



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2004104448/28**, **17.02.2004**(24) Дата начала действия патента: **17.02.2004**(43) Дата публикации заявки: **20.07.2005**(45) Опубликовано: **10.02.2006** Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **US 6600965 A**, **29.07.2003**.
EP 0535828 A1, **07.04.1993**.
RU 2119430 C1, **27.09.1998**.
EP 0681904 A1, **15.11.1995**.
US 5058988 A, **22.10.1991**.
WO 02/085246 A2, **31.10.2002**.

Адрес для переписки:

**119991, Москва, ул. Косыгина, 4, Институт
химической физики РАН, патентный отдел**

(72) Автор(ы):

**Григорьянц Александр Григорьевич (RU),
Шиганов Игорь Николаевич (RU),
Малов Илья Евгеньевич (RU),
Шепелев Геннадий Васильевич (RU),
Евстропов Георгий Михайлович (RU),
Западинский Борис Исаакович (RU),
Любимов Александр Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(ли):

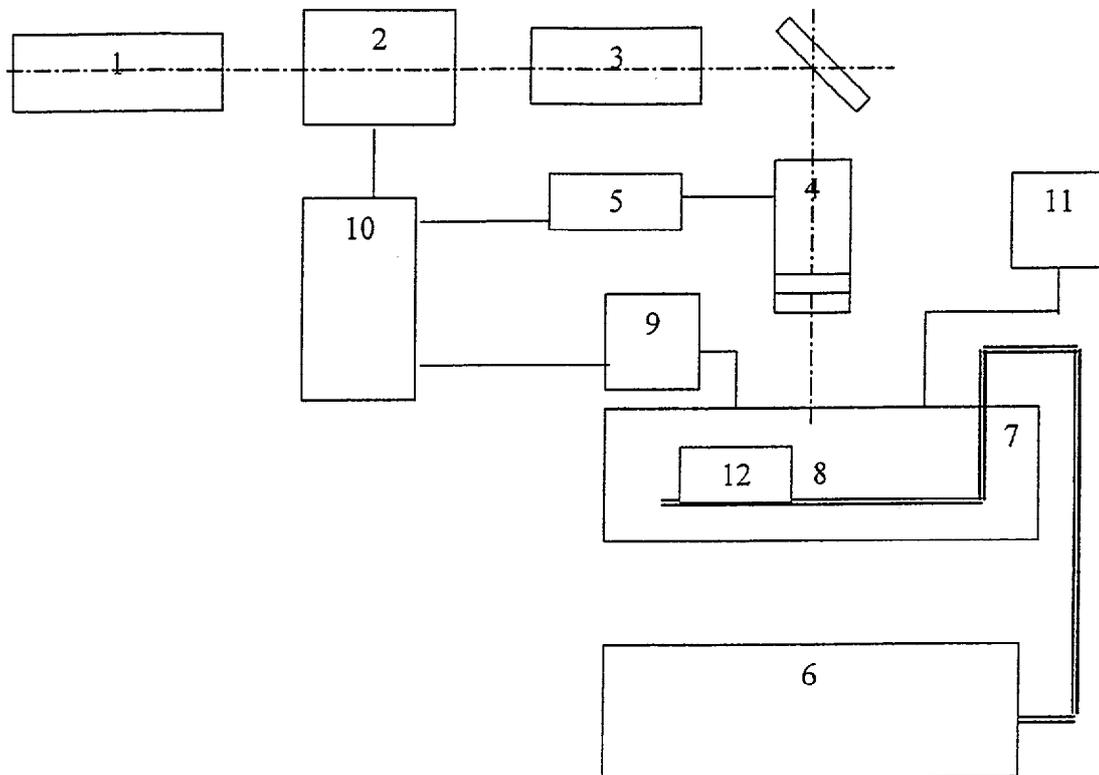
**Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э.
Баумана) (RU),
Институт химической физики РАН им. Н.Н.
Семенова (ИХФ РАН) (RU)**

