает остатки и имеет изотропное

ЭУФ-излучение, которое имеет большое угловое расхождение. В результате, в частности, литографическое устройство, использующее такой источник, является не очень эффективным.

Сущность изобретения

5 Целью данного изобретения является устранение этих недостатков путем создания источника ЭУФ-излучения, которое является анизотропным. Это ЭУФ-излучение (например, для использования в литографическом устройстве) эмитируется задней поверхностью твердой мишени подходящей толщины, на переднюю поверхность которой сфокусирован лазерный луч.

10 Такой анизотропный источник обеспечивает увеличение полезной части луча ЭУФ-излучения и упрощение оптических средств для сбора этого излучения.

В частности, целью данного изобретения является создание способа получения экстремального ультрафиолетового излучения, согласно которому используют по меньшей мере одну твердую мишень с первой и второй поверхностями, при этом эта мишень
15 способна излучать в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне спектра при взаимодействии с лазерным лучом, и лазерный луч фокусируют на первой поверхности мишени, при этом способ характеризуется тем, что мишень содержит материал, который способен излучать в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне спектра при
20 взаимодействии с лазерным лучом, и что толщина мишени находится в пределах от около 0,05 мкм до около 5 мкм, при этом мишень способна излучать анизотропно часть экстремального ультрафиолетового излучения из второй поверхности этой мишени, и что часть экстремального ультрафиолетового излучения собирают и передают для использования этой части.

Целью данного изобретения является также создание источника экстремального
25 ультрафиолетового излучения, при этом этот источник содержит по меньшей мере одну твердую мишень с первой и второй поверхностями, при этом эта мишень способна излучать в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне спектра при взаимодействии с лазерным лучом, и лазерный луч фокусируется на первой поверхности мишени, при этом источник характеризуется тем, что мишень содержит материал, который способен излучать
30 в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне спектра при взаимодействии с лазерным лучом, и что толщина мишени находится в пределах от около 0,05 мкм до около 5 мкм, при этом мишень способна анизотропно излучать часть экстремального ультрафиолетового излучения из второй поверхности этой мишени, при этом эта часть экстремального ультрафиолетового излучения собирается и передается для использования этой части.

35 Атомный номер материала, содержащегося в мишени, принадлежит к ряду атомных номеров от 28 до 92.

В частном варианте выполнения источника, согласно данному изобретению, этот источник содержит множество мишеней, которые прочно соединены друг с другом, при этом источник дополнительно содержит средство для перемещения этого множества
40 мишеней, так что эти мишени последовательно принимают лазерный луч.

Источник может дополнительно содержать опорное средство, на котором закреплены мишени и которое обеспечивает прохождение лазерного луча в направлении этих мишеней, в котором предусмотрено перемещающее средство для перемещения этого опорного средства и тем самым мишеней.

45 Это опорное средство может быть способным поглощать излучения, эмитируемые первой поверхностью каждой мишени, принимающей лазерный луч, и повторно эмитировать эти излучения в направлении этой мишени.

В соответствии с первым частным вариантом выполнения источника, согласно данному изобретению, это опорное средство имеет отверстие напротив каждой мишени, при этом
50 это отверстие ограничено двумя стенками, по существу параллельными друг другу и перпендикулярными этой мишени.

Согласно второму частному варианту выполнения, это опорное средство содержит отверстие напротив каждой мишени, при этом это отверстие ограничено двумя стенками,

проходящими в направлении мишени и удаляющимися друг от друга.

Согласно частному варианту выполнения изобретения, источник дополнительно содержит неподвижное вспомогательное средство, которое обеспечивает прохождение лазерного луча в направлении мишени, поглощение излучений, эмитированных первой

5 поверхностью, и повторное эмитирование этих излучений в направлении этой мишени.

