

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2540727

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ МАССИВА МИКРООПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013146304

Приоритет изобретения **16 октября 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **22 декабря 2014 г.**

Срок действия патента истекает **16 октября 2033 г.**

*Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Л.Л. Кирий





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013146304/03, 16.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.10.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.10.2013

(45) Опубликовано: 10.02.2015 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Laser-induced back side wet etching of silica glass with ns-pulsed DPSS UV laser at the repletion rate of 40 KHz. Hi-royuki Nino, at all, Journal of physics: Conference Series, V 59, 2007, p.539-542, English international Conference of Laser Ablation. SU 1682337 A1, 07.10.1991. RU 2009119059 A, 31.10.2009. US 6411439 B1, 25.06.2002. US 7611648 B2, 03.11.2009. . . .

Адрес для переписки:

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49,
НИУ ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Сергеев Максим Михайлович (RU),
Заколдаев Роман Алексеевич (RU),
Костюк Галина Кирилловна (RU),
Яковлев Евгений Борисович (RU),
Вейко Вадим Павлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных технологий,
механики и оптики (RU)

(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ МАССИВА МИКРООПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано при изготовлении микрооптических элементов - основного элемента оптики и оптоэлектроники и массива из них. Способ формирования массивов микрооптических элементов заключается в воздействии сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, сканируемого в плоскости контакта тыльной стороны стеклянной пластины, материал которой оптически прозрачен для длины волны проходящего сквозь нее пучка лазерного излучения, с пластиной из прессованного графита, значение коэффициента поглощения которого превышает 0.9. Воздействие периодически

прерывают с периодом, задающим период размещения микрооптических элементов в массиве. Период прерывания обеспечивают выбором частоты следования импульсов. После окончания формирования массива очищают поверхность массива от частиц графита. Технический результат - отказ от использования дорогостоящей оптики УФ диапазона спектра и от изготовления специальной кюветы для жидкости, усложняющих реализацию способа и накладывающих дополнительное ограничение с точки зрения техники безопасности лазерной техники. 19 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 540 727** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
C03B 23/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2013146304/03, 16.10.2013**

(24) Effective date for property rights:
16.10.2013

Priority:

(22) Date of filing: **16.10.2013**

(45) Date of publication: **10.02.2015** Bull. № 4

Mail address:

**197101, Sankt-Peterburg, Kronverkskij pr., 49, NIU
ITMO, OIS i NTI**

(72) Inventor(s):

**Sergeev Maksim Mikhajlovich (RU),
Zakoldaev Roman Alekseevich (RU),
Kostjuk Galina Kirillovna (RU),
Jakovlev Evgenij Borisovich (RU),
Vejko Vadim Pavlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij natsional'nyj
issledovatel'skij universitet informatsionnykh
tekhnologij, mekhaniki i optiki (RU)**

(54) **METHOD OF FORMING ARRAY OF MICROOPTICAL ELEMENTS**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: method of forming an array of microoptical elements includes exposure to a focused laser beam with nanosecond pulse duration, which is scanned in the plane of contact of the back side of a glass plate, the material of which is optically transparent for the wavelength of the laser beam passing through it, with a plate made of pressed graphite, the absorption coefficient of which is greater than 0.9. The exposure is periodically interrupted with a period which sets the period of arrangement microoptical elements in the

array. The period of interruption is provided by the choice of the pulse repetition frequency. After forming the array, graphite particles are removed from the surface of the array.

EFFECT: avoiding use of expensive UV optical components and making a special cuvette for liquid, which complicates implementation of the method and results in additional constraints in terms of laser safety equipment.

19 dwg

Изобретение относится к технологии изготовления микрооптических элементов - основного элемента оптики и оптоэлектроники и массивов из них и может быть использовано в устройствах обработки сигналов в оптоэлектронике. Кроме того, микрооптические элементы и массивы из них могут найти применение в системах построения изображений и в лазерной технике, а также в системах определения распределения мощности по сечению пучка.

Известен способ изготовления массива микрооптических элементов путем лазерно-индуцированного влажного травления (Fabrication of beam homogenizer in quartz by laser micromachining «Изготовление гомогенизаторов пучка в кварце лазерным микроструктурированием». Авторы: G. Kopitkovas, T. Lippert, C. Davidb, S. Canulescu, A. Wokaun, J. Gobrecht. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry V.166, 2004, с.135-140), которое имеет место в плоскости контакта тыльной стороны пластины из кварцевого стекла, значения коэффициента поглощения у которой для проходящего сквозь нее излучения не превышает 0.5, с жидкостью, значение коэффициента поглощения которой для падающего на нее излучения превышает 0.9, в которую проецируют с уменьшением изображение маски, установленной в сечении лазерного пучка ультрафиолетового (УФ) диапазона с наносекундной длительностью импульса, при плотности энергии на изображении маски $1.3 \div 2.6$ Дж/см, при 80 импульсах. К недостаткам данного способа следует отнести использование дорогостоящей проекционной оптики, прозрачной для УФ спектра ($\lambda=308$ нм), и ограничение на размеры изготавливаемых массивов микрооптических элементов (0.5×0.5 мм²), так как для гомогенизации высокомоощных лазерных пучков требуются массивы микрооптических элементов гораздо большего размера, например, 10×10 мм². Использование жидкости, контактирующей с тыльной стороной кварцевой пластины, требует изготовления специальной кюветы и тем самым усложняет реализацию способа и накладывает повышенные ограничения с точки зрения техники безопасности эксплуатации лазерной техники.

Наиболее близким к заявляемому способу и выбранный авторами за прототип является способ изготовления массива микрооптических элементов путем лазерно-индуцированного влажного травления с использованием наносекундного лазера УФ диапазона спектра с высокой частотой повторения импульсов (Laser-induced back side wet etching of silica glass with ns-pulsed DPSS UV laser at the repetition rate of 40 KHz «Лазерно-индуцированное влажное травление тыльной стороны силикатного стекла наноимпульсным излучением УФ лазера с частотой повторения импульса 40 КГц». Авторы: Hi-royuki Nino, Yoshizo Kawaguchi, Tadatak Sato, Aiko Narazaki, Thomas Gumpenbergerand, Ryozo Kurosaki; Journal of physics: Conference Series, V 59, 2007, p.539-542, English international Conference of Laser Ablation), заключающийся в сканировании пучка лазерного излучения в плоскости контакта тыльной стороны пластины кварцевого стекла, установленной перпендикулярно пучку падающего излучения, коэффициент поглощения который не превышает значение 0.5 для проходящего сквозь нее излучения с жидкостью, значение коэффициента поглощения которой для падающего на нее пучка лазерного излучения превышает 0.9. К недостаткам данного способа следует отнести использование дорогостоящей оптики формирования лазерного пучка, прозрачной для УФ спектра ($\lambda=266$ нм), ограничения на скорость перемещения сфокусированного лазерного пучка (0.1 м/с), то есть ограничение на производительность изготовления массива микрооптических элементов, а также использование жидкости, контактирующей с тыльной стороной кварцевой пластины, требует изготовления специальной кюветы и тем самым усложняет реализацию способа и накладывает дополнительные ограничения

с точки зрения техники безопасности эксплуатации лазерной техники. Указанные недостатки способа прототипа ограничивают производство массивов микрооптических элементов.

Решается задача устранения ограничений на использование дорогостоящей оптики прозрачной для УФ спектра, и жидкости, усложняющей реализацию способа и накладывающей дополнительные ограничения с точки зрения техники безопасности эксплуатации лазерной техники.