(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОЙ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Способ включает создание компьютерной модели для формирования послойного изображения трехмерного изделия и подпорок для него, послойное формирование изделия из жидкой фотополимеризующейся композиции (ФПК) на плоской поверхности платформы, дискретно погружаемой в бак с жидкой ФПК, путем сканирования лазерным лучом с помощью системы перемещения луча портального типа. ФПК термостатируют при температуре, поддерживающей ее в жидком состоянии, а каждый обрабатываемый слой ФПК на поверхности платформы выравнивают перед сканированием. Установка содержит твердотельный лазер с диодной накачкой, излучающий в зеленом диапазоне спектра, а именно на длине волны 532

нм, оптические средства сканирования лазерного луча, содержащие систему перемещения луча портального типа, бак с ФПК, платформу с устройством ее дискретного вертикального перемещения, систему выравнивания поверхности обрабатываемого слоя ФПК, акустооптический модулятор и систему компьютерного управления. В качестве ФПК используют смесь высоковязкого метакрилированного диглицидилдифенилолпропана и низковязкого акрилового полифункционального мономера, включающую иницирующую систему, способную полимеризоваться с высокой скоростью под действием видимого света. Технический результат - повышение ресурса работы установки и увеличение площади обработки. 2 н. и 7 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. I

RU 2 2 6 9 4 1 6 C 2

RU 2 2 6 9 4 1 6 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
B29C 41/02 (2006.01)
C08F 2/46 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2004104448/28, 17.02.2004**

(24) Effective date for property rights: **17.02.2004**

(43) Application published: **20.07.2005**

(45) Date of publication: **10.02.2006 Bull. 4**

Mail address:
**119991, Moskva, ul. Kosygina, 4, Institut
khimicheskoy fiziki RAN, patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):
**Grigor'jants Aleksandr Grigor'evich (RU),
Shiganov Igor' Nikolaevich (RU),
Malov Il'ja Evgen'evich (RU),
Shepelev Gennadij Vasil'evich (RU),
Evstropov Georgij Mikhajlovich (RU),
Zapadinskij Boris Isaakovich (RU),
Ljubimov Aleksandr Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):
**Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet im. N.Eh. Baumana (MGTU im.
N.Eh. Baumana) (RU),
Institut khimicheskoy fiziki RAN im. N.N.
Semenova (IKhF RAN) (RU)**

(54) **METHOD FOR MANUFACTURING PRODUCTS BY MEANS OF LASER STEREO-LITHOGRAPHY AND DEVICE FOR REALIZATION OF SAID METHOD**

(57) Abstract:

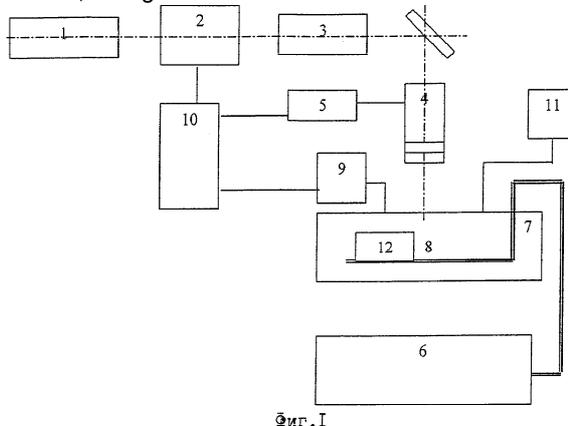
FIELD: lithography technologies.

SUBSTANCE: method includes generation of computer model for forming layered image of three-dimensional product and supports for it, layer-wise forming of product of liquid photo-polymerizing composition on flat surface of platform, discontinuously immersed into tank with liquid photo-polymerizing composition, by scanning by means of laser beam with utilization of portal-type ray displacement system. Photo-polymerizing composition is thermostatted at a temperature, maintaining it in liquid state, and each processed layer of photo-polymerizing composition on the surface of platform is evened out prior to scanning. Plant has hard-body laser with diode powering, emitting in green spectrum range, namely, at wave length 532 nm, optical means for scanning laser beam, containing portal-type system for displacement of ray, tank with photo-polymerizing composition, platform with device for its discontinuous vertical movement, system for evening out surface of processed photo-polymerizing composition layer, acoustic-optic

modulator and computer control system. As photo-polymerizing composition, mixture of highly viscous metacrylated biglycidylphenylpropane and low-viscous acryl poly-functional monomer is utilized, including initiation system, capable of polymerization at high speed under effect from visible light.