Целью данного изобретения является также создание литографического устройства, содержащего:

- опору для образца, подлежащего освещению в соответствии с заданным узором,
- источник экстремального ультрафиолетового излучения, согласно данному

10 изобретению,

- маску, содержащую заданный узор в увеличенном виде,
- оптическое средство для сбора и передачи к маске части экстремального

ультрафиолетового излучения из второй поверхности мишени источника, при этом маска обеспечивает изображение узора в увеличенном виде, и

15 - оптические средства для уменьшения этого изображения и проекции уменьшенного изображения на образец.

Образец может содержать полупроводниковую подложку, на которую нанесен слой фоточувствительного полимера, который подлежит освещению в соответствии с заданным узором.

20 Перечень фигур чертежей

Для лучшего понимания изобретения ниже приводится подробное описание примеров выполнения, служащих чисто информационным и не ограничивающим объема изобретения целям, со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых изображено:

фиг.1 - схема известного ЭУФ-источника, описание которого было приведено выше;

25 фиг.2 - схема частного варианта выполнения литографического устройства согласно данному изобретению, в котором используется источник ЭУФ-излучения, согласно изобретению;

фиг.3 - лента, образующая ряд мишеней, которые используются в изобретении, в изометрической проекции;

30 фиг.4 и 5 - часть источников ЭУФ-излучения согласно изобретению, в изометрической проекции;

фиг.6 - часть другого источника ЭУФ-излучения согласно изобретению, в изометрической проекции.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

35 Плазма, полученная за счет взаимодействия твердой мишени и лазерного луча, включает несколько зон. Естественно, имеется зона взаимодействия, которую называют "корона", а также последовательность, при упрощенном рассмотрении, других зон:

- зона, называемая "проводящей зоной", куда не проникает лазерный луч и эволюция которой управляется тепловыми, электронными и излучающими условиями, при этом часть

40 фотонов, излучаемых ионами короны, излучается в направлении холодной и плотной части мишени, и

- зона поглощения и повторного излучения, где фотоны высокой энергии, приходящие из короны или проводящей зоны, поглощаются плотной и холодной материей и тем самым способствуют нагреванию этой материи и тем самым излучению фотонов меньшей

45 энергии.

Последние образуют волну излучения, которая имеет в среде предпочтительное направление распространения вдоль температурного градиента и которая, когда мишень не очень толстая, может выходить из мишени через заднюю поверхность мишени, т.е. поверхность, которая геометрически противоположна поверхности, с которой

50 взаимодействует лазер. Эффективность преобразования на задней поверхности (отношение излучаемой энергии, включая все длины волн, к падающей лазерной энергии) может составлять около 30%.

Такое излучение из задней поверхности мишени характеризуется спектральным

распределением, очень отличным от передней поверхности, поскольку условия температуры и плотности зон, ответственных за излучение фотонов, сильно различны. Эмитируемое излучение естественно имеет угловое распределение даже при идеально плоской мишени: это излучение не является изотропным.

5 Кроме того, характеристическая скорость распространения задней поверхности на несколько порядков меньше, чем передней поверхности, за счет чего большая часть энергии находится в виде излучения.

Именно поэтому в данном изобретении используется ЭУФ-излучение, эмитируемое задней поверхностью твердой мишени соответствующей толщины, на передней 10 поверхности которой фокусируется лазерный луч. Таким образом, получают анизотропное ЭУФ-излучение, а остатки материи уменьшаются до минимума.

Для генерирования ЭУФ-излучения мишень предпочтительно содержит материал, атомный номер Z которого соответствует условию $28 \leq Z \leq 92$.

15 Можно смешивать или соединять с этими материалами другие материалы, которые способны также генерировать за счет взаимодействия с лазерным лучом ЭУФ-излучение, имеющее правильные спектральные характеристики.

Кроме того, их можно, не обязательно, соединять с одним или несколькими материалами с меньшими атомными номерами для отфильтровывания паразитного излучения.

20 Толщина мишени, содержащей материал, генерирующий ЭУФ-излучение, или активный элемент, предпочтительно составляет от 0,1 мкм до 5 мкм.

Мишень предпочтительно оптимизирована для получения эффективной эмиссии с задней стороны без слишком заметного расширения материи.

