



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013155727/28, 17.12.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.12.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.12.2013

(45) Опубликовано: 10.07.2015 Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Михеева О.П., Сидоров А.И. Особенности ограничения лазерного излучения зеркалами на основе диоксида ванадия// Оптический журнал. Том 68, N4, 2001. RU 2306586 C1, 20.09.2007. CN 102681288 A, 19.09.2012. US 5495101 A, 27.02.1996

Адрес для переписки:

630108, г.Новосибирск, ул. Плахотного, 10,
ФГБОУ ВПО "СГГА"

(72) Автор(ы):

Чесноков Владимир Владимирович (RU),
Чесноков Дмитрий Владимирович (RU),
Никулин Дмитрий Михайлович (RU),
Шергин Сергей Леонидович (RU),
Райхерт Валерий Андреевич (RU),
Кочкарев Денис Вячеславович (RU),
Кузнецов Максим Викторович (RU),
Лаптев Евгений Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

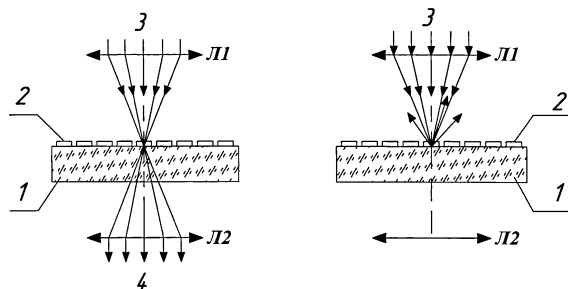
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет геосистем и технологий" (СГУГиТ) (RU)

(54) ОПТИЧЕСКИЙ ПАССИВНЫЙ ОГРАНИЧИТЕЛЬ ПРОХОДЯЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к оптической и оптоэлектронной технике, а именно к устройствам предохранения фоточувствительных элементов оптических и оптоэлектронных систем от разрушающего воздействия мощного излучения. Оптический пассивный ограничитель проходящего излучения содержит прозрачную изолирующую подложку с полупроводниковой пленкой на поверхности, увеличивающей

электрическую проводимость при нагревании проходящим излучением и размещаемой в фокальной плоскости объектива. Пленка структурирована в виде сетки или мозаики пятен со средней периодичностью структуры, меньшей длины волны излучения. Технический результат - повышение быстродействия, понижение порога срабатывания. 3 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 555 503** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
G02F 1/01 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2013155727/28, 17.12.2013**

(24) Effective date for property rights:
17.12.2013

Priority:

(22) Date of filing: **17.12.2013**

(45) Date of publication: **10.07.2015** Bull. № 19

Mail address:

**630108, g.Novosibirsk, ul. Plakhotnogo, 10, FGBOU
VPO "SGGA"**

(72) Inventor(s):

**Chesnokov Vladimir Vladimirovich (RU),
Chesnokov Dmitrij Vladimirovich (RU),
Nikulin Dmitrij Mikhajlovich (RU),
Shergin Sergej Leonidovich (RU),
Rajkhert Valerij Andreevich (RU),
Kochkarev Denis Vjacheslavovich (RU),
Kuznetsov Maksim Viktorovich (RU),
Laptev Evgenij Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sibirskij gosudarstvennyj
universitet geosistem i tekhnologij" (SGUGiT)
(RU)**

(54) **OPTICAL PASSIVE LIMITER OF PASSING RADIATION**

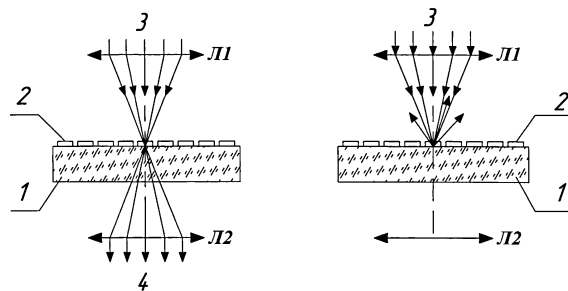
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: this limiter comprises translucent insulating substrate with semiconductor film on its surface to increase electric conductivity at heating by passing radiation and to be placed in the lens focal area. Said film is structured as a grid or mosaic of spots with mean periodicity of the structure smaller than radiation wavelength.

