

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2641508

Способ изготовления устройства микротехники в объеме пластины фоточувствительного стекла

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

Авторы: *Сергеев Максим Михайлович (RU), Вейко Вадим Павлович (RU), Костюк Галина Кирилловна (RU), Яковлев Евгений Борисович (RU)*

Заявка № 2016126575

Приоритет изобретения 01 июля 2016 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 17 января 2018 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 01 июля 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B81C 1/00015 (2006.01); *C03B 32/02* (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016126575, 01.07.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.07.2016

Дата регистрации:
17.01.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.07.2016

(43) Дата публикации заявки: 12.01.2018 Бюл. № 2

(45) Опубликовано: 17.01.2018 Бюл. № 2

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

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

(73) Патентообладатель(и):

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

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Cheng C. и др. "Fabrication of
microstructures in Foturan glass using infrared
femtosecond laser pulses and chemical etching",
OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING,
т. 48, No 7, 2010 г., стр. 811-815. Вейко В. П.,
Киеу К. К. "Лазерная аморфизация
стеклокерамик: основные закономерности
и новые возможности изготовления
микрооптических элементов", (см. прод.)

(54) Способ изготовления устройства микротехники в объеме пластины фоточувствительного стекла

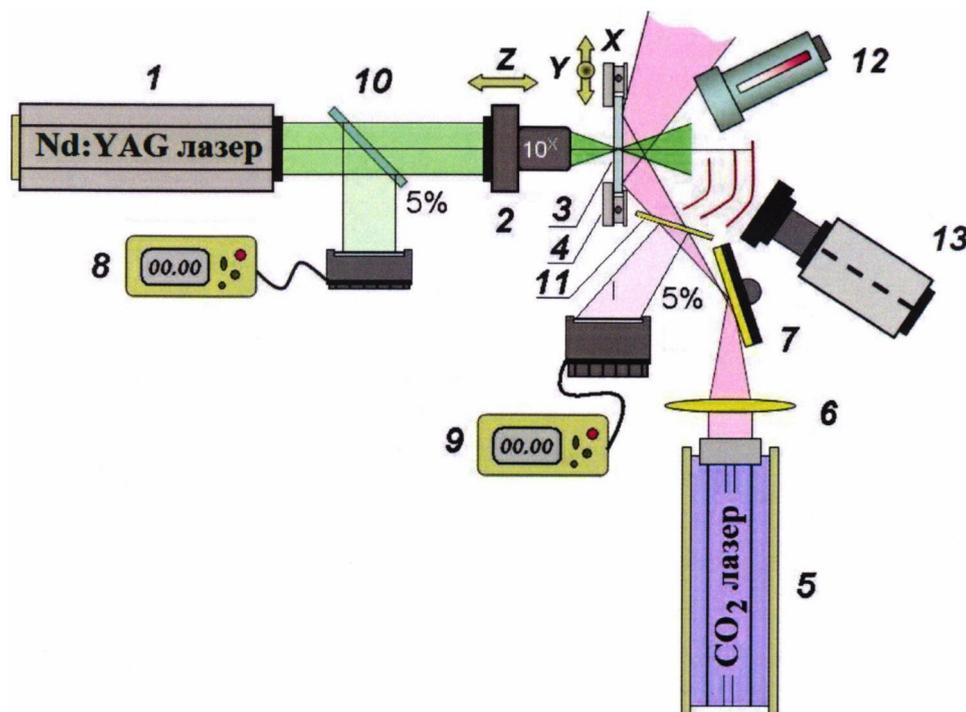
(57) Реферат:

Изобретение относится к области микротехники и касается способа изготовления устройства микротехники в объеме пластины фоточувствительного стекла (ФС). Способ включает в себя формирование прообразов локальных областей путем перемещения сфокусированного пучка лазерного излучения в плоскости создания прообразов локальных областей, выявление прообразов локальных областей с дефектами, аморфизацию всех выявленных прообразов локальных областей с дефектами, повторное формирование прообразов локальных областей в каждой из

аморфизированных областей, проведение термической обработки до появления локальных областей кристаллической фазы в прообразах локальных областей и травление пластины ФС. Аморфизацию осуществляют сходящимся пучком излучения CO₂ лазера с плотностью средней мощности в перетяжке пучка не менее 7 Вт/см² и не более 18 Вт/см² с длительностью воздействия от 5 до 10 с и размером перетяжки от 25 до 50 мкм. Термическую обработку осуществляют сходящимся пучком излучения CO₂ лазера с плотностью средней мощности в перетяжке пучка

не менее 1.5 Вт/см^2 и не более 3.0 Вт/см^2 с длительностью воздействия от 15 до 400 с и размером перетяжки от 25 до 500 мкм.

Технический результат заключается в сокращении длительности процесса и повышении выхода годных изделий. 16 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, т. 37, No 1, 2007 г., стр. 92-98. US 2006275971 A1, 07.12.2006. RU 2540727 C1, 10.02.2015.

RU 2641508 C2

RU 2641508 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
B81C 1/00 (2006.01)
C03B 32/02 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
B81C 1/00015 (2006.01); *C03B 32/02* (2006.01)

(21)(22) Application: **2016126575**, **01.07.2016**

(24) Effective date for property rights:
01.07.2016

Registration date:
17.01.2018

Priority:

(22) Date of filing: **01.07.2016**

(43) Application published: **12.01.2018** Bull. № 2

(45) Date of publication: **17.01.2018** Bull. № 2

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Sergeev Maksim Mikhajlovich (RU),
Vejko Vadim Pavlovich (RU),
Kostyuk Galina Kirillovna (RU),
Yakovlev Evgenij Borisovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij natsionalnyj
issledovatel'skij universitet informacionnykh
tekhnologij, mekhaniki i optiki" (Universitet
ITMO) (RU)**

(54) **METHOD OF MANUFACTURING MICROTECHNICAL DEVICE IN VOLUME OF PHOTOUSTICAL GLASS PLATE**

(57) Abstract:

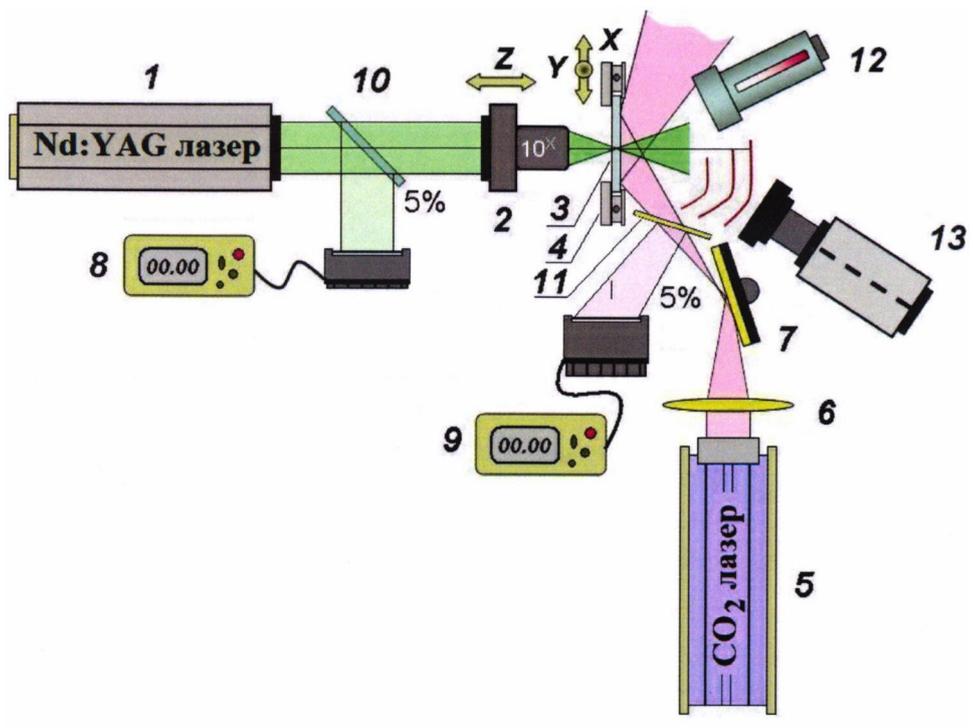
FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to a method of manufacturing a microtechnical device in the volume of a photosensitive glass plate (PG). The method involves forming prototypes of local regions by moving a focused laser beam in the plane of creating pre-images of local regions, identifying prototypes of local regions with defects, amorphizing all the pre-images of local regions with defects, re-forming pre-images of local regions in each of the amorphized regions, processing until the appearance of local regions of the crystalline phase in the pre-images of local regions and etching the PG plate. Amorphization is carried out by a

converging beam of CO₂ laser with an average power density in the neck of the beam of, at least, 7 W/cm² and not more than 18 W/cm² with a duration of exposure of 5 to 10 s and a waist size of 25 to 50 μm. The thermal treatment is carried out by a converging beam of CO₂ laser with an average power density in the beam constriction of, at least, 1.5 W/cm² and not more than 3.0 W/cm² with a duration of exposure of 15 to 400 s and a waist size of 25 to 500 μm.