Характеристики лазера также согласованы (в частности, длительность и форма 25 подаваемых импульсов света, их длина волны и интенсивность) для получения термодинамических условий, необходимых в мишени для оптимального преобразования экстремального ультрафиолетового излучения на задней поверхности в желаемый диапазон длин волн, который составляет, например, от 10 нм до 20 нм.

30 На фиг.2 схематично показан источник ЭУФ-излучения, согласно данному изобретению, в специальном применении для литографии.

Как показано на фиг.2, литографическое устройство содержит опору 16 для полупроводниковой подложки 18, например, кремниевой подложки, на которую нанесен слой 20 фоточувствительного полимера, подлежащего освещению в соответствии с заданным узором.

35 Дополнительно к источнику 22 ЭУФ-излучения, согласно данному изобретению, устройство содержит:

- маску 24, содержащую узор в увеличенном виде,

- оптическое средство 26 для собирания и передачи к маске 24 части ЭУФ-излучения, выдаваемого задней стороной твердой мишени 28, которую содержит источник, при этом 40 маска 24 обеспечивает изображение этого узора в увеличенном виде, и

- оптическое средство для уменьшения этого изображения и для проецирования уменьшенного изображения на слой 20 фоточувствительного полимера.

Мишень выполнена, например, из металла, такого как серебро, медь, самарий или рений и имеет небольшую толщину (например, порядка 1 мкм).

45 Для генерирования ЭУФ-излучения для освещения фоточувствительного слоя импульсный луч 34, излучаемый импульсным лазером 35, фокусируют на первой поверхности 30 мишени, называемое "передней поверхностью", через оптическое фокусирующее средство 32. Затем мишень 28 эмитирует анизотропное ЭУФ-излучение 36 со своей задней поверхности 37, которая противоположна передней поверхности 30.

50 Источник 22, коллектор 26, маска 24, оптическое средство 29 и опора 16, несущая подложку 20, помещены в оболочку (не изображена), в которой поддерживается низкое давление. Лазерный луч проходит в эту оболочку через соответствующее впускное отверстие (не изображено).

В показанном на фиг.2 примере оптическое коллекторное средство 26 состоит из оптического коллектора, который расположен напротив задней поверхности 28 мишени 28 и предназначен для собирания ЭУФ-излучения, анизотропно эмитируемого ее задней поверхностью, для формирования этого излучения и передачи его на маску 24.

5 В показанном на фиг.2 устройстве нет необходимости в дополнительном оптическом средстве между коллектором 26 и маской 34, что упрощает оптические средства для литографического устройства.

10 Можно видеть, что мишень 28 с небольшой толщиной прикреплена своей передней поверхностью 30 к опоре 38, снабженной отверстием 40 для пропускания сфокусированного лазерного луча 34, так что он достигает ее передней поверхности.

15 В частности, поскольку единственный лазерный луч локально разрушает мишень с небольшой толщиной, то невозможно посылать дважды лазерный луч в ту же самую точку мишени. Поэтому опора 38 снабжена перемещающим средством (не изображено), которое обеспечивает последовательное экспонирование разных зон мишени сфокусированным лазерным лучом.

Это схематично показано на фиг.3, где твердая мишень 42 небольшой толщины (например, 1 мкм) показана в виде ленты, закрепленной на гибкой опоре 44, которая, например, выполнена из пластмассы и снабжена продольным отверстием 46 для пропускания сфокусированного лазерного луча 34.

20 Опора и мишень образуют в целом гибкую составную ленту, которая сматывается с первой катушки 48 и наматывается на вторую катушку 50, которая может вращаться с помощью подходящего средства (не изображено), для перемещения мишени напротив сфокусированного лазерного луча, содержащего импульсы, которые последовательно попадают на разные зоны мишени. В этом случае можно считать, что несколько мишеней
25 соединены вместе.

В альтернативном варианте выполнения (не изображен) можно дополнительно использовать гибкую ленту из пластмассы в качестве опоры мишени и закреплять несколько цепей на этой опоре на равномерном расстоянии друг от друга, при этом в этом случае отверстие предусмотрено в опоре противоположно каждой мишени для пропускания
30 сфокусированного лазерного луча.