EFFECT: increased operation resource of plant and increased process area.

2 cl, 3 dwg



Изобретения относятся к области формирования изделий по геометрической или математической модели, в частности к изготовлению трехмерных объектов сложной формы из отверждающейся под воздействием лазерного излучения жидкой полимерной среды.

5 В настоящее время значительного прогресса достигли технологии послойного формирования трехмерных объектов по их компьютерным моделям, так называемые технологии быстрого прототипирования, основанные на использовании метода лазерной стереолитографии. Получаемые изделия применяются конструкторами и дизайнерами для точного литья в медицине, в ювелирной промышленности и т.д.

10 На сегодняшний день, возможно, изготовить достаточно сложные по форме отливки. Однако конструкция большинства ныне выпускаемых установок и методы изготовления изделий обуславливают ряд принципиальных ограничений в их практическом использовании.

15 Направления, разрабатываемые отечественными и зарубежными фирмами, основаны на технических решениях, которые ограничивают возможности увеличения производительности, а также габаритов выращиваемых изделий. В первую очередь это связано с типом используемого лазера и методом позиционирования лазерного луча.

Наиболее распространенные установки серии SLA и отечественные серии ЛС устроены по одному принципу. Все они используют сканаторную систему перемещения луча, которой присущи следующие недостатки:

- 20 1. Облучение поверхности фотополимеризующейся композиции (ФПК) без нарушения фокусировки возможно только в пределах определенного угла отклонения сканатора.
2. Реально размеры поля обработки могут быть не более 508 мм на 508 мм.
3. Непостоянство точности позиционирования луча на разном расстоянии от центра поля обработки.
- 25 4. Неперпендикулярность луча к плоскости обработки.
5. Прямопропорциональная зависимость минимально возможного диаметра лазерного луча в фокусе от максимально возможной площади обработки.

30 До недавнего времени в стереолитографических установках широко использовались газовые лазеры с отпаянной трубкой, которые имеют ограниченный срок службы и низкую стабильность параметров генерации, не отличаются высокой надежностью.

В последние годы используются твердотельные Nd:YVO₄ лазеры с оптической накачкой. С помощью нелинейных оптических элементов длина волны генерации 1064 нм уменьшается втрое до 355 нм (УФ диапазон). Такие системы требуют водяного охлаждения, имеют достаточно большие габариты и являются весьма дорогостоящими.

35 Ближайшим аналогом заявленного способа по технической сущности является способ изготовления трехмерных изделий с помощью стереолитографии, включающий создание компьютерной модели для формирования послойного изображения трехмерного изделия и формирование изделия из жидкой фотополимеризующейся композиции (ФПК), отверждающейся под действием УФ света. В качестве источника УФ света используют либо ртутную лампу, либо лазер УФ диапазона (патент США №4575330, МКИ В 29 D 11/00, G 03 С, НКИ 425/174.4, опубл. 11.03.1986). Согласно этому способу (прототипу) последовательное формирование соседних слоев изделия осуществляют на плоской поверхности платформы, которую дискретно погружают в бак с жидкой ФПК - каждый раз на 40 глубину, равную толщине очередного обрабатываемого слоя, - путем последовательного сканирования лазерным (световым) лучом жидких слоев УФ отверждаемой композиции. После окончания процесса формирования изделия платформу поднимают и извлекают готовое трехмерное изделие.