EFFECT: shortening the duration of the process and increasing the yield of suitable products.

16 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к технологии изготовления различных устройств микротехники в объеме пластины фоточувствительного стекла (ФС) и может быть использовано при создании микроэлектрических устройств (MEMS), применяемых в системах оптической памяти и при конструировании устройств с элементами фотоники, микрооптических устройств (MOEMS), применяемых в лазерной и медицинской техники, а также - микрожидкостных устройств (μ -TAS), применяемых в микрофлюидике и в технике биомедицинских направлений.

Известен способ изготовления устройства микротехники, состоящего из локальных областей, создаваемых в объеме пластины ФС, расположение которых определяет функции устройства микротехники, путем перемещения сфокусированного пучка лазерного излучения с длиной волны 775 нм, для которой ФС прозрачно, с фемтосекундной длительностью импульса, равной 140 фс, с плотностью энергии в импульсе 78 мДж/см^2 , в плоскости создания прообразов локальных областей, совпадающей с плоскостью фокусировки, до момента завершения создания всех прообразов локальных областей, составляющих устройство микротехники, термическую обработку пластины ФС с устройством микротехники, которую проводят в два этапа до появления локальных областей кристаллической фазы в объеме пластины ФС в местах расположения прообразов локальных областей, составляющих устройство микротехники и операцию травления пластины ФС с устройством микротехники в водном растворе HF (Cheng Y., Sugioka K., Masuda M., Toyoda K., Kawachi M., Shihoyama K., Midorikawa K. 3D microstructuring inside Foturan glass by femtosecond laser // Riken Review. - 2003. - С. 101-106). К недостаткам способа изготовления устройства микротехники в объеме пластины ФС следует отнести не возможность визуального контроля созданных прообразов локальных областей, составляющих устройство микротехники, поскольку эти прообразы созданных локальных областей неотличимы от ФС, не подвергнутого лазерной обработки. Отсутствие возможности визуального контроля приводит к тому, что дефекты отдельных прообразов локальных областей становятся видимыми только по завершению термической обработки, после которой исправление дефектов уже не возможно.

Известен способ изготовления устройства микротехники в объеме пластины ФС, который выбран авторами в качестве прототипа (Cheng C., Chen J., Lee P., Chien C. Fabrication of microstructures in Foturan glass using infrared femtosecond laser pulses and chemical etching // Optics and Lasers in Engineering. - 2010. - Т. 48, №7. - С. 811-815). Способ изготовления устройства микротехники, состоящего из локальных областей, создаваемых в объеме пластины ФС, расположение которых определяет функции устройства микротехники, путем перемещения сфокусированного пучка лазерного излучения с длиной волны 800 нм, для которой ФС прозрачно, с фемтосекундной длительностью импульса, равной 120 фс, с максимальной энергией в импульсе 3.5 мДж, в плоскости создания прообразов локальных областей, совпадающей с плоскостью фокусировки, до момента завершения создания всех прообразов локальных областей, составляющих устройство микротехники, выявление прообразов локальных областей с дефектами и проведение термической обработки для пластин ФС с устройствами микротехники, на которых дефектов на прообразах локальных областей не обнаружено, при этом термическую обработку проводят в два этапа до появления локальных областей кристаллической фазы в объеме пластины ФС, в местах расположения прообразов локальных областей, составляющих устройство микротехники. Завершает процесс изготовления устройства микротехники операция травления, которую проводят в водном растворе HF. Так как в способе и прототипе прообразами локальных областей

являются локальные области с измененным показателем преломления, отличным от показателя преломления пластины ФС, то дефекты отдельных прообразов локальных областей, составляющих устройство микротехники, поддаются визуальному выявлению. К недостаткам способа-прототипа следует отнести невозможность изготовления устройства микротехники на пластинах ФС с выявленными дефектами прообразов локальных областей, отвечающего требованиям, предъявляемым к его работе, и длительную термическую обработку.

Решается задача повышения выхода годных изделий в процессе изготовления устройства микротехники с одновременным сокращением длительности процесса изготовления.

Сущность изобретения заключается в том, что после последовательного формирования прообразов локальных областей, составляющих устройство микротехники, путем перемещения сфокусированного пучка лазерного излучения, для которого ФС прозрачно, с ультракороткой длительностью импульса в плоскости создания прообразов локальных областей, совпадающих с плоскостью фокусировки, до момента завершения создания всех прообразов локальных областей, составляющих устройство микротехники, выявленные прообразы локальных областей с дефектами последовательно аморфизируют сходящимся пучком излучения CO₂ лазера с плотностью

средней мощности в перетяжке пучка не менее 7 Вт/см² и не более 18 Вт/см², в зависимости от длительности воздействия, но не менее 5 с и не более 10 с, при этом перетяжку лазерного пучка с размером не менее 25 мкм и не более 50 мкм совмещают с плоскостью размещения выявленных прообразов локальных областей с дефектами и перемещают от одного выявленного прообраза локальной области с дефектами к другому до момента завершения аморфизации всех выявленных прообразов локальных областей с дефектами в устройстве микротехники, после чего в каждой из аморфизированных областей вновь последовательно формируют прообразы локальных областей, а термическую обработку всех прообразов локальных областей, составляющих устройство микротехники, до проявления в каждой из них кристаллической фазы осуществляют сходящимся пучком излучения CO₂ лазера с плотностью средней мощности в перетяжке пучка не менее 1.5 Вт/см² и не более 3.0 Вт/см², в зависимости от длительности воздействия, но не менее 15 с и не более 400 с, при этом перетяжку лазерного пучка с размером не менее 25 мкм и не более 500 мкм совмещают с плоскостью размещения прообразов локальных областей и перемещают от одного прообраза локальной области к другому до момента возникновения кристаллической фазы во всех прообразах локальных областей устройства микротехники.

Последовательное устранение выявленных прообразов локальных областей с дефектами, входящих в устройство микротехники, путем аморфизации, то есть приведение этих прообразов локальных областей с дефектами в исходное аморфное состояние, позволит в тех местах, где были выявлены прообразы локальных областей с дефектами, входящие в устройство микротехники, вновь создать прообразы локальных областей уже без дефектов.

Как было установлено в ходе экспериментальных исследований, аморфизация прообразов локальных областей достигается при плотности средней мощности не менее 7 Вт/см² и не более 18 Вт/см² в зависимости от длительности воздействия, которая составляет не менее 5 с и не более 10 с при совмещении перетяжки пучка CO₂ лазера с размером не менее 25 мкм и не более 50 мкм с плоскостью расположения выявленных прообразов локальных областей с дефектами, превышение плотности средней мощности

излучения во всех экспериментах по аморфизации прообразов локальных областей сопровождалось либо возникновением макротрещин, окружающих прообраз локальной области, либо полным разрушением пластины. При плотностях средней мощности ниже 7 Вт/см^2 прообразы локальных областей аморфизировались не полностью. При 5 размере перетяжки пучка меньше 25 мкм , совмещенной с плоскостью расположения выявленных прообразов областей с дефектами, как было установлено в ходе экспериментальных исследований, аморфизация прообраза локальной области с дефектом происходило не полностью. При размере перетяжки пучка в плоскости 10 расположения выявленных прообразов областей с дефектами больше 50 мкм , что также было установлено в ходе экспериментальных исследований, аморфизация прообраза локальной области с дефектами сопровождалось изменением физических свойств ФС, окружающего прообраз локальной области с дефектами. При длительностях воздействия менее 5 с полной аморфизации прообраза локальной области с дефектом не происходило во всех экспериментах, а при длительностях воздействия, превышающих 10 с , 15 аморфизированную область окружали микротрещины.