В качестве опоры мишени предпочтительно использовать вместо пластмассовой ленты ленту 52 (смотри фиг.4), например, из меди, серебра, самария или рения, способную поглощать излучение (излучения), эмитированные передней поверхностью мишени 42 под ударом сфокусированного луча 34 и повторно эмитировать эти излучения в направлении
35 этой мишени (которая перемещается с лентой 52). Эта лента 52 имеет толщину, например, порядка от 5 до 10 мкм.

Продольное отверстие, пропускающее лазерный луч 34, сфокусированный на мишени, может быть ограничено двумя стенками 54 и 56, по существу параллельными друг другу и по существу перпендикулярными мишени, как это показано на фиг.4.

40 Однако для лучшего поглощения излучения, эмитированного передней поверхностью мишени, и лучшей повторной эмиссии последнего в направлении мишени обе стороны, ограничивающие отверстие, предпочтительно проходят в направлении мишени и расходятся друг от друга, как показано на фиг.5, где обе стенки обозначены позициями 55 и 57.

45 В другом примере, схематично показанном на фиг.6, мишень 42 закреплена на подвижной опоре 44 типа, описанного применительно к фиг.3. Кроме того, в показанном на фиг.6 примере, источник ЭУФ-излучения содержит часть 58, закрепленную относительно сфокусированного лазерного луча 34 и расположенную напротив передней поверхности мишени.

50 Эта часть содержит отверстие, пропускающее лазерный луч, который сфокусирован на этой передней поверхности мишени, и отверстие, которым снабжена эта часть, расширяется в направлении мишени и, таким образом, содержит две стенки 60 и 62, наклоненные относительно этой мишени, проходящие в направлении мишени и

расходящиеся друг от друга.

Излучение 64, эмитированное передней поверхностью мишени 42, затем поглощается этими стенками 60 и 62 и повторно эмитируется в направлении передней поверхности мишени.

5 ЭУФ-излучение 36, эмитированное задней стороной мишени является, таким образом, более интенсивным.

Естественно, источник рентгеновского излучения с использованием эмиссии рентгеновского излучения из задней поверхности мишени, образованной алюминиевым листом с толщиной 7 мкм, передняя поверхность которого облучается лазерным лучом с 10 плотностью мощности 3×10^{13} Вт/см, известен из статьи Н.Hirose и др. в Prog. Crystal Growth and Charact., том 33, 1996, страницы 227-280.

Однако необходимо отметить, что в способе и источнике, согласно данному изобретению, используется мишень небольшой толщины в диапазоне от около 0,05 мкм до около 5 мкм, при этом эта мишень предпочтительно выполнена из материала, для которого 15 атомный номер Z намного больше, чем атомный номер алюминия, поскольку Z предпочтительно больше или равно 28 (и меньше или равно 92).

Предпочтительным материалом для образования мишени, используемой в данном изобретении, является олово, для которого Z равно 50.

Кроме того, в изобретении можно использовать мишень с очень малой толщиной, 20 меньшей или равной 1 мкм, образованную на пластмассовой подложке (например, на CH_2 подложке (полиэтилен) с толщиной 1 мкм), при этом задняя поверхность этой мишени (предпочтительно из олова), т.е. поверхность, которая эмитирует используемое ЭУФ-излучение, лежит на подложке. Можно также формировать на передней поверхности этой мишени слой золота с толщиной менее 1000 Å (т.е. 100 нм).

25 Возвращаясь к указанной выше статье, следует отметить, что алюминиевую мишень толщиной 7 мкм нельзя использовать для эмиссии с ее задней поверхности, когда ее передняя поверхность облучается лазерным лучом с максимальной плотностью мощности менее 3×10^{13} Вт/см², как указано в статье, и в частности, в области микролитографии, где максимальной плотностью мощности считается, например, мощность около 10^{12} Вт/см².