45 В этом же документе описан ближайший аналог заявленного устройства, содержащий систему компьютерного управления, лазер УФ диапазона, оптические средства сканирования лазерного луча, бак с жидкой ФПК, отверждающейся под действием УФ света, и погружающуюся платформу с устройством, обеспечивающим ее дискретное вертикальное перемещение на глубину, равную толщине очередного обрабатываемого слоя.

К недостаткам известных способа и устройства можно отнести невозможность изготовления изделий с габаритами более 250 мм, низкую стабильность параметров генерации излучения, сложность и громоздкость установки, ограниченный срок службы лазера, что приводит к повышению себестоимости изготовления устройства и изделий.

5 Задачей изобретения является разработка таких способа и устройства для лазерной стереолитографии, которые позволят увеличить размеры поля обработки, обеспечат повышение ресурса работы установки и снизят себестоимость изготовления установки и изготовления изделий.

Поставленная задача решается тем, что в способе изготовления изделий с помощью 10 лазерной стереолитографии, включающем создание компьютерной модели для формирования послойного изображения трехмерного изделия, и послойное формирование изделия из жидкой фотополимеризующейся композиции (ФПК) на плоской поверхности платформы, дискретно погружаемой в бак с жидкой ФПК на глубину, равную толщине 15 очередного обрабатываемого слоя путем последовательного сканирования лазерным лучом жидких слоев указанной композиции, согласно изобретению в указанную компьютерную модель дополнительно вводят информацию о подпорках для формируемого изделия, сканирование осуществляют лазерным лучом с длиной волны зеленой области 20 спектра, при этом указанную композицию термостатируют при температуре, поддерживающей ее в жидком состоянии, и каждый очередной обрабатываемый жидкий слой ФПК на плоской поверхности платформы выравнивают перед сканированием, 25 направленным перпендикулярно поверхности слоя ФПК лазерным лучом, который перемещают при помощи системы перемещения луча портального типа, а в качестве ФПК, используют способную полимеризоваться под действием видимого света смесь высоковязкого метакрилированного диглицидилдифенилолпропана и низковязкого акрилового полифункционального мономера, включающую иницирующую систему, 30 содержащую краситель и соинициатор, способную передавать энергию с фотовозбужденной молекулы красителя на соинициатор.

Предпочтительно чтобы длина волны лазерного излучения была равна 532 нм. Толщину каждого обрабатываемого слоя можно устанавливать равной или более 15 мкм.

30 Подпорки целесообразно формировать параллельно с формированием изделия. В качестве красителя можно использовать «бенгальскую розу», а в качестве соинициатора - диметиламиноэтанол.

Поставленная задача решается также тем, что лазерная стереолитографическая установка, содержащая лазер, оптическую систему сканирования лазерного луча, бак с 35 фотополимеризующейся композицией (ФПК), платформу с устройством ее вертикального перемещения, выполненным с возможностью дискретного погружения платформы в бак с ФПК на глубину, равную толщине очередного обрабатываемого слоя, и систему компьютерного управления, согласно изобретению дополнительно содержит акустооптический модулятор, размещенный между лазером и оптическими средствами 40 сканирования лазерного луча, термостат для поддержания ФПК в жидком состоянии и систему выравнивания поверхности очередного обрабатываемого слоя ФПК перед сканированием лазерным лучом, при этом лазер выполнен с длиной волны излучения зеленой области спектра, оптические средства сканирования лазерного луча содержат систему перемещения луча портального типа, а в качестве ФПК использована способная 45 полимеризоваться под действием видимого света смесь высоковязкого метакрилированного диглицидилдифенилолпропана и низковязкого акрилового полифункционального мономера, включающая иницирующую систему, содержащую краситель и соинициатор, способную передавать энергию с фотовозбужденной молекулы красителя на соинициатор.

50 Предпочтительно чтобы длина волны лазерного излучения была равна 532 нм, а толщина обрабатываемого слоя равна или более 15 мкм.

Целесообразно чтобы в качестве красителя в иницирующей системе ФПК, была использована «бенгальская роза», а в качестве соинициатора - диметиламиноэтанол.