Достоинством термической обработки, направленной на возникновение кристаллической фазы в прообразах локальных областей, осуществляемой последовательным перемещением от одного прообраза локальной области к другому до момента завершения возникновения кристаллической фазы, во всех прообразах 20 локальных областей устройства микротехники, сходящемся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью средней мощности не менее 1.5 Вт/см^2 и не более 3 Вт/см^2 , в зависимости от длительности воздействия не меньшего 15 с и не большего 400 с при размере перетяжки пучка в плоскость расположения прообразов локальных областей 25 не менее 25 мкм и не более 500 мкм , является сокращение ее длительности даже для сложных устройств микротехники по сравнению с общепринятой двухэтапной термической обработкой, применяемой в способах аналога и прототипа.

Экспериментальные исследования, выполненные на стадии термической обработки, позволили установить, что зарождение кристаллической фазы на прообразах локальных 30 областей при плотности средней мощности ниже, чем 1.5 Вт/см^2 , не происходило. При значениях плотности средней мощности, превышающих 3.0 Вт/см^2 , в прообразах локальных областей помимо основной желательной кристаллической фазы метасиликата лития (Li_2SiO_3), характеризующейся высокой растворимостью в водном растворе HF по 35 сравнению с необлученной матрицей ФС, происходило возникновение дисиликата лития ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) и ряда других, еще более трудно растворимых в водном растворе HF по сравнению с дисиликатом лития, кристаллических фаз, например, таких, как β -кварц, β -сподумен ($\beta\text{-LiAlSi}_2\text{O}_6$) или β -эвкрипит ($\beta\text{-LiAlSiO}_4$). О возникновении дисиликата лития или других, еще более трудно растворимых в водном растворе HF, фаз, 40 свидетельствовало значительное увеличение длительности травления, сопровождаемое искажениями формы вытравливаемой области. В отдельных случаях, при значительном превышении плотности средней мощности значения 3.0 Вт/см^2 , добиться полного удаления кристаллической фазы в ходе травления не удавалось.

Что касается длительности воздействия, то при длительностях более 400 с , процесс зарождения и образования кристаллической фазы существенно замедлялся, и это приводило к снижению эффективности процесса, а при длительностях менее 15 с зарождение кристаллической фазы не успевало произойти, что неоднократно фиксировалось в ходе экспериментальных исследований.

При размерах перетяжки пучка в плоскости расположения прообразов локальных областей меньших 25 мкм, зарождение и образование кристаллической фазы захватывало не всю область, и это в дальнейшем, на этапе травления, приводило к искажению формы области. При размерах перетяжки пучка в плоскости расположения прообразов локальных областей больших 500 мкм, происходило изменение рельефа поверхности ФС и образование области с измененным показателем преломления.

Сущность изобретения поясняется фигурами, где:

на фиг. 1 приведена схема устройства для реализации способа изготовления устройства микротехники в объеме пластины ФС;

на фиг. 2а и 2б приведены компьютерные распечатки фотографий с выявленными дефектами прообразов локальных областей фрагмента устройства. Фотографии фрагмента устройства были выполнены в проходящем свете с увеличением $\times 100$ на оптическом микроскопе Axio Imager Carl Zeiss. На фиг. 2а и 2б отчетливо видны области дефектов, для наглядности обведенные в кружок - области, в которых прообразы локальных областей, составляющих фрагменты устройства в виде линий, не образовались;

на фиг. 2в для сравнения приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента устройства в виде линии, в которой на всех прообразах локальных областей дефекты отсутствуют;

на фиг. 3а иллюстрируется фрагмент устройства в виде линии из прообразов локальных областей, содержащих дефекты, для наглядности, обведенные кружками. Дефекты прообразов локальных областей состоят в искажении формы прообразов локальных областей и в наличии участков, в которых прообразы локальных областей не образовались;

на фиг. 3б приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента устройства, на которой линия, состоящая из прообразов локальных областей с дефектами (фиг. 3а), была подвергнута аморфизации сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с

плотностью средней мощности в перетяжке 11 Вт/см^2 , размер которой был равен 35 мкм при длительности воздействия 7 с. На фиг. 3б отчетливо видно, что произошла полная аморфизация прообразов локальных областей с дефектами, так как параметры воздействия для аморфизации были выбраны в полном соответствии с формулой изобретения; на фиг. 4а приведена компьютерная распечатка фотографии линии прообразов локальных областей фрагмента устройства, содержащей дефекты, проявляющиеся в искажении формы прообразов локальных областей, а также в возникновении микротрещин, окружающих прообразы локальных областей, и в наличии участков, в которых прообразы локальных областей не образовались;

на фиг. 4б приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента устройства, на которой линия из прообразов локальных областей с дефектами была подвергнута аморфизации сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью средней мощности

в перетяжке 6 Вт/см^2 , размер которой был равен 35 мкм при длительности воздействия 7 с. На фиг. 4б отчетливо видно, что не все дефекты удалось аморфизировать;

на фиг. 5 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из дефектов, который был подвергнут аморфизации сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с

плотностью средней мощности в перетяжке 20 Вт/см^2 , размер которой был равен 35 мкм при длительности воздействия 7 с. На фиг. 5 видно образование области с измененным показателем преломления, окружающей область аморфизированного дефекта;

на фиг. 6а приведена компьютерная распечатка фотографии линии прообразов локальных областей фрагмента устройства, содержащей дефекты, проявляющиеся в виде микротрещин, окружающих прообразы локальных областей, и в наличии участков, в которых прообразы локальных областей не образовались;

5 на фиг. 6б приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента устройства, на которой линия, состоящая из прообраза локальных областей с дефектами, была подвергнута аморфизации сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью
10 средней мощности в перетяжке 11 Вт/см^2 , размер которой был равен 35 мкм при длительности воздействия 4 с . На фиг. 6б отчетливо видно, что почти все дефекты линии прообразов локальных областей остались не аморфизированы;

на фиг. 7 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из дефектов, который был подвергнут аморфизации сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с
15 плотностью средней мощности в перетяжке 11 Вт/см^2 , размер которой был равен 20 мкм при длительности воздействия 7 с . На фотографии видно образование области с измененным показателем преломления в окрестности дефекта, подлежащего аморфизации;

на фиг. 8 приведена компьютерная распечатка фотографии одного из дефектов, который был подвергнут аморфизации сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с
20 плотностью средней мощности в перетяжке 11 Вт/см , размер которой был равен 35 мкм при длительности воздействия 12 с . На фиг. 8 видно образование области с измененным показателем преломления в окрестности дефекта, подлежащего аморфизации;

на фиг. 9 приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента устройства
25 из двух линий прообразов локальных областей, из которых только одна - нижняя линия содержащая дефекты, должна была быть подвергнута аморфизации. Аморфизация нижней линии проводилась сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью
30 средней мощности в перетяжке 11 Вт/см^2 , размер которой был равен 55 мкм при длительности воздействия 7 с . На фотографии видно, что аморфизация затронула и участок второй линии, не содержащей дефектов;

на фиг. 10а приведена компьютерная распечатка фотографии линии из локальных
35 областей кристаллической фазы, созданной сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью средней мощности в перетяжке 2 Вт/см^2 , размер которой был равен 40 мкм при длительности воздействия 50 с , в местах прообразов локальных областей в виде линии (фиг. 10б). На фиг. 10а отчетливо видно, что в результате воздействия сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с параметрами, соответствующими
40 параметрам, заявляемыми в формуле изобретения, все прообразы локальных областей закристаллизованы кристаллами метасиликата лития;