Указанный технический результат достигается тем, что способ формирования массива микрооптических элементов заключается в воздействии сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, сканируемым в плоскости контакта тыльной стороны стеклянной пластины, установленной перпендикулярно оптической оси, проходящего сквозь нее пучка лазерного излучения с длиной волны, для которой материал пластины оптически прозрачен, с веществом, обладающим коэффициентом поглощения, значение которого для длины волны падающего на него пучка лазерного излучения превышает 0.9, причем воздействие сканируемым сфокусированным пучком прерывают с периодом, задающим период размещения микрооптических элементов в массиве, а период прерывания обеспечивают выбором частоты следования импульсов, при этом в качестве вещества, контактирующего с тыльной стороной стеклянной пластины, используют прессованный графит, выполненный в форме пластины, очертание которой повторяет форму стеклянной пластины, воздействие сканируемым сфокусированным пучком лазерного излучения осуществляют с плотностью мощности не ниже $0.5 \cdot 10^8$ Вт/см² и не выше $1 \cdot 10^8$ Вт/см², частотой следования импульсов не менее 50 кГц, со скоростью сканирования по координате X не менее 0.5 м/с с шагом дискретизации по координате Y не более 1 мкм многократно до момента окончания формирования массива микроэлементов, после чего источник лазерного излучения отключают, пластину прессованного графита удаляют, стеклянную пластину поворачивают на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения, наносят на нее однородный слой воды, целиком покрывающий массив микрооптических элементов, и далее, включив источник лазерного излучения, воздействуют сканируемым сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта слоя воды с массивом микрооптических элементов с плотностью мощности не ниже $2.5 \cdot 10$ Вт/см² и не выше $3.5 \cdot 10^7$ Вт/см², с частотой следования импульсов не менее 20 кГц, со скоростью сканирования по координате X не менее 1.5 м/с и не более 2.0 м/с, с шагом дискретизации по координате Y не менее 12.0 мкм и не более 17.0 мкм многократно до момента полной очистки поверхности массива микрооптических элементов от частиц графита.

После формирования массива микрооптических элементов и проведения операции очистки пластину с массивом микрооптических элементов, как правило, подвергали отжигу в печи в интервале температур 600÷800°C в течение 1 часа для устранения термомеханических напряжений, возникновение которых возможно в процессе формирования массива.

Во всех приведенных далее примерах формирование массива микрооптических элементов после формирования массива и проведения операции очистки был использован отжиг пластины с массивом в печи.

Сущность в заявляемом способе достигается тем, что согласно способу формирования массива микроэлементов, заключающемуся в воздействии сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, сканируемым в

плоскости контакта тыльной стороны стеклянной пластины, установленной перпендикулярно оптической оси, проходящего сквозь нее пучка лазерного излучения с длиной волны, для которой материал пластины оптически прозрачен, с веществом, обладающим коэффициентом поглощения, значение которого для длины волны падающего на него пучка излучения превышает 0.9, причем воздействие сканируемым сфокусированным пучком периодически прерывают с периодом, задающим период размещения микрооптических элементов в массиве, а период прерывания обеспечивают выбором частоты следования импульсов, до момента окончания формирования массива микрооптических элементов, в качестве вещества, контактирующего с тыльной стороной стеклянной пластины, используют прессованный графит, выполненный в форме пластины, очертания которой повторяют форму стеклянной пластины, воздействие сканируемым сфокусированным пучком лазерного излучения осуществляют с плотностью мощности не ниже $0.5 \cdot 10^8$ Вт/см² и не выше $1.0 \cdot 10^8$ Вт/см², с частотой следования импульсов не менее 50 кГц, со скоростью сканирования по координате X не менее 0.5 м/с, с шагом дискретизации по координате Y не более 1 мкм, многократно до момента окончания формирования массива микрооптических элементов, после чего источник лазерного излучения отключают, пластину прессованного графита удаляют, стеклянную пластину поворачивают на 180° градусов относительно оптической оси пучка лазерного излучения, наносят на ее поверхность однородный слой воды, целиком покрывающий массив микрооптических элементов, и далее, включив источник лазерного излучения, воздействуют сканируемым сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта слоя воды с массивом микрооптических элементов с плотностью мощности не ниже $2.5 \cdot 10^7$ Вт/см² и не выше $3.5 \cdot 10^7$ Вт/см², с частотой следования импульсов не менее 20 кГц, со скоростью сканирования по координате X не менее 1.5 м/с и не более 2 м/с, с шагом дискретизации по координате Y не менее 12.0 мкм и не более 17.0 мкм, многократно до момента полной очистки массива микрооптических элементов от частиц графита.

Использование в качестве вещества, контактирующего с тыльной стороной стеклянной пластины, прессованного графита, выполненного в форме пластины повторяющей очертание стеклянной пластины, и обладающего коэффициентом поглощения, значение которого для длины волны падающего на него пучка лазерного излучения близко к 1.0 (Рабинович В.А., Хавин З.Я. "Краткий химический справочник" Л.: Химия, 1977, 432 с.), позволит отказаться от использования специальных кювет для жидкостей, усложняющих процесс реализации способа и накладывающих повышенные ограничения с точки зрения техники безопасности эксплуатации высокомошной лазерной техники.

Количество проходов сканируемого, сфокусированного пучка лазерного излучения в плоскости контакта тыльной стороны стеклянной пластины и пластины из прессованного графита не менее 2 и не более 3 раз, обеспечивающее формирование микрооптических элементов в массиве оптического качества, с высокой степенью повторяемости характеристик (более 95% из 100%) и с высоким коэффициентом заполняемости массива микрооптическими элементами было определено в ходе экспериментальных исследований.

Очистка поверхности пластины с массивом микрооптических элементов, проводимая после поворота пластины на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения, показала лучшие результаты по сравнению с очисткой, проводимой без поворота пластины.

Проведение операции очистки с использованием нанесения однородного слоя воды

на поверхность массива микрооптических элементов фактически полностью устраняет вероятность растрескивания стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов в ходе процесса очистки. Использование однородного слоя воды для устранения растрескивания стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов в ходе процесса очистки было установлено экспериментальным путем.

Ограничения на плотность мощности, частоту следования импульсов, скорость сканирования по координате X и шаг дискретизации по координате Y, а также указание на количество проходов, обеспечивающих полную очистку массива микрооптических элементов от частиц графита, были определены в ходе экспериментальных исследований.

Количество проходов сфокусированного лазерного пучка в плоскости контакта слоя воды с поверхностью массива, обеспечивающее полную очистку поверхности массива от осевших на нее в процессе формирования массива частиц графита не меньше 2 и не больше 3, было определено экспериментальным путем.