30 Необходимо учитывать также следующее:

Когда происходит взаимодействие лазера с материалом с низким атомным номером Z , таким как алюминий ($Z=13$), то перенос лазерной энергии, поглощаемой в короне (на 35 стороне взаимодействия с лазером, т.е. на передней поверхности) в холодные и плотные зоны (т.е. к задней поверхности) происходит за счет тепловой проводимости электронов. Даже если мишень является относительно толстой, как в указанной статье, то получение анизотропного излучения с задней поверхности никоим образом не гарантировано.

С другой стороны, в случае материала с высоким Z , условия внутри и на задней поверхности мишени контролируются излучательной проводимостью. Анизотропия, которая 40 делает данное изобретение интересным, непосредственно связана с выходом этой излучательной волны на задней поверхности и тем самым с выбором толщины, оптимальное значение которой определяется описанным ниже образом.

С другой стороны, характеристические профили температуры и плотности в мишени, облучаемой лазером, являются очень различными в зависимости от низкого или высокого атомного номера материала, а также от толщины используемой мишени.

45 Оптимальную толщину E_0 для оптимизации степени X преобразования на задней поверхности можно определить с использованием аналитической модели. E_0 связана с атомным номером Z материала мишени, температурой T (°K) в этой среде (которая сама зависит от поглощаемого лазерного потока ϕ_a , выраженного в Вт/см²), 50 длиной волны λ (мкм), длительностью импульсов Dt (с) и плотностью массы ρ (г/см³) следующей формулой:

$$E_0 \text{ (см)} = 26,22(A/Z)^{0,5} \times T^{0,5} \times Dt / \alpha ,$$

$$\text{где } \alpha = \rho \times \lambda^2 \times (1 + 0,946 (A/Z)^{0,5}).$$

Температура ($^{\circ}$ K) пропорциональна $\varphi_a^{2/3}$ и $\lambda^{4/3}$.

При низком уровне имеющейся в распоряжении лазерной энергии (менее 1 Дж), которая обычно необходима при применении изобретения для литографии, поскольку необходима очень высокая частота (более 1 кГц) для обеспечения достаточных статистических данных на уровне фоточувствительного полимера (что обеспечивает достижение порогового значения освещения) и для данной площади эмитируемой поверхности (установленной для оптимальной связи с используемой оптической системой) (например, с диаметром около 300 мкм), величина падающего на мишень лазерного потока не велика. При наносекундной частоте он не превышает 10^{12} Вт/см² при 1,06 мкм. Кроме того, производственные лазеры с этими частотами, основанными на цепочке импульсов длительностью 100 пс, в настоящее время практически не осуществимы.

При этих условиях указанная модель дает величину 30 эВ в качестве средней температуры, которую можно получить, если поглощается вся энергия.

При этих условиях для алюминия оптимальная толщина, которая обеспечивает оптимальную степень X преобразования на задней поверхности, равна 0,15 мкм, что очень далеко от условий, данных в указанной статье. Кроме того, при материале, таком как алюминий с низким атомным номером, излучение, эмитируемое задней поверхностью мишени, по определению не имеет никакого углового признака: оно по существу изотропно; поэтому переднюю поверхность и заднюю поверхность можно рассматривать как эквивалентные.

В случае применения золота при все тех же условиях она составляет менее 0,1 мкм.

Возвращаясь к приведенному выше примеру мишени из олова, образованной на CN_2 (полиэтиленовой) подложке, можно отметить следующее: полиэтилен, который может быть нанесен на заднюю поверхность тонкого листа олова, и золото, которое может быть нанесено на переднюю поверхность этого листа, оба служат для ограничения расширения эмитирующего материала, образованного оловом, прежде чем он будет нагрет облучающей волной для обеспечения лучшего проникновения фотонов через зону мишени, представляющую интерес. Полиэтилен на задней поверхности, который слегка нагревается, является прозрачным для излучения, а также ограничивает это расширение, а следовательно, уменьшает эмиссию остатков материи.