на фиг. 11 приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента устройства
из двух параллельных линий, состоящих из локальных областей кристаллической фазы. Верхняя линия (фиг. 11а) была создана сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с
45 плотностью средней мощности в перетяжке 2 Вт/см^2 , размер которой был равен 40 мкм при длительности воздействия 25 с , в местах прообразов локальных областей. Нижняя линия (фиг. 11б) была создана сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью
средней мощности в перетяжке 1 Вт/см^2 , размер которой был равен 40 мкм при

длительности воздействия 50 с, в местах прообразов локальных областей. Из компьютерной распечатки фиг. 11 видно, что верхняя линия закристаллизована полностью, а для нижней характерна частичная кристаллизация прообразов локальных областей, созданных при одинаковых параметрах формирования;

5 на фиг. 12а приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента устройства в виде линии, состоящей из областей кристаллической фазы и созданных сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью средней мощности в перетяжке 3.5 Вт/см^2 , размер которой был равен 25 мкм при длительности воздействия 40 с, в местах прообразов локальных областей. На фрагменте фотографии заметны участки, обведенные в кружки, соответствующие различным кристаллическим фазам (фиг. 12б и 12в). Фиг. 12б соответствует кристаллам метасиликата лития, а фиг. 12в - кристаллам дисиликата лития;

15 на фиг. 13а, 13б, и 13в приведены компьютерные распечатки фотографий фрагмента устройства в виде линии. На фиг. 13а представлена линия из прообразов локальных областей. На фиг. 13б представлена линия из локальных областей кристаллической фазы, созданных сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью средней мощности в перетяжке 2 Вт/см^2 , размер которой был равен 40 мкм при длительности воздействия 11 с, в местах прообразов локальных областей (фиг. 13а). Видно, что полной кристаллизации прообразов локальных областей вдоль всей линии не произошло. На 20 фиг. 13в приведена линия из локальных областей кристаллической фазы, созданных сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью средней мощности в перетяжке 2 Вт/см^2 , размер которой был равен 40 мкм при длительности воздействия 400 с, в 25 местах прообразов локальных областей (фиг. 13а). Видно, что все прообразы локальных областей закристаллизованы полностью кристаллами одного типа, форма которых указывает на то, что это кристаллы метасиликата лития;

на фиг. 14 приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента устройства в виде группы линий. На фиг. 14а приведена группа линий из прообразов локальных 30 областей. На фиг. 14б представлена группа линий из локальных областей кристаллической фазы, созданных сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью средней мощности в перетяжке 2 Вт/см^2 , размер которой был равен 40 мкм при длительности воздействия 300 с, в местах прообразов локальных областей (фиг. 35 14а). Видно, что все прообразы локальных областей закристаллизованы полностью кристаллами одного типа, форма которых указывает на то, что это кристаллы метасиликата лития. На фиг. 14в приведена группа линий из локальных областей кристаллической фазы, созданных сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с 40 плотностью средней мощности в перетяжке 2 Вт/см^2 , размер которой был равен 40 мкм при длительности воздействия 500 с, в местах прообразов локальных областей (фиг. 40 14а). Видно, что в ряде участков каждой из линий, области кристаллической фазы вышли за пределы размеров прообразов локальных областей;

на фиг. 15а и 15б приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента устройства в виде двух линий локальных областей кристаллической фазы. На фиг. 15а 45 приведена компьютерная распечатка фотографии линии локальных областей кристаллической фазы, созданных сходящимся пучком излучения CO_2 лазера с плотностью средней мощности в перетяжке 2 Вт/см^2 , размер которой был равен 30 мкм при длительности воздействия 100 с, в местах прообразов локальных областей. Видно,

что все прообразы локальных областей закристаллизованы полностью кристаллами одного типа, форма которых указывает на то, что это кристаллы метасиликата лития. На фиг. 15б приведена компьютерная распечатка фотографии линии локальных областей кристаллической фазы, созданных сходящимся пучком излучения CO₂ лазера с

5 плотностью средней мощности в перетяжке 2 Вт/см², размер которой был равен 20 мкм при длительности воздействия 100 с, в местах прообразов локальных областей. Видно, что ряд прообразов локальных областей закристаллизован не полностью;

на фиг. 16а и 16б приведена компьютерная распечатка фотографии фрагмента 10 устройства в виде двух линий локальных областей кристаллической фазы. На фиг. 16а приведена компьютерная распечатка фотографии линии локальных областей кристаллической фазы, созданных сходящимся пучком излучения CO₂ лазера с

15 плотностью средней мощности в перетяжке 2 Вт/см, размер которой был равен 50 мкм при длительности воздействия 80 с, в местах прообразов локальных областей. Видно, что все прообразы локальных областей закристаллизованы полностью кристаллами одного типа, форма которых указывает на то, что это кристаллы метасиликата лития. На фиг. 16б приведена компьютерная распечатка фотографии двух линий локальных областей кристаллической фазы, созданных сходящимся пучком излучения CO₂ лазера

20 с плотностью средней мощности в перетяжке 2 Вт/см², размер которой был равен 550 мкм при длительности воздействия 100 с, в местах прообразов локальных областей. Видно, что практически вся линия прообразов локальных областей не закристаллизована.

Устройство для реализации предлагаемого способа представлено на фиг. 1. Устройство содержит блок для создания прообразов локальных областей в объеме 25 пластины ФС, включающий импульсный Nd:YAG лазер 1 с длиной волны излучения второй гармоники $\lambda=0.532$ мкм, длительностью импульса $\tau=30$ пс, частотой следования импульсов $\nu=10$ Гц и нестабильностью выходной энергии импульса не более 25%.

30 Микрообъектив 2 с увеличением $\times 10$, числовой апертурой $NA=0.25$ и фокусным расстоянием $f=4.75\pm 0.25$ мм, за которым располагается пластина ФС 3 толщиной 1.2 мм, закрепленная перпендикулярно оптической оси источника излучения Nd:YAG лазера 1 на координатном столе 4, выполненном с возможностью перемещения относительно сфокусированного пучка лазерного излучения со скоростью 1-5 мкм/с. Блок для аморфизации прообразов локальных областей и выполнения этапа термической 35 обработки включает импульсный CO₂ лазера 5 с длиной волны излучения $\lambda=10.6$ мкм, длительностью импульса $\tau=190$ мкс, и частотой следования импульсов $\nu=5$ кГц,

характеризуемый качеством пучка $M^2 < 1.2$ и распределением интенсивности по сечению пучка, соответствующем моде TEM₀₀, который размещается перпендикулярно 40 оптической оси импульсного Nd:YAG лазера 1, ZnSe линзу 6 с фокусным расстоянием 70 мм, поворотное зеркало 7 с золотым напылением, установленное под углом 15° к оси излучения CO₂ лазера и выполненное с возможностью поворота в пределах $\pm 15^\circ$.

В устройстве предусмотрено использование двух измерителей оптической мощности Gentec Solo PE-2M с пироэлектрическим детектором энергии QE25LP-H-MB 8 и 45 пироэлектрическим детектором мощности UP19K-110F-H9 9. Пироэлектрический детектор энергии 8 размещается за плоскопараллельной пластиной из стекла K8 10 с толщиной 200 мкм, расположенной под углом 45° к оптической оси Nd:YAG лазера 1. Детектор мощности 9 размещается за плоскопараллельной пластиной 11 из Ge, установленной под углом 60° к оптической оси CO₂ лазера. Плоскопараллельная

пластина 11 располагается за поворотным зеркалом 7.

Для контроля и наблюдения за ходом процессов создания прообразов локальных областей и зарождения кристаллической фазы, на этапе термической обработки, а также для выявления прообразов локальных областей с дефектами, в устройстве
5 используется видеокамера MDA 2000 USB Digital Microscope 12, оснащенная микроскопом с увеличением $\times 100$ - $\times 200$, расположенная под углом, не превышающем 30° относительно оптической оси Nd:YAG лазера 1, инфракрасная камера "Flip Titanium" 520 M 13, работающая в спектральном диапазоне $3.6 \div 5.1$ мкм с точностью измерений $\pm 2.5^\circ\text{C}$ в интервале температур $20 \div 1200^\circ\text{C}$ и расположенная под углом, не превышающим 75°
10 относительно оптической оси Nd:YAG лазера 1.