Сущность предлагаемого изобретения поясняется чертежами, где:

на фиг.1 приведена схема для реализации способа формирования массива микрооптических элементов;

на фиг.2 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микрооптических элементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из стекла К8 (SiO_2 - 73.75, B_2O_3 - 9.83, BaO - 1.28, Na_2O - 10.74, K_2O - 4.28), контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с плотностью мощности $q_1=0.8 \cdot 10^8$ Вт/см², с частотой повторения импульсов $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате X- $V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате Y- $\Delta Y_1=1$ мкм за 3 прохода. После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с плотностью мощности $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с частотой повторения импульсов $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате X- $V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате Y- $\Delta Y_2=14$ мкм за 3 прохода. Фотографии микрооптического элемента массива выполнены на микроскопе Carl Zeiss Axio Imager A1 в проходящем и линейно-поляризованном свете, при скрещенных поляризаторе и анализаторе с увеличением $200\times$. Фотография в проходящем свете демонстрирует четкие очертания микрооптического элемента и отсутствие трещин и выколов. Однородно темный фон микрооптического элемента и окружающих его областей на фотографии в линейно-поляризованном свете указывает на отсутствие термомеханических напряжений;

на фиг.3 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из стекла К8, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с $q_1=0.4 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате X- $V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате Y- $\Delta Y_1=1$ мкм за 3 прохода. После

отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=14$ мкм за 3 прохода. Фотографии, как и в предыдущем случае, выполнены в проходящем и линейно-поляризованном свете при скрещенных поляризаторе и анализаторе с увеличением $200\times$. На обеих фотографиях очертания микрооптического элемента размыты;

на фиг.4 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из стекла К8, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с $q_1=1.2 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1$ мкм за 3 прохода. После

отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=14$ мкм за 3 прохода. На обеих фотографиях заметны незначительные трещины, окружающие микрооптический элемент;

на фиг.5 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из стекла К8, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с $q_1=0.8 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=40$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1$ мкм за 3 прохода. После

отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=14$ мкм за 3 прохода. На обеих фотографиях очертания микрооптического элемента размыты;

на фиг.6 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из стекла К8, контактирующий с пластиной из прессованного графита

сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с $q_1=0.8 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.4$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1$ мкм за 3 прохода. После

отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=14$ мкм за 3 прохода. На обеих фотографиях заметны искажения очертаний микрооптического элемента;

на фиг.7 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из стекла К8, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью

импульса, с $q_1=0.8 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.5$ мкм за 2 прохода.

После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.6$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=15$ мкм за 2 прохода. На обеих

фотографиях заметны искажения очертаний микрооптического элемента;

на фиг.8 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из кварцевого стекла, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью

импульса, с $q_1=1 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 3 прохода.

После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=2.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.6$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=15$ мкм за 3 прохода. На фотографии в проходящем свете заметны темные частицы графита, не удаленные при очистке;

на фиг.9 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне

пластины из кварцевого стекла, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с $q_1=1 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 3 прохода.

После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.6 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=25$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.7$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=15$ мкм за 3 прохода. На обеих

фотографиях заметны незначительные трещины, окружающие микрооптический элемент; на фиг.10 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из стекла К8, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной

длительностью импульса, с $q_1=0.8 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=60$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 2 прохода. После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=15$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=14$ мкм за 2 прохода. На фотографии в проходящем свете заметны не удаленные частицы графита;

на фиг.11 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из стекла К8, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с $q_1=0.8 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=60$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 2 прохода. После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.2$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=14$ мкм за 2 прохода. На фотографии в проходящем свете заметны не удаленные частицы графита;

на фиг.12 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из

микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из стекла К8, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с $q_1=0.8 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=60$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 2 прохода. После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=2.2$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=14$ мкм за 2 прохода. На фотографии в проходящем свете заметны не удаленные частицы графита;

на фиг.13 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из стекла К8, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с $q_1=0.8 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.6$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 3 прохода. После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=10$ мкм за 3 прохода. На фотографии в проходящем свете заметны не удаленные частицы графита;

на фиг.14 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из кварцевого стекла, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с $q_1=1.0 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 3 прохода. После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=18$ мкм за 3 прохода. На фотографии в проходящем свете заметны не удаленные частицы графита;

на фиг.15 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из кварцевого стекла, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной

5 длительностью импульса, с $q_1=1.0 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 3 прохода. После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических

10 элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость массива

микрооптических элементов с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=15$ мкм за

15 3 прохода. На фотографии в проходящем свете заметно большее количество неудаленных частиц графита и трещин, окружающих микрооптический элемент;

на фиг.16 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из кварцевого стекла, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной

20 длительностью импульса, с $q_1=1.0 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 1 проход. После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических

25 элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с

30 массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=14$ мкм за 2 прохода. На обеих фотографиях очертания микрооптического элемента существенно размыты;

на фиг.17 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины из кварцевого стекла, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной

35 длительностью импульса, с $q_1=1.0 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=60$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 4 прохода. После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических

40 элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с

45 массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=14$ мкм за 2 прохода. На

обеих фотографиях заметны трещины, окружающие микрооптический элемент;

на фиг.18 приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента микроэлементов массива. Микрооптический элемент этого массива был сформирован на тыльной стороне пластины стекла К8, контактирующий с пластиной из прессованного графита сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, с $q_1=0.8 \cdot 10^8$ Вт/см², с $\nu_1=50$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x1}=0.5$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_1=1.0$ мкм за 3 прохода.

После отключения источника лазерного излучения, изъятия пластины из прессованного графита, поворота стеклянной пластины с массивом микрооптических элементов на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения и нанесения однородного слоя воды на поверхность массива, целиком его покрывающего, источник лазерного излучения включали и осуществляли очистку поверхности массива от частиц графита сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта воды с массивом с $q_2=3.0 \cdot 10^7$ Вт/см², с $\nu_2=20$ кГц, со скоростью сканирования по координате $X-V_{x2}=1.8$ м/с, с шагом дискретизации по координате $Y-\Delta Y_2=14$ мкм за 3 прохода. Фотография в проходящем свете демонстрирует четкие очертания микрооптических элементов массива, высокую повторяемость их линейных размеров. Фотография в линейно-поляризованном свете при скрещенном поляризаторе и анализаторе демонстрирует отсутствие термомеханических напряжений;

на фиг.19 приведена компьютерная распечатка фрагмента фокальной плоскости микрооптических элементов массива фиг.18. Одинаковый диаметр фокальных пятен у всех микрооптических элементов фрагмента массива свидетельствует о высокой повторяемости оптических характеристик микрооптических элементов в массиве. Диаметр фокальных пятен каждого из микрооптических элементов фрагмента массива близок к дифракционному пределу для видимого диапазона спектра, и это указывает на высокое оптическое качество микрооптических элементов в массиве.

Устройство, реализующее предлагаемый способ (фиг.1), содержит импульсный волоконный иттербиевый лазер с длиной волны $\lambda=1.07$ мкм, длительностью импульса ~100 нс, частотой следования импульса $10 \div 100$ кГц и нестабильностью выходной мощности 1%, включающий блок управления 1, оптическое волокно 2 и коллиматор 3, зеркала сканирующей системы по координатам X и Y 4 и 5 с шаговыми двигателями сканатора 6 и 7, объектив 8, за которым перпендикулярно оптической оси источника излучения располагается пластина из стекла 9, размещенная вплотную к пластине из прессованного графита 10, закрепленной на неподвижном координатном столе 11. В устройстве предусмотрен блок синхронизации 12, обеспечивающий одновременность включения, выключения и прерывания лазерного излучения и поворот зеркал сканирующей системы 4 и 5 шаговыми двигателями сканатора 6 и 7.

