



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015148270, 10.11.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.11.2015

Дата регистрации:
29.08.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.11.2015

(43) Дата публикации заявки: 12.05.2017 Бюл. № 14

(45) Опубликовано: 29.08.2017 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

**Балашов Игорь Сергеевич (RU),
Грунин Андрей Анатольевич (RU),
Федянин Андрей Анатольевич (RU),
Четвертухин Артем Вячеславович (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 8400616 B2, 19.03.2013. US
2014118715 A1, 01.05.2014. KR 2006019667 A,
06.03.2006. RU 2491594 C2, 27.08.2013.

(54) Устройство для изготовления периодических структур методом лазерной интерференционной литографии с использованием лазера с перестраиваемой длиной волны

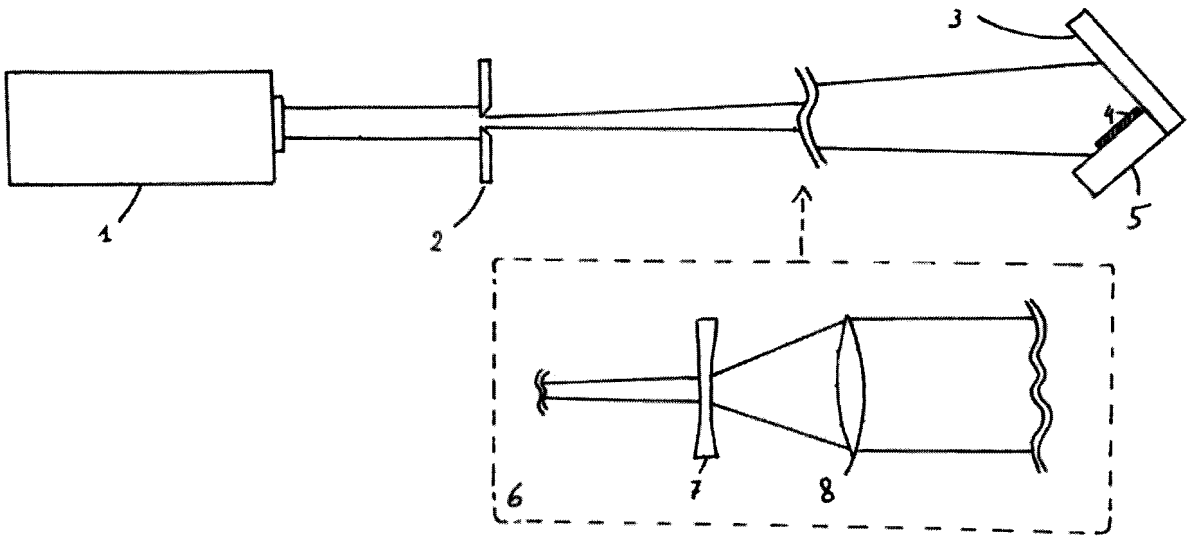
(57) Реферат:

Изобретение относится к области литографии и касается устройства для изготовления периодических микроструктур методом лазерной интерференционной литографии. Устройство включает в себя лазерный источник излучения, щелевую диафрагму, расширитель пучка и держатель образца с закрепленным на нем зеркалом. В качестве лазерного источника

излучения используют лазер с перестраиваемой длиной волны. Расширитель пучка состоит из рассеивающей и собирающей линз. Линия разреза щелевой диафрагмы параллельна линии пересечения плоскостей зеркала и держателя образца. Технический результат заключается в упрощении устройства и повышении его надежности. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.

**С 2
2 6 2 9 5 4 2
R U**

**R U
2 6 2 9 5 4 2
C 2**



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2015148270, 10.11.2015**

(24) Effective date for property rights:
10.11.2015

Registration date:
29.08.2017

Priority:

(22) Date of filing: **10.11.2015**

(43) Application published: **12.05.2017** Bull. № 14

(45) Date of publication: **29.08.2017** Bull. № 25

Mail address:

**119991, Moskva, GSP-1, Leninskie gory, 1,
Moskovskij gosudarstvennyj universitet imeni M.V.
Lomonosova, Fond "Natsionalnoe intellektualnoe
razvitiye"**

(72) Inventor(s):