Изобретение поясняется чертежами, где на фиг.1 представлена блок-схема заявленной установки, на фиг.2 схематично изображено выращиваемое на платформе изделие с подпорками, а на фиг.3 схематично представлена система перемещения портального типа.

Лазерная стереолитографическая установка содержит твердотельный лазер 1 с генерацией 2-ой гармоники с диодной накачкой, излучающий в зеленом диапазоне спектра, а именно на длине волны 532 нм, акустооптический модулятор 2, размещенный между лазером 1 и оптической системой сканирования лазерного луча и обеспечивающий быстрое включение и выключение излучения. Оптическая система сканирования содержит систему поворотных зеркал 3, фокусирующий объектив 4, обеспечивающий фокусировку лазерного луча на поверхности ФПК в пятно диаметром от 50 до 250 мкм, и систему перемещения портального типа 5, обеспечивающую направление излучения в различные точки поверхности ФПК. Кроме того, установка содержит бак 7, наполненный ФПК, платформу 8, устройство вертикального перемещения 6 платформы 8, датчик уровня ФПК 9, систему компьютерного управления 10, термостат 11 и систему выравнивания поверхности ФПК (на чертеже не указана).

Способ изготовления изделий и работа лазерной стереолитографической установки заключаются в следующем.

В бак 7 заливается жидкая ФПК. С помощью системы нагрева, включающей термостат 11, прогревают ФПК и поддерживают рабочую температуру. При этом в компьютер системы управления 10 вводят 3-мерную компьютерную модель в виде двух файлов, в одном из которых содержится набор слоев изделия, которое необходимо вырастить, с указанием толщины каждого слоя и параметров лазерного излучения. Во втором файле содержится информация о подпорках для выращиваемого изделия. Платформа 8 с помощью устройства вертикального перемещения 6 погружается в ФПК на глубину, равную толщине обрабатываемого слоя.

Далее с помощью системы выравнивания поверхность ФПК выравнивают. Затем слой ФПК обрабатывают направленным перпендикулярно поверхности лазерным лучом, который перемещают при помощи системы перемещения луча портального типа. Лазерный луч вырисовывает изображение в первом слое (подпорки выращиваются параллельно с самим изделием). В месте воздействия лазерного луча инициируется реакция полимеризации, в результате которой ФПК переходит в твердое состояние. Таким образом получается твердая модель первого слоя выращиваемого изделия. Далее платформа 8 погружается в ФПК, перемещаясь вниз на расстояние, равное толщине второго слоя, и процесс повторяется (выравнивание поверхности и лазерное сканирование). После того как все слои будут отработаны, получают готовое пластиковое изделие 12.

Заявленный способ позволяет получать изделия с высокой точностью (до 100 мкм) и в сроки, в 5-10 раз меньшие, чем традиционные технологии.

Система перемещения портального типа 5 позволяет практически неограниченно увеличивать поле сканирования, когда обрабатываемый объект неподвижен по горизонтальным координатам. С помощью системы 5 фокусирующий объектив 4 перемещается в горизонтальной плоскости по двум горизонтальным координатным осям, при этом лазерный луч все время направлен перпендикулярно поверхности ФПК.

Система выравнивания поверхности ФПК представляет собой прямой нож, размещаемый вдоль поверхности ФПК так, что плоскость ножа перпендикулярна поверхности ФПК. В силу большой вязкости фоточувствительной композиции естественное растекание образующихся неровностей на ее поверхности занимает значительный период времени, поэтому для ускорения выравнивания поверхности указанный нож двигают по горизонтали и снимают излишки ФПК (подобно ножу бульдозера).