Устройство для реализации предлагаемого способа работает следующим образом. Для создания прообразов локальных областей излучение Nd:YAG лазера 1 попадает в микрообъектив 2, фокусирующий излучение в объем пластины ФС 3 в плоскость формирования непрерывной линии прообразов локальных областей. Одновременно с
15 включением лазера 1, начинается перемещение координатного стола 4, на котором закреплена пластина ФС 3, относительно сфокусированного пучка лазерного излучения по заданной траектории в плоскости перпендикулярной оси излучения лазера 1. Во время формирования непрерывной линии прообразов локальных областей энергия лазерных импульсов фиксируется пироэлектрическим детектором энергии 8,
20 размещенным за плоскопараллельной пластиной 10, перенаправляющей часть энергии излучения на детектор 8.

Скорость перемещения координатного стола 4 с закрепленной на нем пластиной ФС 3 задается, исходя из предполагаемого размера прообразов локальных областей d , а также из коэффициента перекрытия сечения лазерного пучка в плоскости создания
25 непрерывной линии прообразов локальных областей, значение которого выбирается не менее 0.85 и не более 0.98 от размера прообраза локальной области. Диапазон коэффициентов перекрытия найден нами в ходе экспериментальных исследований создания прообразов локальных областей, в соответствии с зависимостью, определяемой выражением $v = (1 - \eta) \cdot d \cdot \nu$, где ν - частота следования импульсов. Перемещение
30 координатного стола 4 с закрепленной на нем пластиной ФС 3, прекращается в момент окончания формирования прообразов локальных областей, о чем свидетельствует отсутствие сигнала на пироэлектрическом детекторе 8.

Далее, визуально, через микроскоп видеокамеры 12 выявляются прообразы локальных областей с дефектами, каждый из которых далее аморфизируют сходящимся
35 пучком излучения CO₂ лазера, требуемый размер сечения перетяжки которого в плоскости размещения прообразов локальных областей достигается смещением ZnSe линзы вдоль оптической оси CO₂ лазера 5. Диапазон температур необходимой для аморфизации прообразов локальных областей с дефектами определяется значениями
40 плотности средней мощности падающего на поверхность пластины ФС 3 пучка излучения. Значение плотности средней мощности в ходе процесса аморфизации, напрямую связанное с температурой, отслеживается детектором мощности 9, на который плоскопараллельная пластина из Ge 11 отводит часть излучения CO₂ лазера 5.

По завершению аморфизации одной из выявленных локальных областей с дефектом,
45 координатный стол 4 с закрепленной на нем пластиной ФС 3 перемещают со скоростью 1-5 мкм/с к следующему выявленному прообразу локальной области с дефектом, операцию аморфизации повторяют, и так продолжается до тех пор, пока все выявленные прообразы локальных областей с дефектами не будут аморфизированы.

Далее следует этап создания прообразов локальных областей в местах расположения аморфизированных прообразов локальных областей с дефектами. Работа устройства по созданию прообразов локальных областей в местах расположения аморфизированных прообразов локальных областей с дефектами заключается в последовательном облучении каждой из аморфизированных областей, сфокусированным пучком Nd:YAG лазера 1 до момента завершения создания прообраза, фиксируемого отсутствием сигнала на пироэлектрическом детекторе 8. Последовательное облучение каждой из аморфизированных областей реализуется перемещением координатного стола 4 с закрепленной на нем пластины ФС 3 относительно сфокусированного пучка излучения Nd:YAG лазера 1, после завершения создания прообраза локальной области.

После создания прообразов локальных областей во всех местах расположения аморфизированных прообразов локальных областей с дефектами выполняется этап термической обработки, направленный на появление кристаллической фазы в прообразах локальных областей последовательным перемещением координатного стола 4 с пластиной ФС 3 с прообразами локальных областей относительно сходящегося пучка излучения CO₂ лазера 5, требуемый размер перетяжки которого в плоскости размещения прообразов локальных областей достигается смещением ZnSe линзы вдоль оптической оси CO₂ лазера 5.

Диапазон температур термической обработки, направленной на появление кристаллической фазы в прообразах локальных областей в пластине ФС 3 с прообразами локальных областей, играющей исключительно важную роль в процессе кристаллизации, определяется значениями плотности средней мощности падающего на поверхность пластины ФС 3 пучка излучения. Значение плотности средней мощности в ходе процесса кристаллизации, напрямую связанное с температурой, отслеживается детектором мощности 9, на который плоскопараллельная пластина из Ge 11 отводит часть излучения CO₂ лазера 5.

Кроме того, для контроля в реальном времени температуры нагрева поверхности пластины ФС 3 с прообразами локальных областей в объеме пластины ФС 3, т.е. фактически за контролем хода процесса появления в местах прообразов локальных областей кристаллической фазы, объектив ИК камеры 13 совмещается с центром зоны облучения, при этом коэффициент серости пластины ФС принимается равным 0.85 ± 0.87 . Коэффициент серости пластины ФС, характеризующегося сложным составом, был определен экспериментально. Наблюдения за ходом процесса кристаллизации, также осуществляемые в реальном времени, выполняются видеокамерой 12, оснащенной микроскопом с увеличением $\times 100$ - $\times 200$, объектив которого совмещается с центром зоны облучения CO₂ лазером 5.

Показания ИК камеры 13 и снимки, создаваемые видеокамерой 12 с точностью до единиц секунд, позволяют фиксировать момент завершения процесса кристаллизации, то есть образование кристаллов, характерного вида - кристаллов метасиликата лития.

Столь сложная система фиксации момента завершения процесса кристаллизации с образованием кристаллической фазы определенного вида - метасиликата лития, была обусловлена тем, что различие в диапазонах температур формирования кристаллических фаз различного вида, способных к возникновению и образованию в ходе термической обработки, не велико и составляет 20-50°C (Бережной А.И., Торопов Н. Ситаллы и фотоситаллы. - М.: Машиностроение, 1966. - 348). В частности, температура кристаллизации ближайшей к фазе метасиликата лития дисиликата лития превышает температуру последней всего на 20-30°C.

Управление размером прообраза локальных областей на стадии формирования непрерывной линии прообразов локальных областей осуществляют изменением размера области воздействия излучения Nd:YAG лазера 1, энергией в импульсе и скоростью перемещения пластины ФС относительно сфокусированного пучка лазерного излучения.

5 Для формирования непрерывной линии прообразов локальных областей был использован твердотельный Nd:YAG лазер модели EXPLA PL2143 с параметрами излучения: $\lambda=532$ нм, $\tau=30$ пс, $f=10$ Гц, с расходимостью излучения $\theta<0.5$ мрад.

Для проведения аморфизации выявленных прообразов локальных областей с дефектами и термической обработки, направленной на возникновение и развитие кристаллической фазы был использован импульсный CO₂ лазер модели Synrad's 48-1 (S)W с параметрами излучения: $\lambda=10.6$ мкм, $\tau=190$ мкс, $f=5$ кГц, с распределением интенсивности по сечению пучка TEM₀₀, расходимостью излучения $\theta=6$ мрад и качеством пучка $M^2<1.2$.

15 Из приведенных выше примеров очевидно, что любые дефекты прообразов локальных областей, входящих в устройство микротехники, проявляющееся в виде искажения формы прообразов локальных областей, присутствии на непрерывной линии прообразов локальных областей участков, на которых прообразы локальных областей не образовались, а также возникновение микротрещин, окружающих прообраз
20 локальных областей, могут быть устранены последовательной аморфизацией прообразов локальных областей с дефектами сходящимся пучком излучения CO₂ лазера в соответствии с параметрами, заявляемыми в формуле изобретения. Нарушение хотя бы одного из параметров для обеспечения аморфизации прообраза локальной области приводит либо к неполной аморфизации (фиг. 4б и 6б), либо к образованию области с
25 измененным показателем преломления, окружающей область аморфизации прообраза локальной области с дефектом (фиг. 5, 7 и 8).