Устройство работает следующим образом, излучение лазера 1 с помощью оптического волокна 2 подводится к коллиматору 3, расширяющему лазерный пучок. Расширенный лазерный пучок падает на зеркало 4 - первое из зеркал сканирующей системы, поворот, которого с помощью шагового двигателя сканатора 6 обеспечивает перемещение лазерного пучка по координате X. Второе зеркало 5 сканирующей системы, поворот которого с помощью шагового двигателя сканатора 7 обеспечивает смещение пучка по координате Y. После сканирующей системы зеркал 4 и 5 пучок лазерного излучения попадает в объектив 8, фокусирующий падающее на него излучение в плоскость контакта пластины из стекла 9 и пластины из прессованного графита 10 - плоскость формирования массива микрооптических элементов. Одновременно с включением

лазера с блоком управления 1 начинается поворот зеркала 4, задаваемый шаговым двигателем сканатора 6 и прерываемый с периодом размещения микрооптических элементов в массиве, причем прерывание поступления сфокусированного пучка лазерного излучения в плоскость формирования массива обеспечивается выбором частоты следования импульсов в блоке управления лазером 1. Одновременность включения лазера с блоком управления 1 и началом поворота зеркала 4 сканирующей системы с помощью шагового двигателя сканатора 6 обеспечивается блоком синхронизации 12. Смещение по координате Y, обеспечиваемое поворотом зеркала 5 сканирующей системы с помощью шагового двигателя сканатора 7, начинается после того, как перемещение сфокусированного лазерного пучка в пределах размера массива по координате X заканчивается. Управление шаговым двигателем сканатора 7, как и шаговым двигателем сканатора 6, осуществляется блоком синхронизации 12.

За смещением по координате Y вновь следует перемещение по координате X в пределах размера массива. Перемещение по координате X и смещение по координате Y поочередно повторяются до тех пор, пока не будет достигнут размер массива по координате Y. На этом первый проход формирования массива микрооптических элементов заканчивается, и при тех же условиях перемещение по координате X и смещение по координате Y сфокусированного лазерного пучка выполняют второй проход.

Управление расположением микрооптических элементов в массиве, их размером производилось с использованием блока синхронизации 12, обеспечивающего согласование работы блока управления лазером 1, отвечающего за характеристики лазерного излучения, такие как: мощности и частота следования импульсов, и зеркал 4 и 5 сканирующей системы с шаговыми двигателями сканатора 6 и 7, отвечающих за скорость перемещения сфокусированного лазерного пучка по координате X и шаг дискретизации по координате Y, а также выбора объектива фокусирующего лазерный пучок в плоскость формирования массива.

Минимальный размер микрооптического элемента и предельно малое расстояние между расположением микрооптических элементов в массиве, которые можно было сформировать по заявляемому способу, определяются расхожимостью пучка лазерного излучения используемого лазера, оптическими характеристиками объектива и минимальным шагом двигателя сканатора.

В частности, в устройстве реализации использовались шаговые двигатели (Scan M2) и объектив (диаметр объектива $d=50$ мм, $f=300$ мм).

Для объектива с d и f , с шаговыми двигателями сканатора, используемыми на приведенном в описании устройстве, минимальное сечение лазерного пучка могло составлять ~ 50 мкм.

Формирование микрооптических элементов в массиве было обусловлено практически полным поглощением лазерного излучения пластиной из прессованного графита ($A \approx 1$), приводящем к интенсивному нагреву и дальнейшему испарению частиц графита с поверхности пластины. Температура поверхности пластины из прессованного графита при сканировании сфокусированным пучком лазерного излучения, с приведенными в описании плотностями мощности превышала 1000°C и являлась достаточной для испарения и разлета частиц графита. Так как поверхности пластины из прессованного графита и пластины стекла, на которой осуществлялось формирование массива, находились в контакте, частицы испаряющегося и разлетающегося графита оседали на поверхность пластины стекла, формируя рельеф массива.

Очистка поверхности массива микрооптических элементов от частиц графита

сфокусированным сканируемым пучком лазерного излучения в плоскости контакта слоя воды и поверхности массива производилась на том же устройстве с использованием блока синхронизации 12, обеспечивающего согласование работы блока управления лазера 1, отвечающего за характеристики лазерного излучения, такие как: мощности и частота следования импульсов, и зеркал 4 и 5 сканирующей системы с шаговыми двигателями сканатора 6 и 7, отвечающими за скорость перемещения сфокусированного лазерного пучка по координате X и шаг дискретизации по координате Y.

Лазерная очистка поверхности массива от осевших на нее частиц графита в процессе формирования массива была основана на нагреве и испарении осевших частиц, поглощающих лазерное излучение.

Слой воды, покрывающий массив, позволял при меньшей плотности мощности, сканируемого сфокусированного лазерного пучка добиться полного удаления осевших на поверхности массива частиц графита, и тем самым существенно снижал вероятность растрескивания пластины с массивом при очистке только что прошедшего процесс формирования массива.

В плоскости контакта тыльной стороны пластины стекла с пластиной из прессованного графита сканируемым сфокусированным пучком лазерного излучения в соответствии с параметрами, заявляемыми в формуле изобретения формируется массив микрооптических элементов оптического качества без нарушения целостности массива и пластины.

При проведении очистки поверхности массива микрооптических элементов сфокусированным сканируемым пучком лазерного излучения в плоскости контакта слоя воды с поверхностью массива в соответствии с параметрами, заявляемыми в формуле изобретения, для поверхности массива характерно полное отсутствие частиц графита с сохранением качества поверхности элементов массива (фиг.2, фиг.18).

При формировании микроэлементов на тыльной стороне пластины стекла при условии, когда хотя бы один из параметров, приведенных в формуле изобретения, был нарушен (например, фиг.3 ($q_1=0.4 \cdot 10^6$ Вт/см²), фиг.4 ($q_1=1.2 \cdot 10^6$ Вт/см²), фиг.5 ($\nu_1=40$ кГц), фиг.6 ($V_{x1}=0.4$ м/с), фиг.7 ($\Delta Y_1=1.5$ мкм)), характерны либо нечеткость очертания отдельных элементов массива (фиг.3), либо незначительные трещины, окружающие отдельные элементы массива (фиг.4), либо размытость очертания отдельных элементов массива (фиг.5), либо искажение очертаний отдельных элементов в массиве (фиг.6, фиг.7).

Фиг.16 и фиг.17 иллюстрируют влияние количества проходов на качество микрооптических элементов формируемого массива.

При меньшем количестве проходов, чем приведено в описании изобретения (например, фиг.16 (N=1), и большем количестве проходов (например, фиг.17 (N=4)) характерны либо существенная размытость очертания микрооптического элемента (фиг.16), либо трещины, окружающие микрооптический элемент (фиг.17).