Так как послойно выращиваемый объект (изделие) находится в жидкости, его необходимо жестко зафиксировать на платформе, чтобы избежать смещений и даже отрыва от платформы в результате действия гидродинамических сил, которые появляются при движении платформы или при смещении центра масс выращиваемого объекта. Кроме того, большая площадь контакта изделия с платформой затрудняет его отделение от

платформы, а зачастую приводит к повреждению выращенного изделия при съеме его с платформы. Чтобы избежать этого, необходимы подпорки, на которых создается изделие. Подпорки, как правило, представляют собой тонкие (0.1-0.5 мм) стенки, которые, пересекаясь друг с другом, образуют жесткую конструкцию. После съема изделия с платформы остатки подпорок удаляются вручную путем отламывания.

Другое функциональное назначение подпорок заключается в поддержании в процессе построения выступов и «ручек», а также несвязных областей сечения, которые не имеют общих точек с предыдущим слоем. Например, консольные участки изделия могут провисать в процессе построения без подпорок.

Сочетание использования системы перемещения портального типа и подпорок позволяет выращивать изделия большого размера.

Твердотельный лазер с диодной накачкой, излучающий в зеленом диапазоне спектра (532 нм), имеет высокий КПД, малые габариты, проще в использовании, более надежен в течение всего срока службы и гораздо дешевле. Зеленое излучение по сравнению с ультрафиолетовым является более удобным для использования в технологических установках. Это объясняется тем, что оптические системы для видимого диапазона хорошо разработаны и позволяют использовать все известные схемы сканирования лазерного луча и световолоконной оптики.

Основным препятствием замены УФ лазера на зеленый являлось отсутствие ФПК, способной полимеризоваться с достаточно высокой скоростью под воздействием излучения с такой длиной волны. В настоящее время авторами заявленного изобретения необходимая ФПК создана, то есть разработана композиция с высокой фоточувствительностью. В ФПК введена иницирующая система, способная начинать полимеризацию при облучении видимым светом: она содержит краситель и соинициатор, при этом краситель, поглощающий видимый свет, выступает в качестве сенсбилизатора - он передает накопленную энергию соинициатору, который под воздействием полученной энергии после ряда химических преобразований распадается на свободные радикалы, начинающие процесс отверждения. Подбором мономеров с различной реакционной способностью можно регулировать скорость процесса полимеризации.

Эксперименты показали, что критическая доза облучения, после которой начинается реакция фотоиницированной полимеризации, составила 24 мДж/см², что всего в два раза превышает аналогичную дозу традиционной композиции. Данное отставание является естественным, поскольку зеленое излучение обладает меньшей энергетикой по сравнению с ультрафиолетовым. Использование твердотельного лазера с диодной накачкой и длиной волны излучения 532 нм позволило увеличить мощность излучения со 100 до 200 мВт, что удвоило скорость выхода твердого полимера. В результате удалось обеспечить производительность процесса лазерной стереолитографии видимого диапазона, равную или близкую к производительности отечественной установки с газовым УФ лазером.

В ходе экспериментов было установлено, что созданная ФПК позволяет отверждать более тонкие слои (15 мкм), нежели традиционные ФПК (25 мкм), что обеспечивает повышение разрешающей способности метода стереолитографии и уменьшение шероховатости поверхности получаемых изделий. При этом в заявленном способе отверждение производится в воздушной среде, что удобнее технологически и экономичней, в то время как традиционные ФПК позволяют отверждать минимальный по толщине слой (25 мкм) только в среде защитных газов.

По сравнению с известными аналогами заявленные способ и установка обладают следующими преимуществами:

- пониженная энергоемкость процесса вследствие использования экономичного и малогабаритного лазера видимого диапазона;
- улучшенные экологические и санитарные условия реализации процесса вследствие замены УФ лазера на лазер видимого диапазона;
- повышение точности (разрешения) формирования изделия в результате снижения толщины слоя твердого полимера, образующегося за 1 проход;

- повышенный ресурс работы установки;
- увеличение размеров поля обработки;
- низкая себестоимость изготовления установки и получаемых изделий.

По предварительным экономическим оценкам стоимость заявленной установки может
5 быть примерно в два раза ниже стоимости отечественной установки ЛС-250 и в три раза
ниже стоимости установки фирмы «3D Systems».