Из приведенных выше примеров проведения этапа термической обработки, направленного на возникновение и развитие кристаллической фазы одного вида во всех прообразах локальных областей, очевидно, что это возможно только при
30 соблюдении всех параметров воздействия сходящимся пучком излучения CO₂ лазера, заявляемого в формуле изобретения. Нарушение хотя бы одного из параметров для возникновения и развития кристаллической фазы в прообразах локальных областей приводит, например, к возникновению дисиликата лития (фиг. 12в), к частичной кристаллизации прообраза локальной области (фиг. 11б, 13б и 16б), а также к выходу
35 области кристаллической фазы за пределы прообраза локальной области (фиг. 14в).

На основании вышеизложенного очевидно, что заявляемая совокупность позволяет реализовать оперативное устранение дефектов непосредственно в ходе процесса изготовления устройства микротехники, т.е. повысить выход годных изделий в процессе изготовления устройства микротехники с одновременным сокращением длительности
40 процесса.

(57) Формула изобретения

Способ изготовления устройства микротехники в объеме пластины фоточувствительного стекла (ФС), включающий последовательное формирование
45 прообразов локальных областей путем перемещения сфокусированного пучка лазерного излучения, для которого ФС прозрачно, с ультракороткой длительностью импульса в плоскости создания прообразов локальных областей, совпадающей с плоскостью фокусировки, до момента завершения создания всех прообразов локальных областей,

составляющих устройство микротехники, выявление прообразов локальных областей с дефектами, проведение термической обработки до появления локальных областей кристаллической фазы в объеме пластины ФС, в которой не обнаружено прообразов локальных областей с дефектами в местах расположения прообразов локальных областей в устройстве микротехники, операцию травления пластины ФС в водном растворе HF, отличающийся тем, что выявленные прообразы локальных областей с дефектами последовательно аморфизируют сходящимся пучком излучения СО₂ лазера с плотностью средней мощности в перетяжке пучка не менее 7 Вт/см² и не более 18 Вт/см² в зависимости от длительности воздействия, но не менее 5 с и не более 10 с, при этом перетяжку лазерного пучка с размером не менее 25 мкм и не более 50 мкм совмещают с плоскостью расположения выявленных прообразов локальных областей с дефектами и перемещают от одного выявленного прообраза локальной области с дефектами к другому до момента завершения аморфизации всех выявленных прообразов локальных областей с дефектами в устройстве микротехники, после чего в каждой из аморфизированных областей вновь последовательно формируют прообразы локальных областей, а термическую обработку всех прообразов локальных областей, составляющих устройство микротехники, осуществляют до появления в каждом из них кристаллической фазы сходящимся пучком излучения СО₂ лазера с плотностью средней мощности в перетяжке пучка не менее 1.5 Вт/см² и не более 3.0 Вт/см² в зависимости от длительности воздействия, но не менее 15 с и не более 400 с, при этом перетяжку лазерного пучка с размером не менее 25 мкм и не более 500 мкм совмещают с плоскостью размещения прообразов локальных областей и перемещают ее от одного прообраза локальной области к другому до момента возникновения кристаллической фазы во всех прообразах локальных областей устройства микротехники.

30

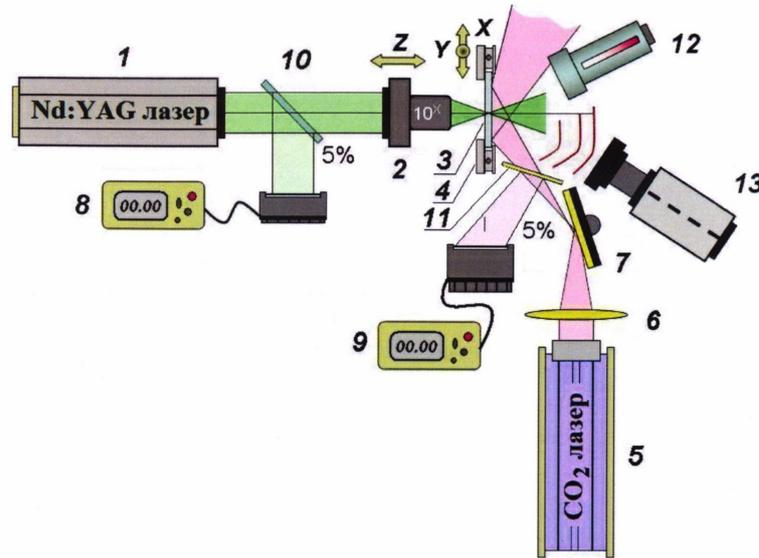
35

40

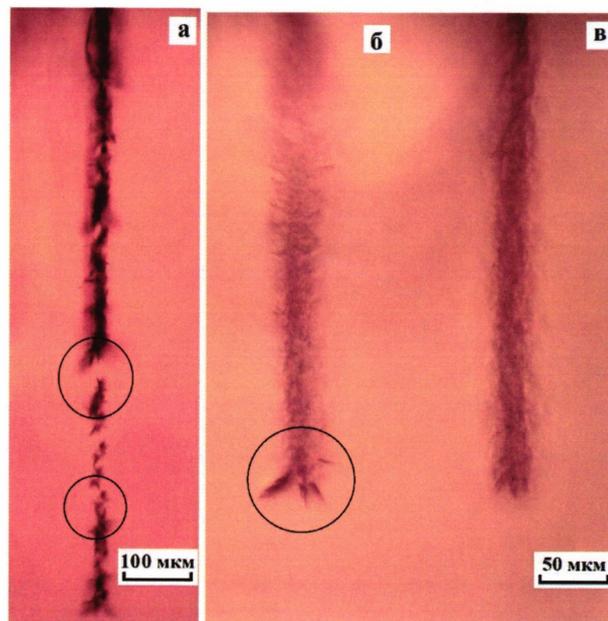
45

1

Способ изготовления устройства
микротехники в объеме пластины
фоточувствительного стекла



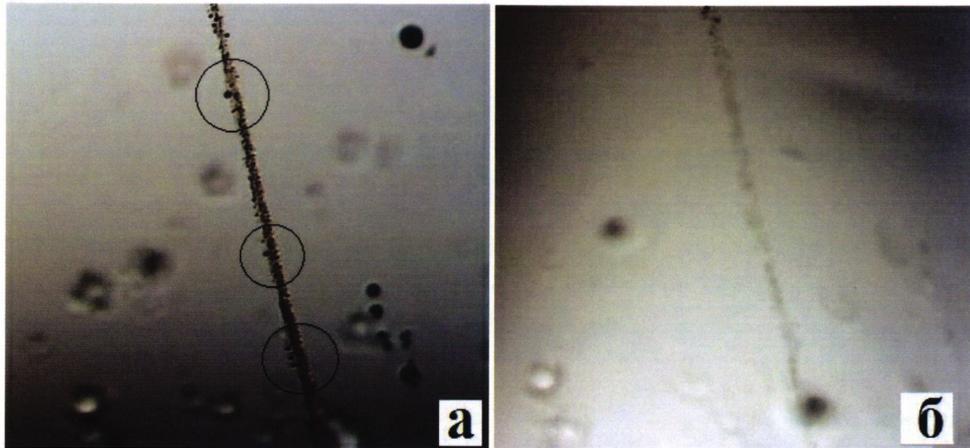
Фиг. 1



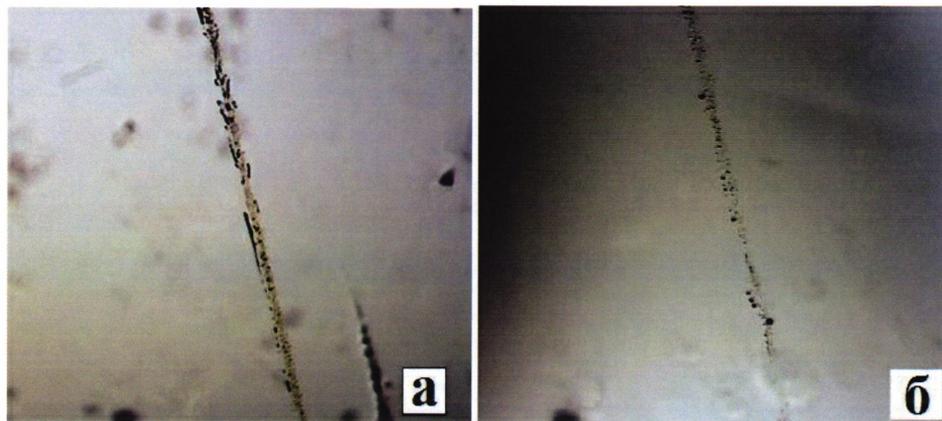
Фиг. 2

2

Способ изготовления устройства
микротехники в объеме пластины
фоточувствительного стекла