Формула изобретения

1. Способ получения экстремального ультрафиолетового излучения, согласно которому используют по меньшей мере одну твердую мишень (28, 42), имеющую первую и вторую поверхности, при этом эта мишень способна излучать в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне спектра за счет взаимодействия с лазерным лучом (34), и лазерный луч фокусируют на первой поверхности (30) мишени, отличающийся тем, что мишень (28, 42) содержит материал, который способен излучать в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне спектра при взаимодействии с лазерным лучом, и что толщина мишени находится в диапазоне от около 0,05 мкм до около 5 мкм, при этом мишень способна излучать анизотропно часть (36) экстремального ультрафиолетового излучения из второй поверхности (37) этой мишени, и что эту часть экстремального ультрафиолетового излучения собирают и передают для использования этой части.

2. Источник экстремального ультрафиолетового излучения, при этом этот источник содержит по меньшей мере одну твердую мишень (28, 42), имеющую первую и вторую поверхности, при этом эта мишень способна излучать в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне спектра за счет взаимодействия с лазерным лучом, сфокусированным на первой поверхности (30) мишени, отличающийся тем, что мишень (28, 42) содержит материал, который способен излучать в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне спектра при взаимодействии с лазерным лучом, и что толщина мишени находится в диапазоне от около 0,05 мкм до около 5 мкм, за счет чего мишень способна анизотропно излучать часть (36) экстремального ультрафиолетового излучения из второй поверхности (37) этой мишени, при этом эта часть экстремального ультрафиолетового излучения собирается и передается

для использования этой части.

3. Источник по п.2, в котором атомный номер материала, содержащегося в мишени, соответствует ряду атомных номеров от 28 до 92.

4. Источник по любому из п.2 или 3, содержащий множество мишеней (42), которые прочно соединены друг с другом, при этом источник дополнительно содержит средство (48, 50) для перемещения этого множества мишеней, так что эти мишени последовательно принимают лазерный луч (34).

5. Источник по п.4, дополнительно содержащий опорное средство (38, 44, 52), на котором закреплены мишени (42) и которое обеспечивает прохождение лазерного луча в направлении этих мишеней, при этом предусмотрено перемещающее средство (48, 50) для перемещения этого опорного средства и тем самым мишеней.

6. Источник по п.5, в котором опорное средство (52) способно поглощать излучения, эмитируемые первой поверхностью каждой мишени, которая принимает лазерный луч, и повторно эмитировать эти излучения в направлении этой мишени.

7. Источник по любому из п.5 или 6, в котором опорное средство имеет отверстие (40, 46) напротив каждой мишени, при этом это отверстие ограничено двумя стенками (54, 56), по существу, параллельными друг другу и перпендикулярными этой мишени.

8. Источник по любому из п.5 или 6, в котором опорное средство содержит отверстие напротив каждой мишени, при этом это отверстие ограничено двумя стенками (55, 57), проходящими в направлении мишени и удаляющимися друг от друга.

9. Источник по любому из пп.2-5, дополнительно содержащий неподвижное вспомогательное средство (58), которое обеспечивает прохождение лазерного луча (34) в направлении мишени, поглощение излучений, эмитированных первой поверхностью, и повторное имитирование этих излучений в направлении этой мишени.

10. Литографическое устройство, содержащее:

- опору (16) для образца, подлежащего освещению в соответствии с заданным узором,
- источник (22) экстремального ультрафиолетового излучения по любому из пп.2-9,
- маску (24), содержащую заданный узор в увеличенном виде,
- оптическое средство (26) для собирания и передачи к маске части экстремального

ультрафиолетового излучения из второй поверхности мишени источника, при этом маска обеспечивает получение изображения узора в увеличенном виде, и