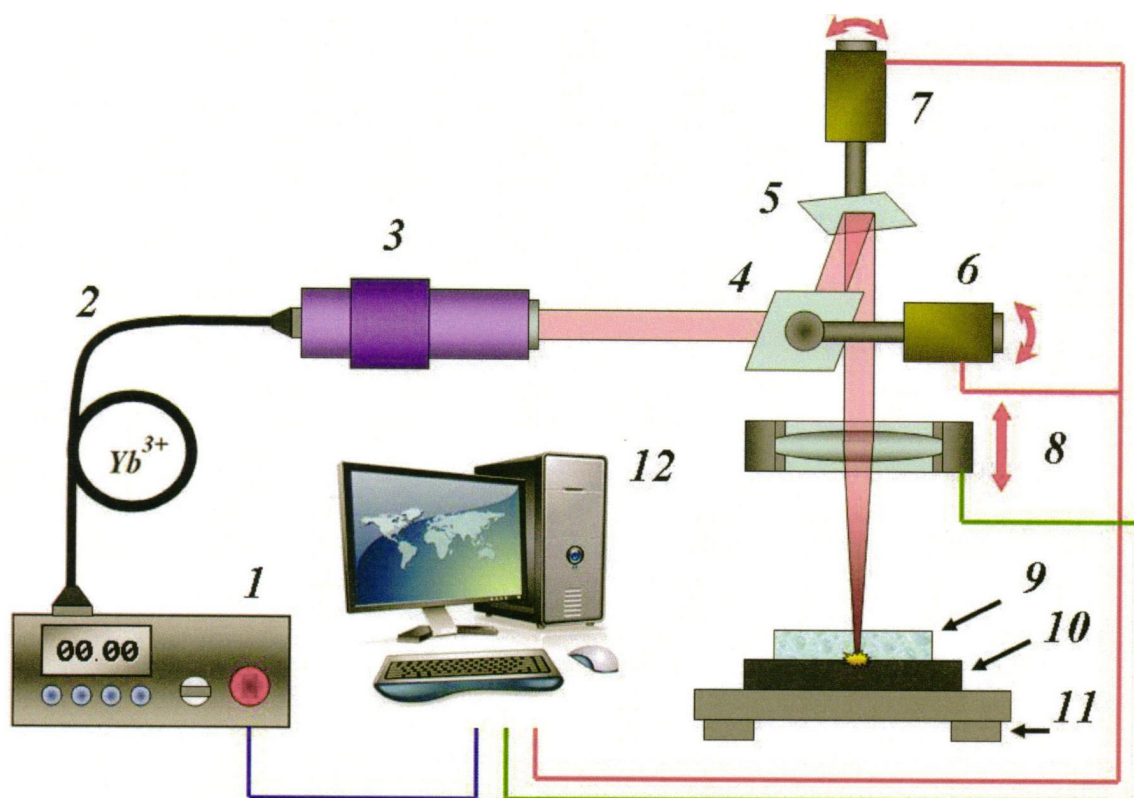
При очистке поверхности массива от частиц графита сфокусированным сканируемым пучком лазерного излучения в плоскости контакта слоя воды с поверхностью массива при условии, когда хотя бы один из параметров, приведенных в формуле изобретения был нарушен (например, фиг.8 ($q_2=2.0 \cdot 10^5$ Вт/см²), фиг.9 ($q_2=3.6 \cdot 10^5$ Вт/см²), фиг.10 ($\nu_2=15$ кГц), фиг.11 ($V_{x2}=1.2$ м/с), фиг.12 ($V_{x2}=2.2$ м/с), фиг.13 ($\Delta Y_2=10$ мкм), фиг.14 ($\Delta Y_2=18$ мкм), фиг.15 (на поверхность массива не нанесен слой воды)), на поверхности массива не заметны темные неудаленные частицы графита (фиг.8, фиг.10, фиг.11, фиг.12, фиг.13, фиг.14, заметны незначительные трещины, окружающие микрооптический элемент

(фиг.9), заметно значительное количество частиц графита и трещины, окружающие микрооптический элемент фиг.15.

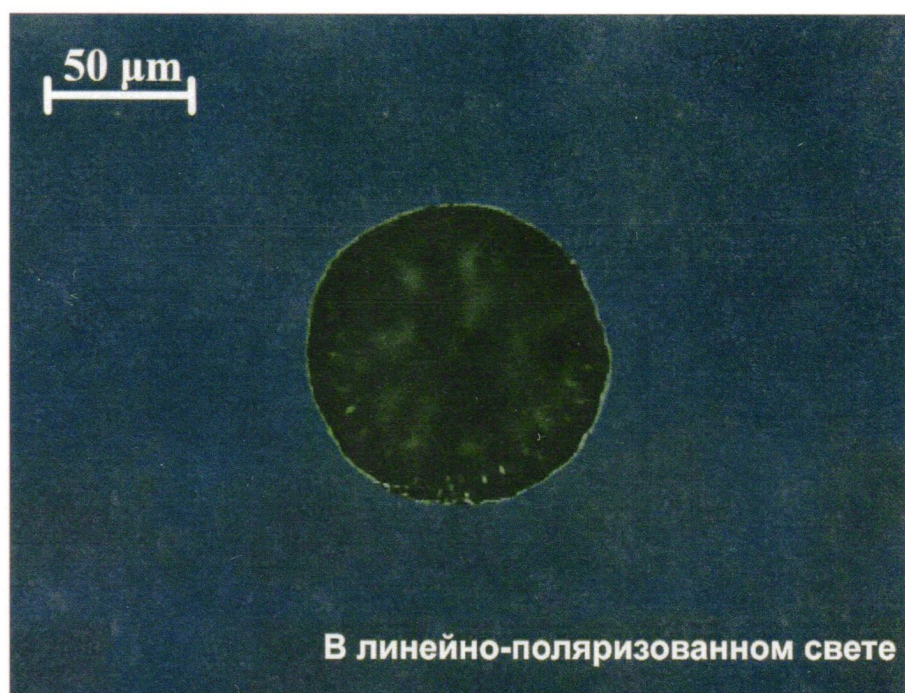
На основании вышеизложенного заявляемая совокупность, позволяющая при реализации способа отказаться от использования дорогостоящей оптики, прозрачной для УФ спектра, и от изготовления специальной кюветы для жидкости, усложняющего реализацию способа и накладывающего дополнительное ограничение с точки зрения техники безопасности эксплуатации лазерной техники, обеспечивает формирование массива микрооптических элементов оптического качества. О качестве микрооптических элементов в массиве свидетельствует фиг.19, диаметр фокальных пятен всех микрооптических элементов на которой равен 4.2 мкм и близок к дифракционному пределу для видимого диапазона спектра - 3.5 мкм.

Формула изобретения

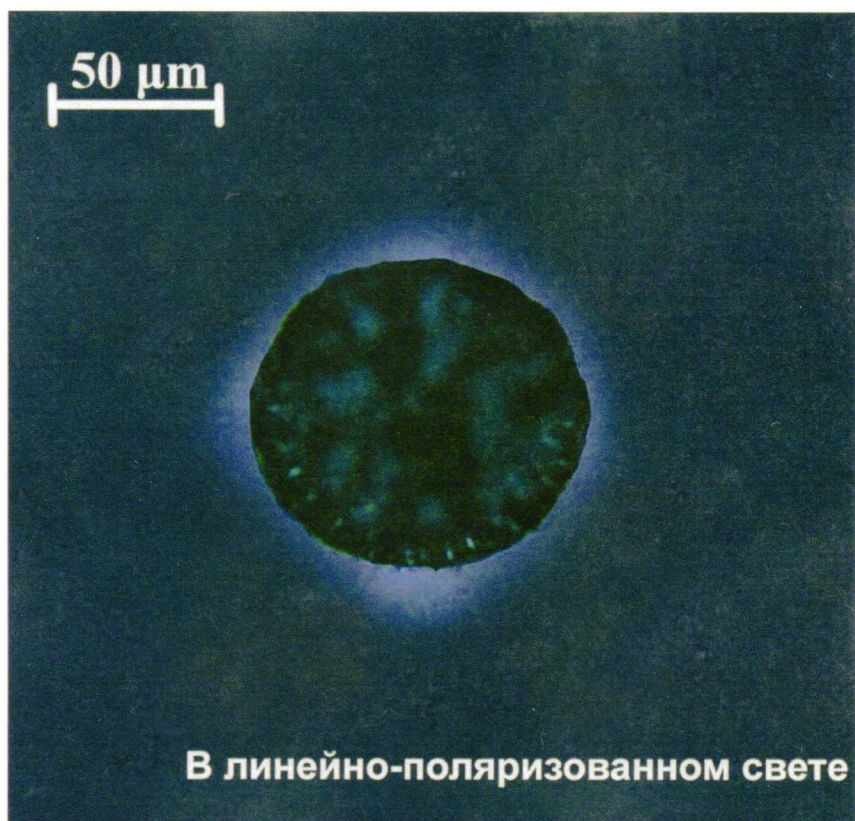
Способ формирования массива микрооптических элементов, заключающийся в воздействии сфокусированным пучком лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса, сканируемым в плоскости контакта тыльной стороны стеклянной пластины, установленной перпендикулярно оптической оси, проходящего сквозь нее пучка лазерного излучения с длиной волны, для которой материал пластины оптически прозрачен, с веществом, обладающим коэффициентом поглощения, значение которого для длины волны падающего на него пучка лазерного излучения превышает 0.9, причем воздействие сканируемым сфокусированным пучком прерывают с периодом, задающим период размещения микрооптических элементов в массиве, а период прерывания обеспечивают выбором частоты следования импульсов, отличающийся тем, что в качестве вещества контактирующего с тыльной стороной стеклянной пластины используют прессованный графит, выполненный в форме пластины, очертание которой повторяет форму стеклянной пластины, воздействие сканируемым сфокусированным пучком лазерного излучения осуществляют с плотностью мощности не ниже $0.5 \cdot 10^8$ Вт/см² и не выше $1 \cdot 10^8$ Вт/см², частотой следования импульсов не менее 50 кГц, со скоростью сканирования по координате X не менее 0.5 м/с, с шагом дискретизации по координате Y не более 1 мкм многократно до момента окончания формирования массива микроэлементов, после чего источник лазерного излучения отключают, пластину прессованного графита удаляют, стеклянную пластину поворачивают на 180° относительно оптической оси пучка лазерного излучения, наносят на нее однородный слой воды, целиком покрывающий массив микрооптических элементов, и далее, включив источник лазерного излучения, воздействуют сканируемым сфокусированным пучком лазерного излучения в плоскость контакта слоя воды с массивом микрооптических элементов с плотностью мощности не ниже $2.5 \cdot 10^7$ Вт/см² и не выше $3.5 \cdot 10^7$ Вт/см², с частотой следования импульсов не менее 20 кГц, со скоростью сканирования по координате X не менее 1.5 м/с и не более 2.0 м/с, с шагом дискретизации по координате Y не менее 12.0 мкм и не более 17.0 мкм многократно до момента полной очистки поверхности массива микрооптических элементов от частиц графита.