**Balashov Igor Sergeevich (RU),
Grunin Andrej Anatolevich (RU),
Fedyanin Andrej Anatolevich (RU),
Chetvertukhin Artem Vyacheslavovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj
universitet imeni M.V. Lomonosova" (MGU)
(RU)**

(54) **DEVICE FOR PRODUCING PERIODIC STRUCTURES BY LASER INTERFERENCE LITHOGRAPHY USING LASER WITH TUNABLE WAVELENGTH**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: device includes a laser radiation source, a slit diaphragm, a beam expander, and a sample holder with a mirror mounted thereon. A laser with a tunable wavelength is used as the laser radiation source. The beam expander consists of the collecting and

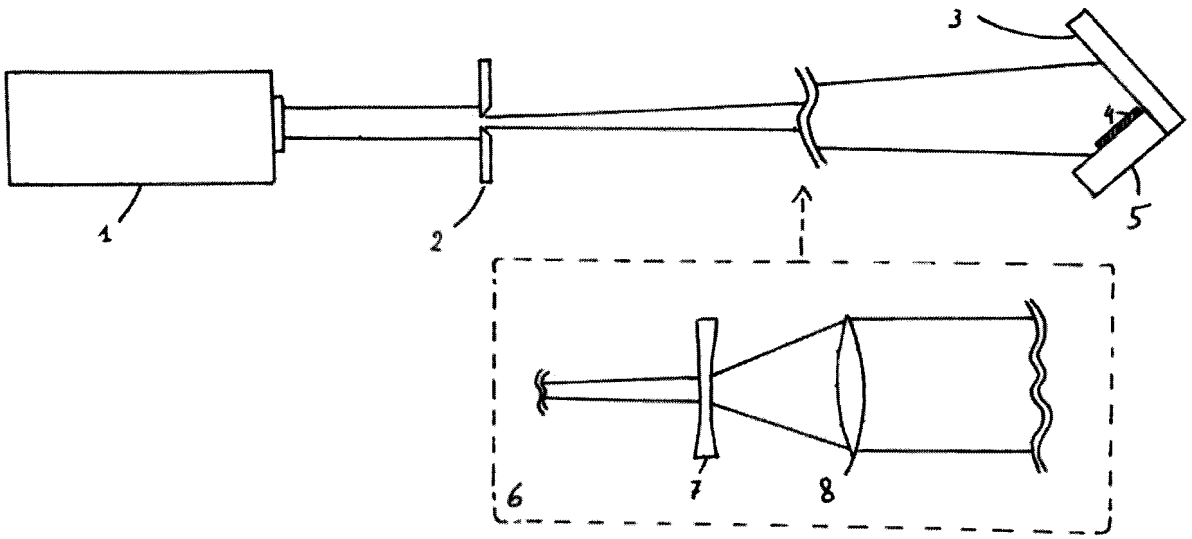
diffusing lenses. The cutting line of the slit diaphragm is parallel to the intersection line of the mirror planes and the sample holder.

EFFECT: simplifying the device and increasing the reliability thereof.

2 cl, 2 dwg

C 2 2 4 5 6 2 9 2 R U

R U 2 6 2 9 5 4 2 C 2



Фиг. 1

RU 2629542 C2

RU 2629542 C2

Заявляемое изобретение относится к области физики, в частности к сфере изготовления микроструктур с периодической структурированной поверхностью, и может быть использовано в устройствах фотоники. Устройство позволяет создавать периодический рисунок путем экспонирования лазерным светом светочувствительного слоя, нанесенного на поверхность, что может быть применено в устройствах фотоники, например в дисперсионных или поляризационных оптических элементах и голограммах [1].

Метод лазерной интерференционной литографии [2] используется для создания голограмм, дифракционных решеток, а также иных периодических одномерных и двумерных структур с высоким разрешением (периоды структур 100-1000 нм, разрешение достигает единиц нм). Он заключается в экспонировании светочувствительного слоя двумя (или более) когерентными лазерными лучами из одного источника света. При этом на поверхности светочувствительного слоя возникает периодический рисунок, обусловленный интерференцией лазерных лучей. Экспонированный образец после проявления можно использовать для нанесения дополнительных функциональных слоев, что используется, например, при создании металлических и магнитных структур. В качестве источника света используется лазер с высокой пространственной когерентностью и длиной волны ~300-400 нм для возможности создания структур с малым периодом. Основным недостатком метода считается сложность юстировки оптической схемы устройства для изменения периодичности изготавливаемых структур.