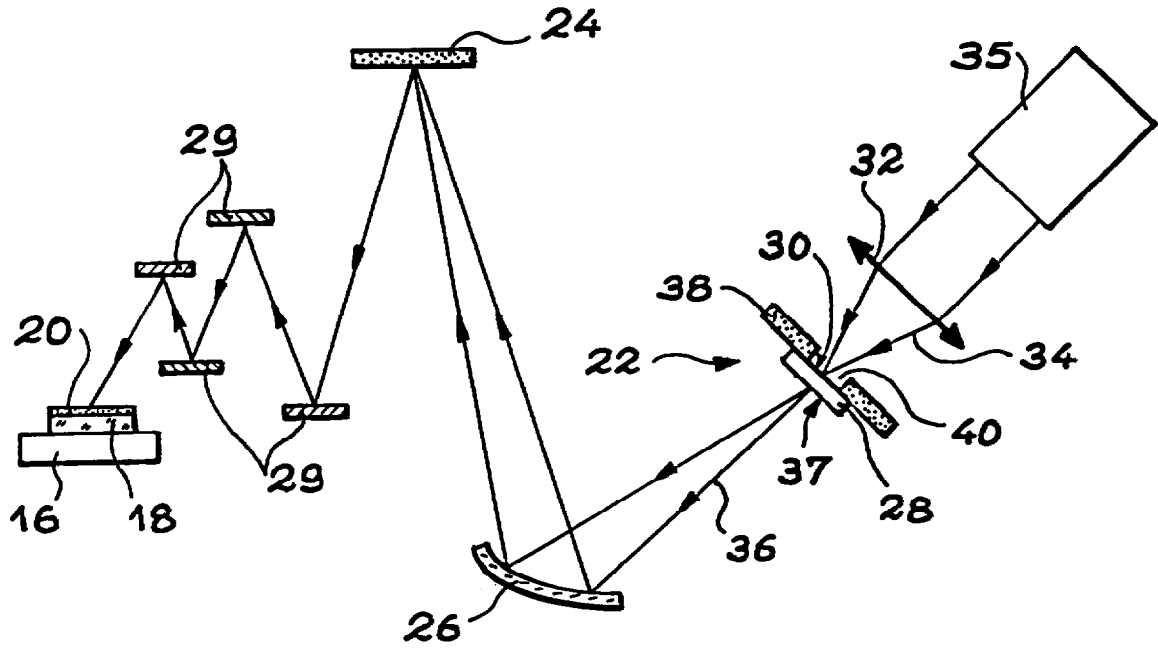
- оптическое средство (29) для уменьшения этого изображения и проекции уменьшенного изображения на образец.

11. Устройство по п.10, в котором образец содержит полупроводниковую подложку (18), на которую нанесен слой фоточувствительного полимера, который подлежит освещению в соответствии с заданным узором.