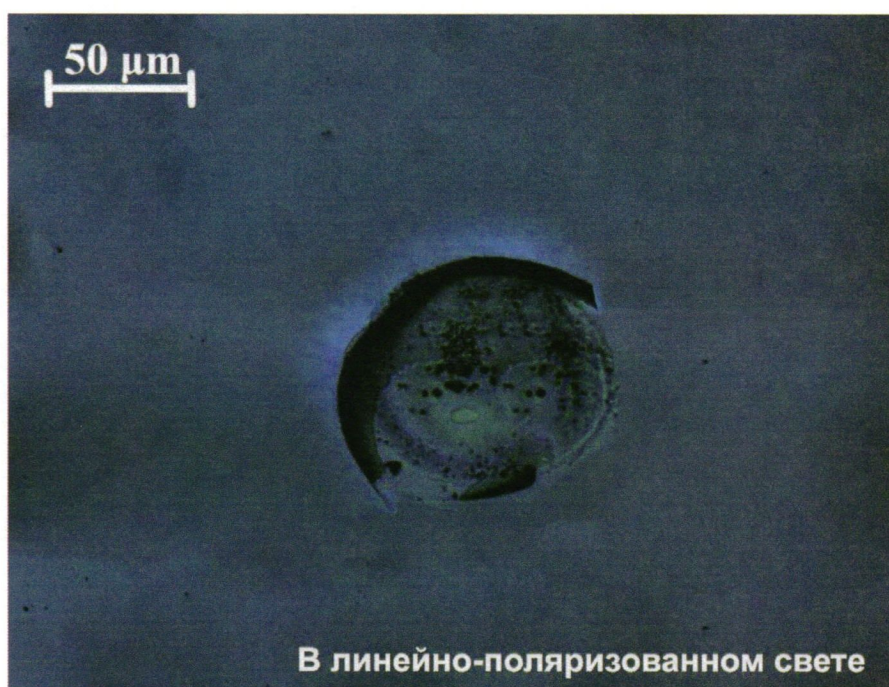
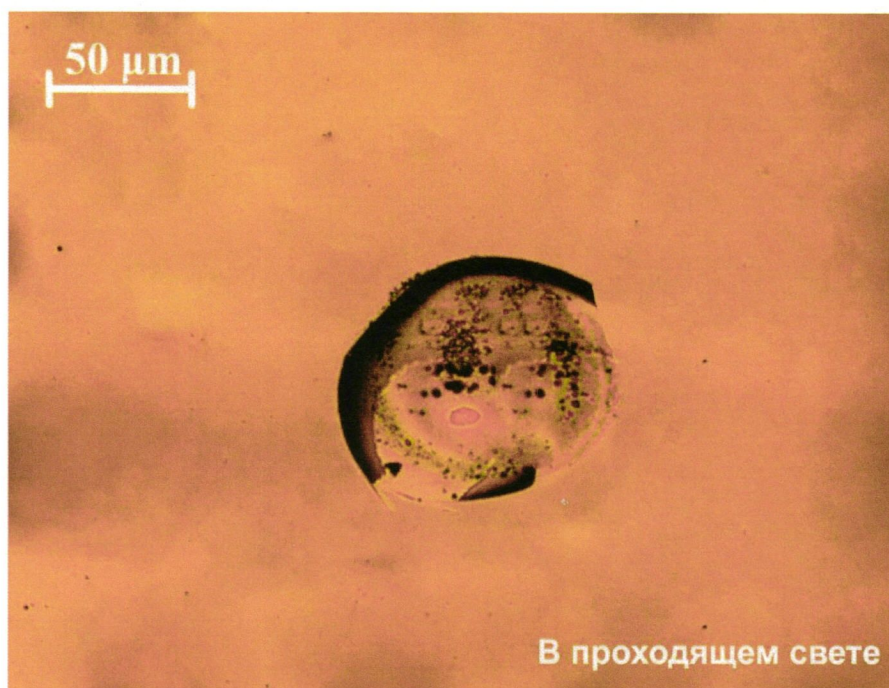
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