Для практических применений, в частности для получения структур с периодически структурированной поверхностью, используют устройства с двумя основными оптическими схемами:

- лазерная интерференционная литография на основе интерферометра Ллойда, которая используется для получения структур с высоким разрешением [3], и
- двухлучевая лазерная интерференционная литография, которая предпочтительнее для экспонирования больших пространственных областей [4].

В двухлучевой лазерной интерференционной литографии исходный луч делится на два при помощи светоделителя. Затем лучи по независимым оптическим путям попадают на поверхность подложки с нанесенным светочувствительным слоем. В случае использования лазерной интерференционной литографии на основе интерферометра Ллойда исходный луч фокусируют собирающей линзой на точечное отверстие (круговую диафрагму), из которой выходит расходящийся пучок света и попадает на интерферометр Ллойда - подложку и зеркало, расположенное перпендикулярно подложке. При этом максимальный размер структуры ограничен поперечной когерентностью луча. Однако, данный метод является более простым для сбора и юстировки устройства для изготовления периодических структур [2].

Период получаемой микроструктуры зависит от длины волны λ лазерного излучения и угла падения света α (в случае одинаковых углов падения света для первого и второго лазерного луча) [2]:

$$P = \lambda / 2 \sin \alpha.$$

Таким образом, для того чтобы устройство было пригодно для изготовления микроструктур с различной периодичностью, необходимо предусмотреть возможность либо изменения угла падения света, либо перестройки длины волны.

Из уровня техники известно устройство изготовления микроструктур методом двухлучевой лазерной интерференционной литографии, раскрытое в публикации US 8681315 B2, в котором для изменения периода изготавливаемых структур изменяется наклон зеркал, которые направляют излучение на область экспонирования. Кроме

того, в данной системе требуется изменять расстояние от вращающихся зеркал до области экспонирования, чтобы при перестройке угла падения света поверхность фоточувствительного слоя оставалась в области перекрытия лучей, создающих интерференционную картину.

5 Известное устройство не всегда удобно в применении, особенно в случае изготовления двумерной структуры с разным периодом в обоих направлениях.

Известны также способ и оптическая схема по интерференционной литографии с одним исходным лазерным лучом и активной стабилизацией с использованием интерферометра Ллойда, раскрытые в публикации US 20010035991 A1, при этом для
10 повышения качества изготавливаемой структуры используется система активной стабилизации. Система обратной связи поддерживает постоянную разность фаз между интерферирующими волновыми фронтами, что понижает помехи при экспозиции. Система зеркал поддерживает оптимальное поляризационное состояние лазерного луча. Преимуществом известного способа является высокое качество изготавливаемых
15 структур. Вместе с тем, способу присущ основной недостаток - сложность юстировки оптической схемы и отсутствие автоматического поворота образца для изготовления двумерных периодических структур в условиях чистой комнаты.

Известно устройство лазерной интерференционной литографии с использованием оптоволокну в качестве пространственного фильтра и расширителя пучка (публикация
20 CN 103792795 A), в котором в качестве пространственного фильтра и расширителя пучка используется оптическое волокно, что также упрощает настройку устройства и упрощает оптическую схему. Использование оптического волокна вместо круговой диафрагмы понижает пространственные шумы, вносимые окружающей средой, и позволяет добиться хорошей интерференционной картины и, следовательно,
25 высококачественных периодических структур.

Однако данное устройство неприменимо при высоких рабочих мощностях лазера, поэтому его использование может приводить к необходимости использования нейтральных фильтров и поглотителей, а также к увеличению времени экспозиции.

Наиболее близким к заявляемому устройству является устройство для метода
30 лазерной интерференционной литографии (публикация US 8400616 B2) с интерферометром Ллойда, в котором для получения больших размеров экспонированной области используется подвижный держатель образца, позволяющий последовательно экспонировать соседние области. Преимуществом данного метода является возможность получения структур большого размера.