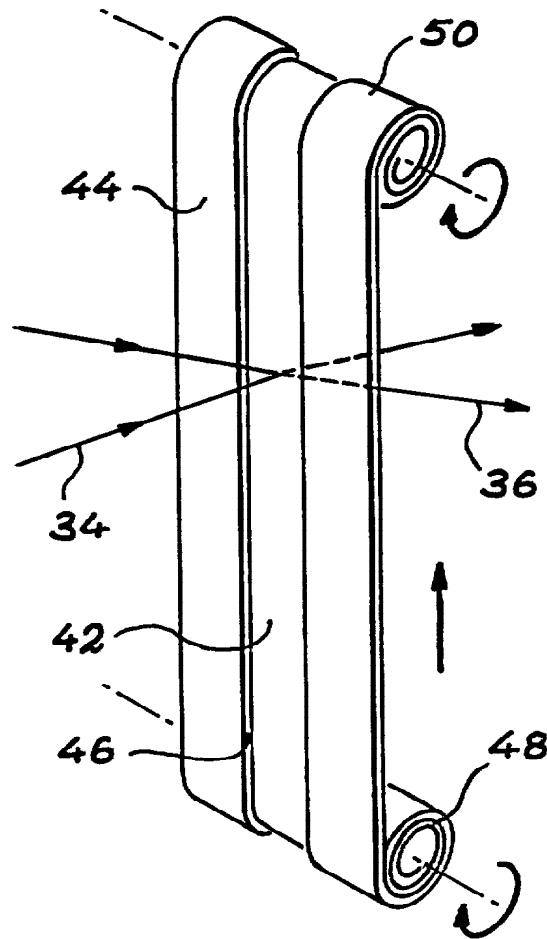
40

45

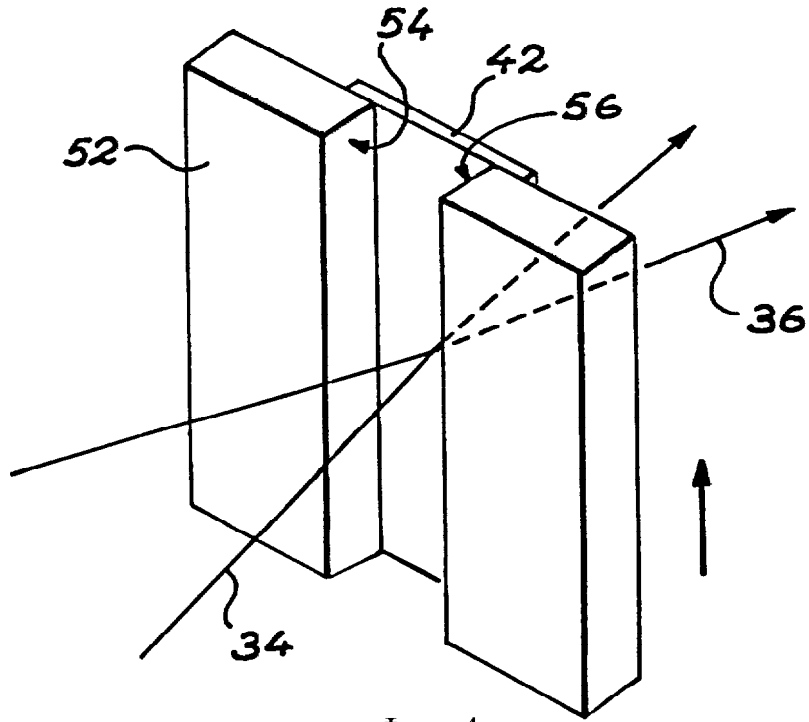
50



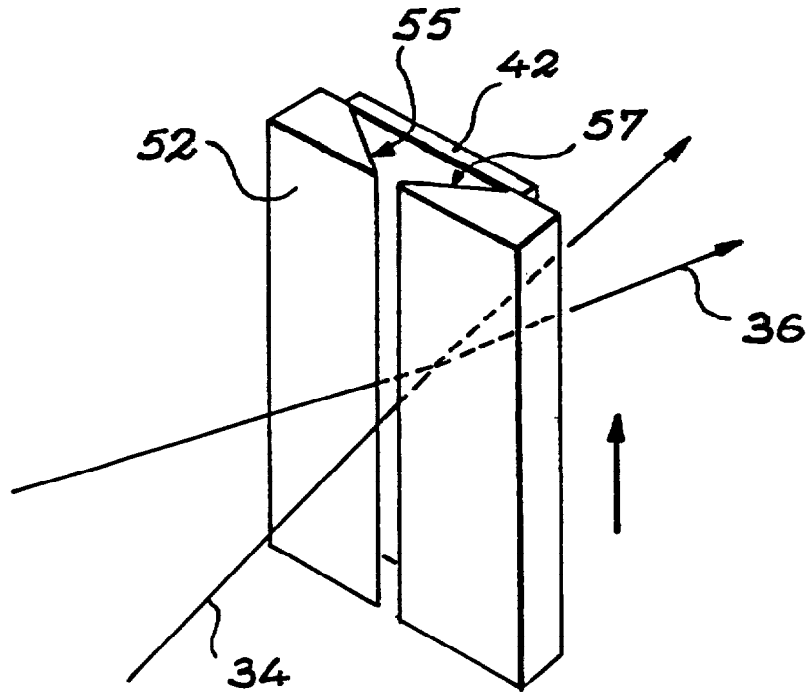
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