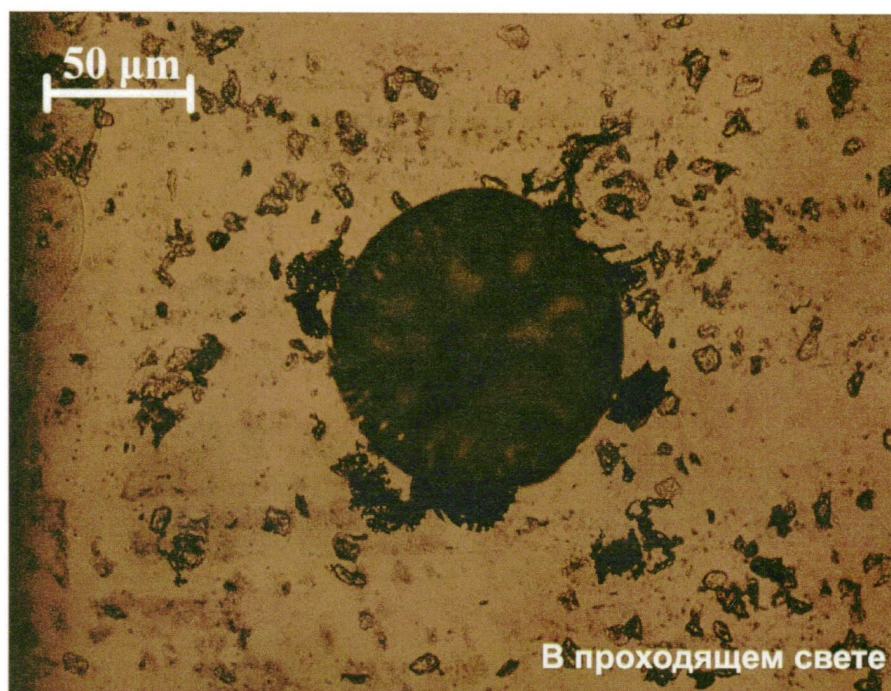
Фиг. 5



Фиг. 6



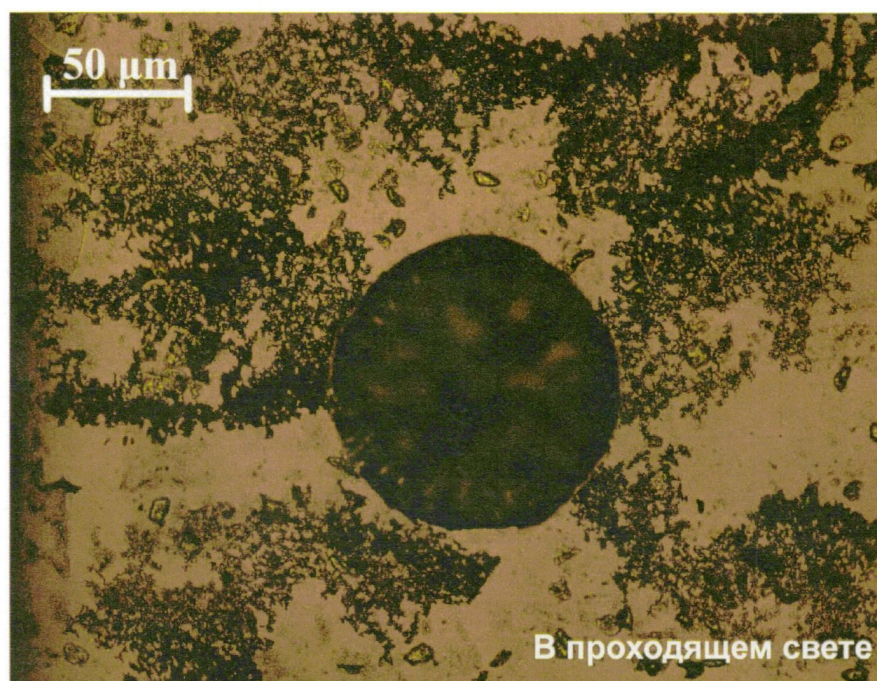
Фиг. 7



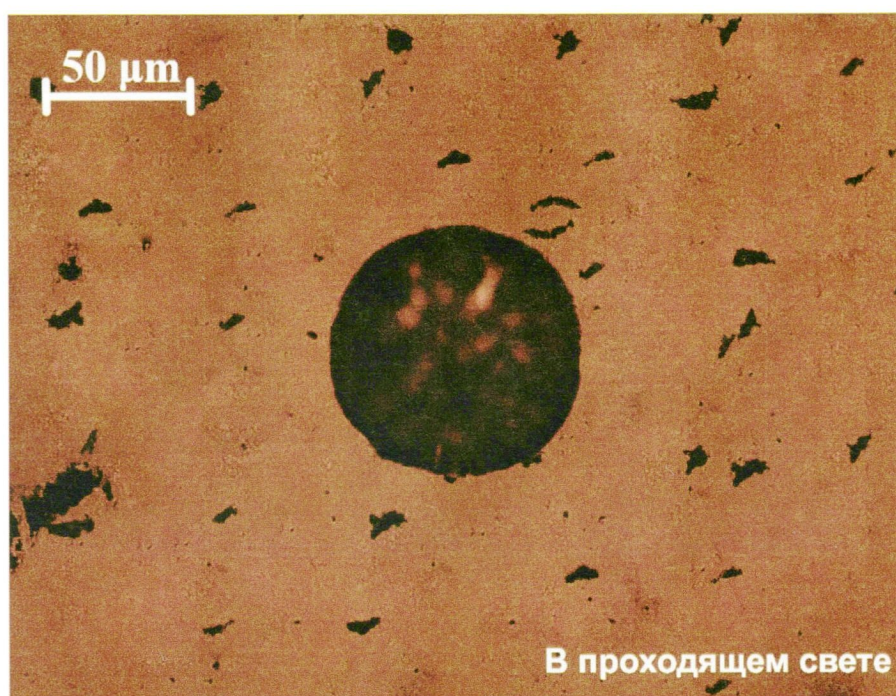
Фиг. 8



Фиг. 9



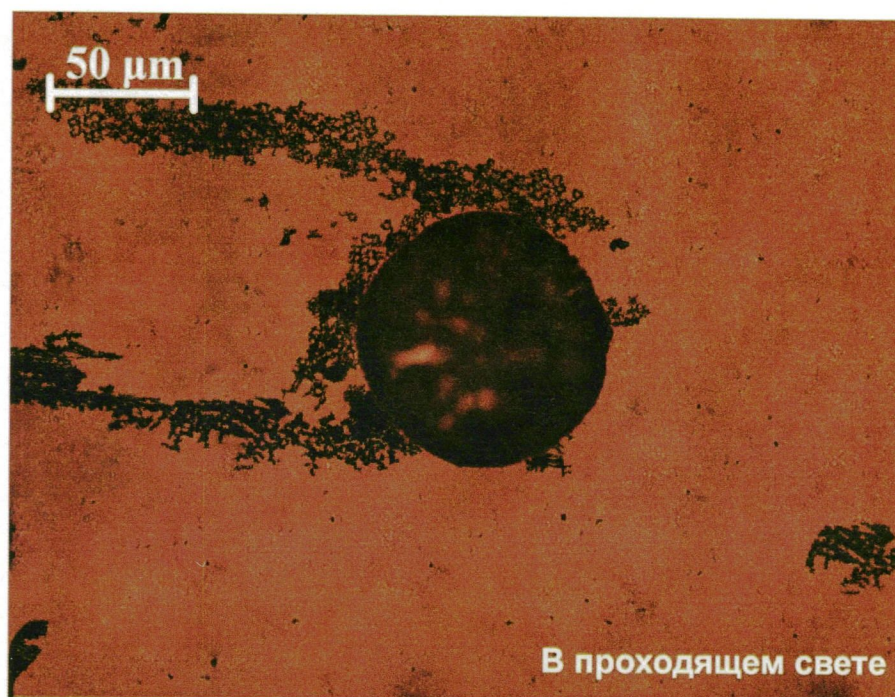
Фиг. 10



Фиг. 11