35 Недостатками всех вышеперечисленных схем является необходимость поворота одного или нескольких оптических элементов и дополнительной юстировки при необходимости изменения периода изготавливаемой структуры.

Задачей изобретения является создание устройства для изготовления периодических
40 микроструктур с заданным периодом без необходимости дополнительных настроек системы оптических элементов.

Технический результат, достигаемый при использовании заявляемого изобретения, заключается в упрощении процесса настройки и управления устройством, повышении его надежности за счет устранения механических движений, что приводит к снижению вероятности поломки и износа устройства.

45 При реализации заявляемого устройства становится возможным не использовать собирающую линзу для фокусировки светового излучения (фиг. 2), что позволяет использовать большие рабочие мощности и уменьшить время изготовления микроструктур.

Поставленная задача решается тем, что устройство для изготовления периодических микроструктур методом лазерной интерференционной литографии согласно техническому решению включает расположенные по ходу оптического излучения источник света, в качестве которого используют лазер с перестраиваемой длиной волны, обеспечивающей возможность изменения периода изготавливаемой структуры, щелевую диафрагму, расширитель пучка, содержащий рассеивающую и собирающую линзы, и держатель образца с зеркалом, при этом линия разреза щелевой диафрагмы параллельна линии пересечения плоскостей зеркала и держателя образца. При этом изменение периода P изготавливаемой микроструктуры определяют по заданной длине волны лазера λ как $P = \lambda / 2 \sin \alpha$, где α - угол падения света от источника.

Заявляемое изобретение характеризуется схематичным изображением оптической схемы устройства (фиг. 1).

На фиг. 2 приведена ранее используемая оптическая схема с круговой диафрагмой.

Позициями на чертежах обозначены:

1. Лазер с перестраиваемой длиной волны
2. Щелевая диафрагма
3. Зеркало
4. Образец
5. Держатель образца
6. Расширитель пучка
7. Рассеивающая линза
8. Собирающая линза
9. Круговая диафрагма

В заявляемом устройстве предлагается использовать метод лазерной интерференционной литографии с интерферометром Ллойда и лазером с перестраиваемой длиной волны. При этом изменение периода изготавливаемой структуры определяется заданной длиной волны лазера, что позволяет избежать механических движений элементов в системе по сравнению с заданием периода при помощи изменения угла падения света. Устройство включает источник света 1, в качестве которого используется лазер с перестраиваемой длиной волны, щелевую диафрагму 2, размещенную на пути излучения, испускаемого источником света, расширитель пучка света, который представляет собой установленные последовательно на пути пучка света рассеивающую 7 и собирающую 8 линзы и держатель образца 5 с зеркалом 3. При этом держатель с зеркалом взаимно расположены таким образом, что линия, образованная при пересечении плоскостей расположения держателя и зеркала, параллельна линии разреза (щели) щелевой диафрагмы.

В предлагаемой схеме вместо обычно использующихся линзы и круговой диафрагмы (фиг. 2) для создания точечного источника когерентного света, падающего на область экспонирования образца, применяется щелевая диафрагма.

Использование щелевой диафрагмы вместо собирающей линзы и круговой диафрагмы позволяет применять большие рабочие мощности излучения, так как свет не фокусируется в одной точке с ее возможным перегревом. С другой стороны, повышение мощности излучения уменьшает время экспонирования и, тем самым, ускоряет процесс изготовления микроструктур.

Таким образом, создаются возможности для создания поверхностей с контролируемым периодом методом лазерной интерференционной литографии с использованием лазера с перестраиваемой длиной волны. Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны с образованием устойчивой совокупности

существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата. Настоящее устройство поясняется конкретным примером исполнения, который, однако, не является единственно возможным, но наглядно демонстрирует возможность достижения требуемого технического результата.

5 Данное устройство позволяет в прикладном плане получить возможность создания элементов устройств кремниевой электроники и фотоники, применимых для пространственного и частотного управления светом, например в дисперсионных или поляризационных оптических элементах и голограммах.