Формула изобретения

1. Способ изготовления изделий с помощью лазерной стереолитографии, включающий
10 создание компьютерной модели для формирования послойного изображения трехмерного
изделия и послойное формирование изделия из жидкой фотополимеризующейся
композиции (ФПК) на плоской поверхности платформы, дискретно погружаемой в бак с
жидкой ФПК на глубину, равную толщине очередного обрабатываемого слоя, путем
15 последовательного сканирования лазерным лучом жидких слоев указанной композиции,
отличающийся тем, что в компьютерную модель дополнительно вводят информацию о
формировании подпорок для изделия, сканирование осуществляют лазерным лучом с
длиной волны зеленой области спектра, при этом указанную композицию термостатируют
при температуре, поддерживающей ее в жидком состоянии, и каждый очередной
20 обрабатываемый жидкий слой ФПК на плоской поверхности платформы выравнивают
перед сканированием направленным перпендикулярно поверхности слоя ФПК лазерным
лучом, который перемещают при помощи системы перемещения луча портального типа, а
в качестве ФПК используют способную полимеризоваться под действием видимого света
смесь высоковязкого метакрилированного диглицидилдифенилолпропана и низковязкого
25 акрилового полифункционального мономера, включающую иницирующую систему,
содержащую краситель и соинициатор, способную передавать энергию с
фотовозбужденной молекулы красителя на соинициатор.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что длина волны лазерного излучения равна 532
нм.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что толщину обрабатываемого слоя
30 устанавливают равной или более 15 мкм.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что подпорки формируют параллельно с
формированием изделия.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве красителя в иницирующей системе
ФПК используют «бенгальскую розу», а в качестве соинициатора - диметиламиноэтанол.

35 6. Лазерная стереолитографическая установка, содержащая лазер, оптические средства
сканирования лазерного луча, бак с фотополимеризующейся композицией (ФПК),
платформу с устройством ее вертикального перемещения, выполненным с возможностью
дискретного погружения платформы в бак с ФПК на глубину, равную толщине очередного
обрабатываемого слоя, и систему компьютерного управления, отличающаяся тем, что она
40 дополнительно содержит акустооптический модулятор, размещенный между лазером и
оптическими средствами сканирования лазерного луча, термостат для поддержания ФПК в
жидком состоянии и систему выравнивания поверхности очередного обрабатываемого слоя
ФПК перед сканированием лазерным лучом, при этом лазер выполнен с длиной волны
излучения зеленой области спектра, оптические средства сканирования лазерного луча
45 содержат систему перемещения луча портального типа, а в качестве ФПК использована
способная полимеризоваться под действием видимого света смесь высоковязкого
метакрилированного диглицидилдифенилолпропана и низковязкого акрилового
полифункционального мономера, включающая иницирующую систему, содержащую
краситель и соинициатор, способную передавать энергию с фотовозбужденной молекулы
50 красителя на соинициатор.

7. Установка по п.6, отличающаяся тем, что длина волны лазерного излучения равна
532 нм.

8. Установка по п.6 или 7, отличающаяся тем, что минимальная толщина

обрабатываемого слоя составляет 15 мкм.

9. Установка по п.6, отличающаяся тем, что в качестве красителя в иницирующей системе ФПК использована «бенгальская роза», а в качестве соинициатора - диметиламиноэтанол.