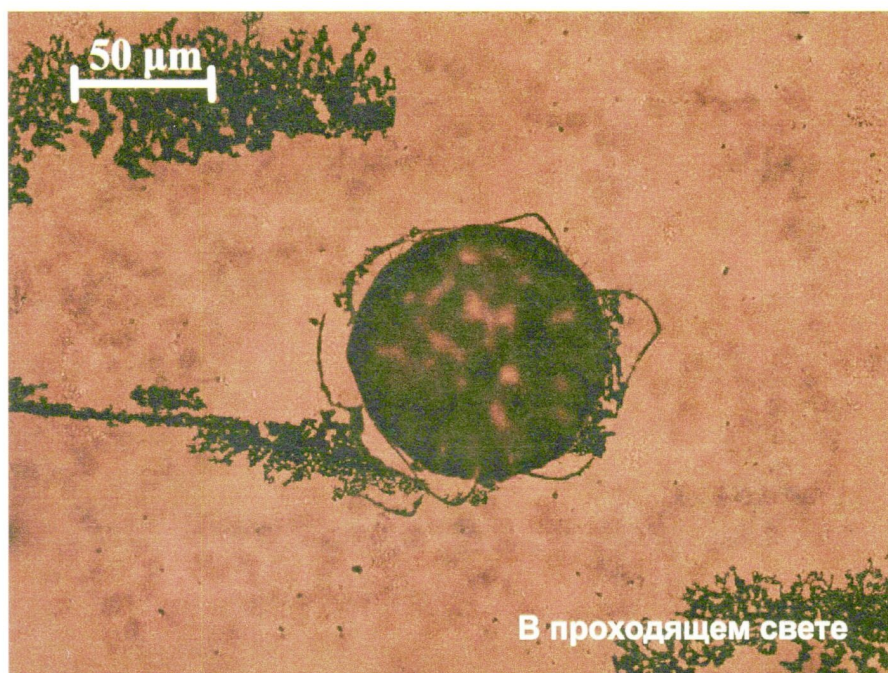
Фиг. 12



Фиг. 13



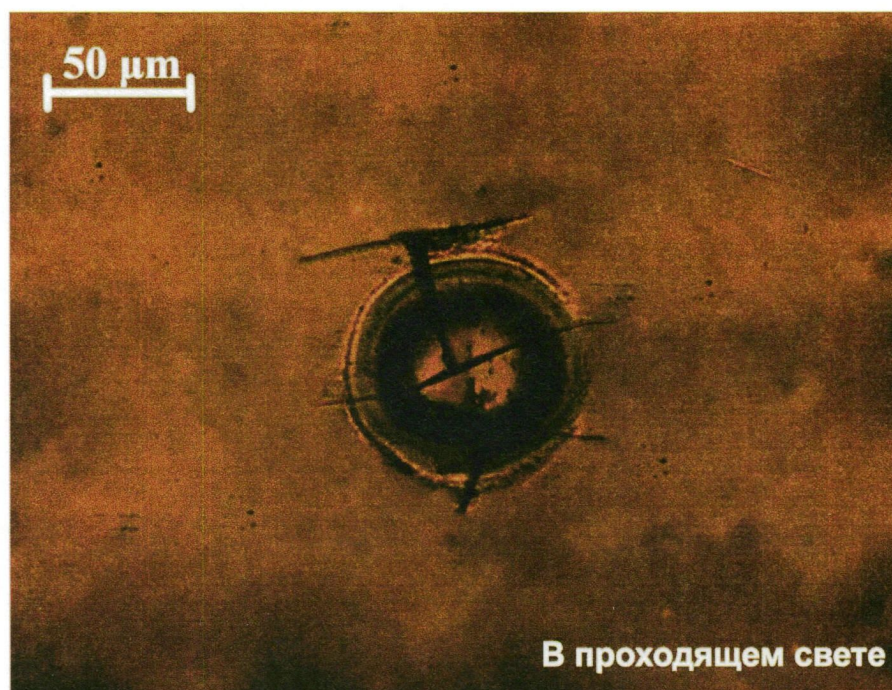
Фиг. 14



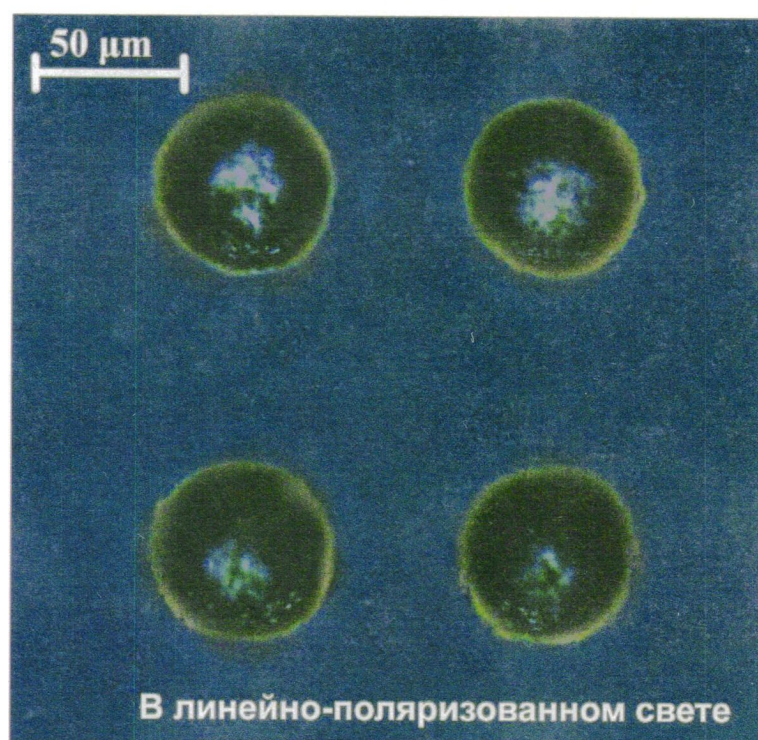
Фиг. 15



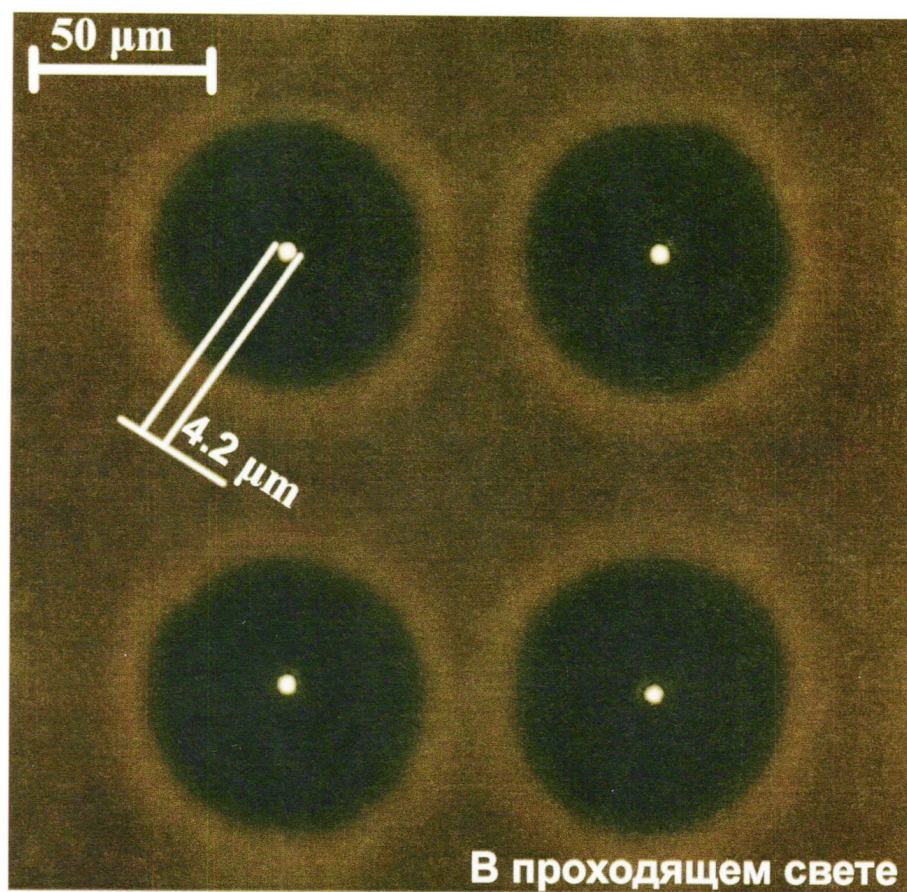
Фиг. 16



Фиг. 17



Фиг. 18



Фиг. 19