Список использованной литературы

10 1. Jiang, H.J., et al. "Single-step fabrication of diffraction gratings on hybrid sol-gel glass using holographic interference lithography." *Optics communications* 185.1 (2000): 19-24. H. Wolferen and L. Abelmann, *Lithography: Principles, Processes and Materials*, Nova Publishers (2011).

2. Xie, Q., et al. "Fabrication of nanostructures with laser interference lithography." *Journal of alloys and compounds* 449.1 (2008): 261-264.

15 3. Kitson, S.C., W.L. Barnes, and J.R. Sambles. "The fabrication of submicron hexagonal arrays using multiple-exposure optical interferometry." *Photonics Technology Letters, IEEE* 8.12 (1996): 1662-1664.

4. Q. Xie, M.H. Hong, H.L. Tan, G.X. Chen, L.P. Shi, and T.C. Chong, "Fabrication of nanostructures with laser interference lithography." *Journal of alloys and compounds* 449, no. 1
20 (2008): 261-264.

(57) Формула изобретения

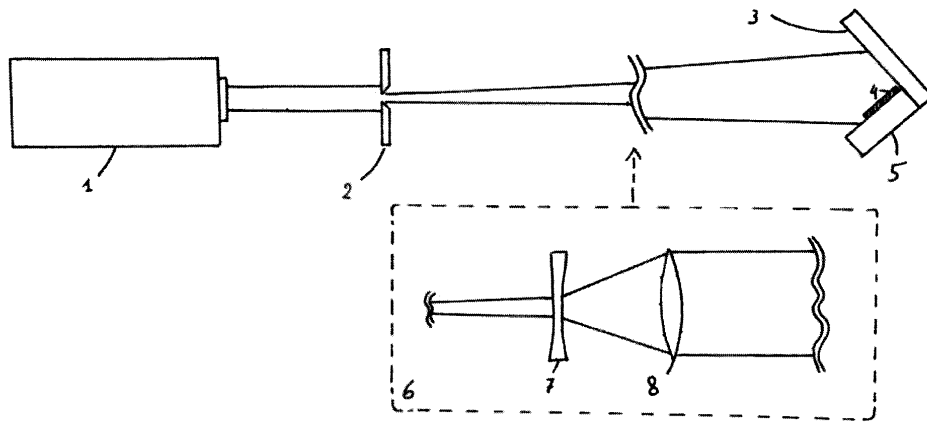
1. Устройство для изготовления периодических микроструктур методом лазерной интерференционной литографии, характеризующееся тем, что оно включает
25 расположенные по ходу оптического излучения источник света, в качестве которого используют лазер с перестраиваемой длиной волны, обеспечивающей возможность изменения периода изготавливаемой структуры, щелевую диафрагму, расширитель пучка, содержащий рассеивающую и собирающую линзы, и держатель образца с зеркалом, при этом линия разреза щелевой диафрагмы параллельна линии пересечения
30 плоскостей зеркала и держателя образца.

2. Устройство по п. 1, характеризующееся тем, что изменение периода P изготавливаемой микроструктуры определяют по заданной длине волны лазера λ как $P = \lambda / 2 \sin \alpha$, где α - угол падения света от источника.

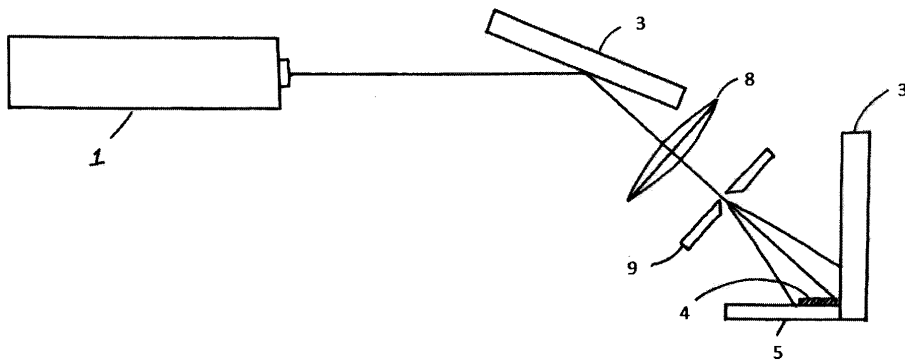
35

40

45



Фиг. 1



Фиг. 2