5

10

15

20

25

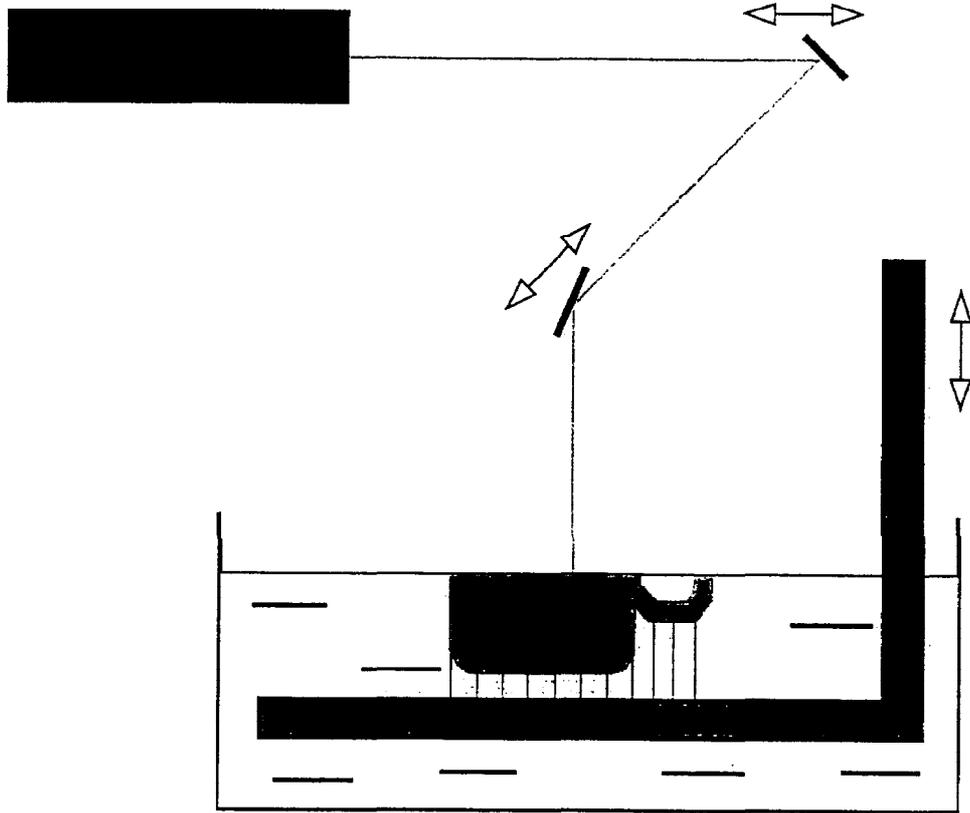
30

35

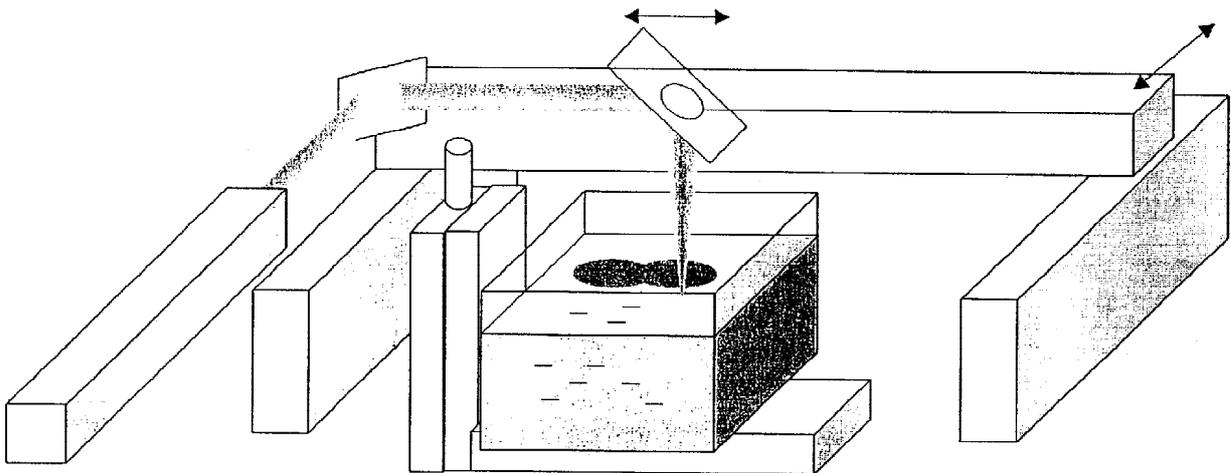
40

45

50



Фиг. 2



Фиг. 3