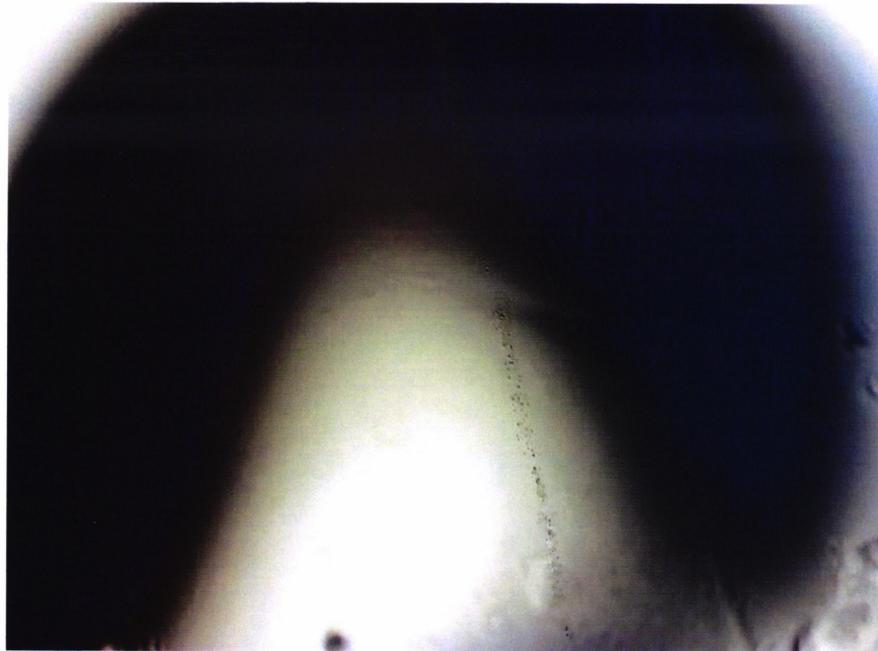


Фиг. 3

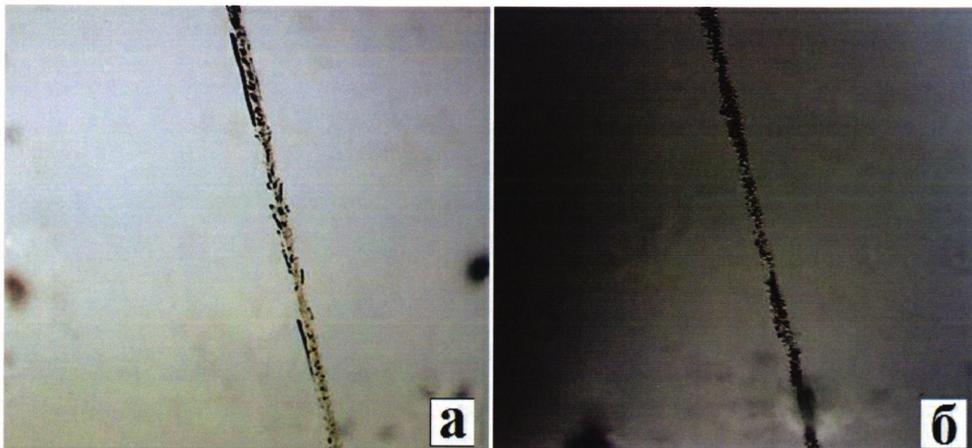


Фиг. 4

Способ изготовления устройства
микротехники в объеме пластины
фоточувствительного стекла



Фиг. 5

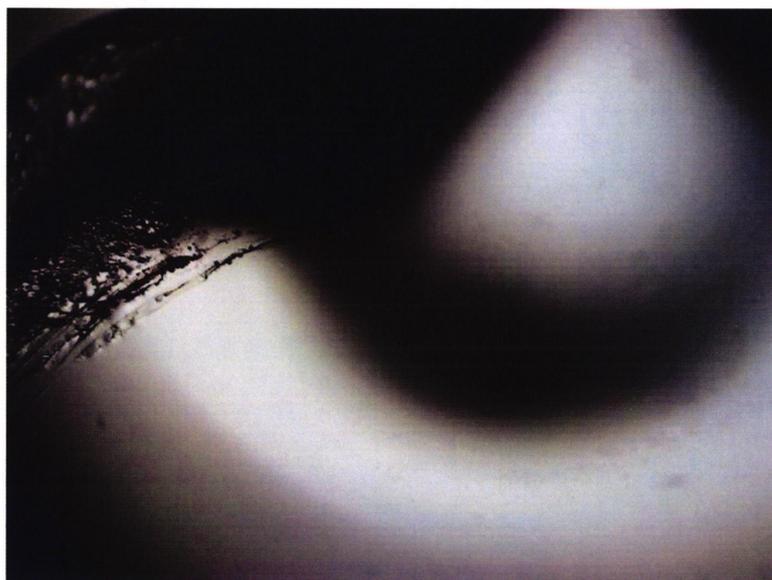


Фиг. 6

Способ изготовления устройства
микротехники в объеме пластины
фоточувствительного стекла

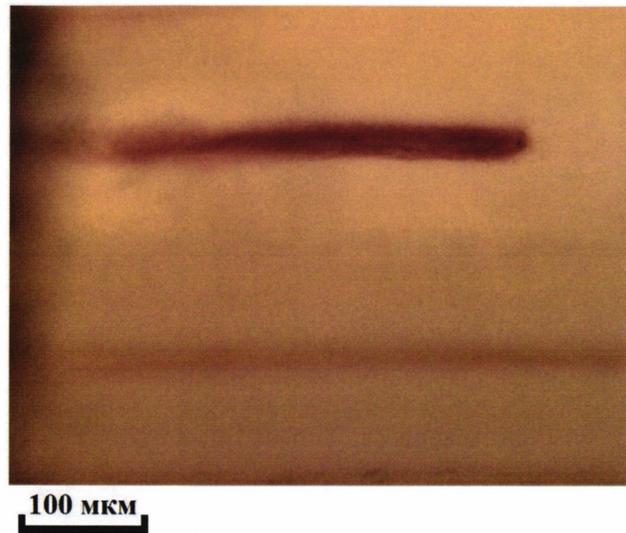


Фиг. 7

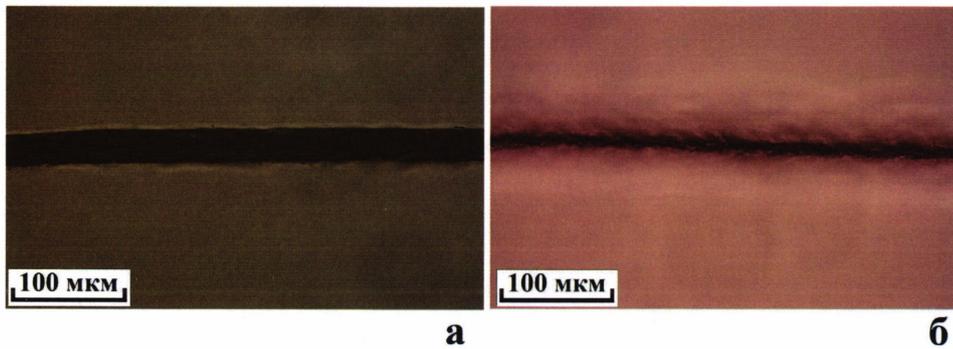


Фиг. 8

Способ изготовления устройства
микротехники в объеме пластины
фоточувствительного стекла

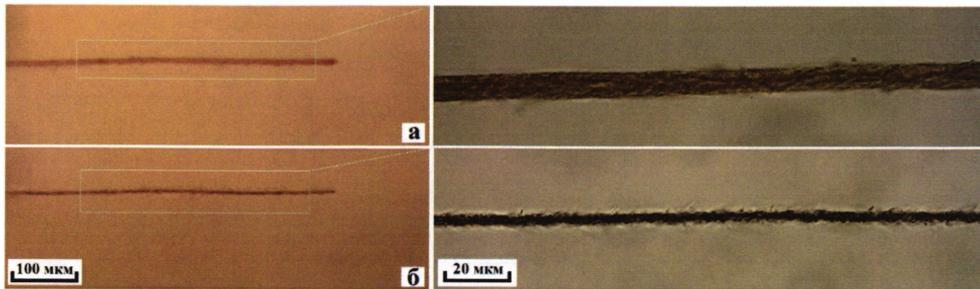


Фиг. 9

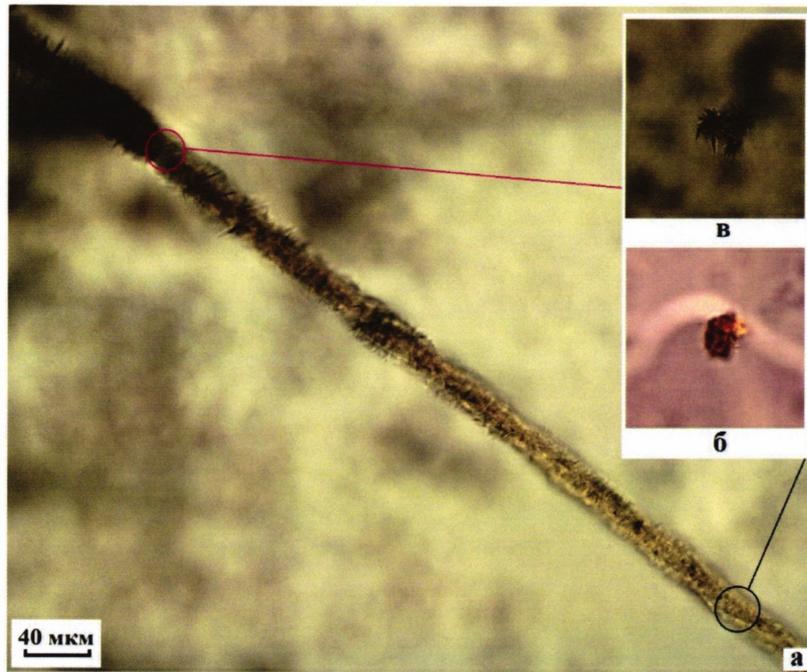


Фиг. 10 (а – после и б – до лазерной обработки)

Способ изготовления устройства
микротехники в объеме пластины
фоточувствительного стекла

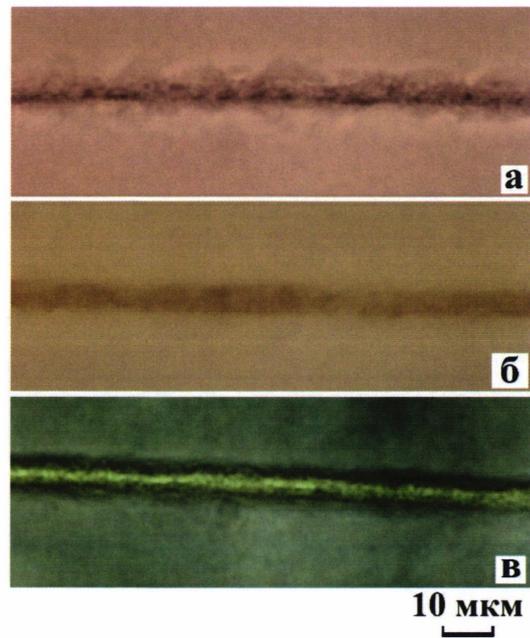


Фиг. 11

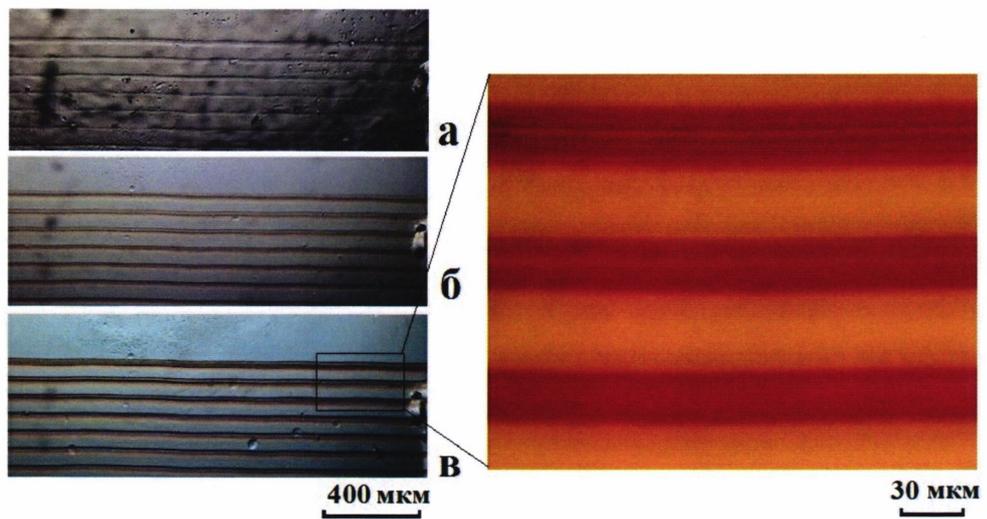


Фиг. 12

Способ изготовления устройства
микротехники в объеме пластины
фоточувствительного стекла

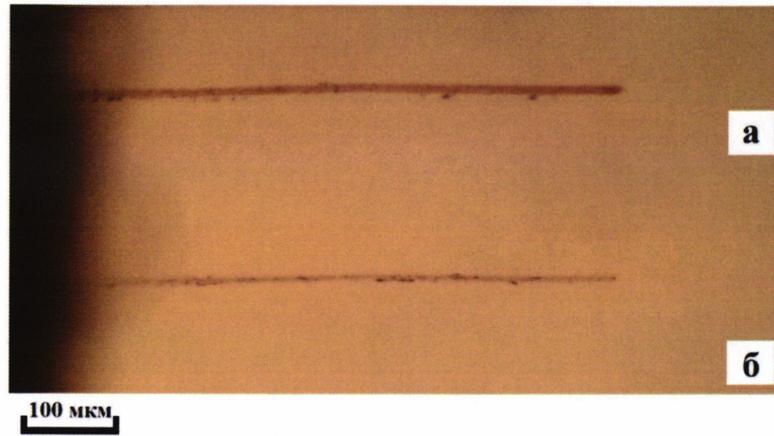


Фиг. 13 (а – 0 с; б – 11 с; в – 400 с)

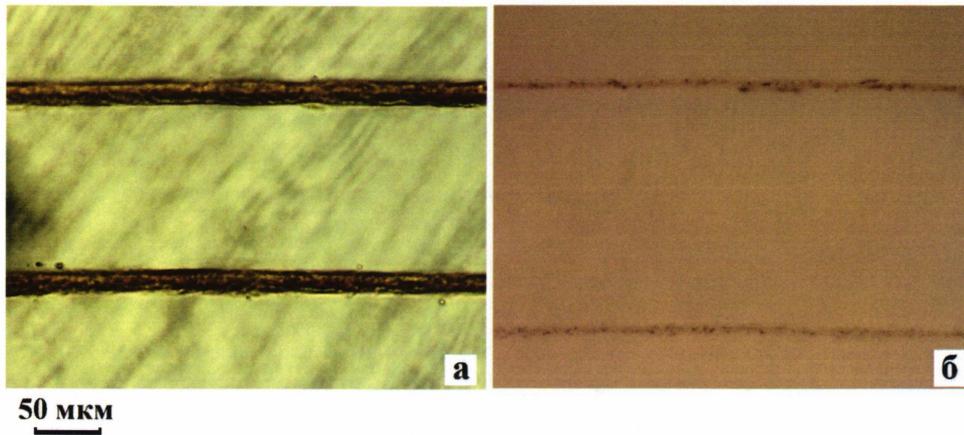


Фиг. 14 (а – 0 с; б – 400 с; в – 500 с)

Способ изготовления устройства
микротехники в объеме пластины
фоточувствительного стекла



Фиг. 15 – а полная, б – частичная кристаллизация



Фиг. 16