EFFECT: higher performance, lower threshold of operation.

4 cl, 3 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к оптической и оптоэлектронной технике, к устройствам предохранения фоточувствительных элементов оптических и оптоэлектронных систем от разрушающего воздействия мощного излучения.

Для защиты чувствительных приемников излучений от повреждения мощным излучением исследуются оптические пассивные ограничители проходящего излучения, являющиеся аналогами изобретения, основанные на применении жидких золь или твердых золь в виде тонких пленок, содержащих фуллерены, наночастицы углерода или металлов [Каманина Н.В. Фотофизика фуллереносодержащих сред: ограничители лазерного излучения, дифракционные элементы, диспергированные жидkokристаллические модуляторы света // Нанотехника. №1, 2006]. Излучение проходит через слой золь (в виде пленки), обладающий прозрачностью 50-70%, к защищаемому приемнику; при увеличении интенсивности излучения поглощение в среде нелинейно увеличивается до некоторой непрозрачности среды и приемник оказывается защищенным от повреждения мощным излучением.

Недостатком такой защиты является невозможность ограничения излучения среднего и дальнего ИК-диапазонов спектра, так как в основе эффекта ограничения лежит фотоиндуцированное увеличение сечения поглощения наночастиц, проявляющееся только в видимом и ближнем ИК-диапазонах.

Аналогом рассматриваемого изобретения является также сетчатый фильтр длинноволнового ИК-излучения [Длинноволновая инфракрасная спектроскопия. Сборник статей. Пер. с англ. под общей редакцией В.Н. Мурзина. - М.: Мир. 1966. - 320 с., страницы 292-315]. Проволочная сетка с периодом, много меньшим длины волны излучения, и «обратная сетка», получаемая на подложке напылением металла через сетку как через маску являются зеркалами с высокой отражающей способностью в длинноволновом ИК-диапазоне. Условием возможности использования сетчатого фильтра как зеркала является требование, чтобы толщина скин-слоя в металле сеток на данной длине волны была меньше толщины перемычек сетки.

Использование такого фильтра в качестве ограничителя мощных излучений с пропусканием, зависящим от интенсивности излучения, не известно.

Прототипом заявленного изобретения является оптический ограничитель, работающий на длине волны 10 мкм, использующий фазовый переход первого рода диэлектрик-металл [Михеева О.П., Сидоров А.И. Особенности ограничения лазерного излучения зеркалами на основе диоксида ванадия // Оптический журнал. Том 68, №4, 2001]. В работе приведены результаты экспериментального исследования ограничения лазерного излучения среднего ИК-диапазона зеркалами на основе диоксида ванадия. Диоксид ванадия является полупроводником, способным при температурах нагревания менее 100°C испытывать фазовый переход диэлектрик-металл с увеличением электропроводимости и увеличением коэффициента отражения в ИК-диапазоне.

Недостатком такого ограничителя является недостаточное быстродействие - время запаздывания начала ограничения порядка 100 нс.

Решаемой настоящим изобретением задачей является создание оптического ограничителя проходящего излучения ИК-диапазона спектра с увеличенным быстродействием и уменьшенным порогом ограничения излучения.

Задача решается тем, что в оптическом пассивном ограничителе проходящего излучения, содержащем прозрачную изолирующую подложку с полупроводниковой пленкой на поверхности, увеличивающей электрическую проводимость при нагревании проходящим излучением и размещаемой в фокальной плоскости объектива, в соответствии с изобретением пленка структурирована в виде сетки или мозаики пятен

со средней периодичностью структуры, меньшей длины волны излучения.

Предлагается также, что указанная структурированная пленка теплоизолирована от подложки промежуточным прозрачным слоем диэлектрика. Предлагается также, что указанная структурированная пленка размещена на обеих поверхностях подложки, причем толщина подложки не превышает глубину резкости объектива.

Предлагается также, что структурированная сетка изготовлена из элементарных полупроводников или полупроводниковых окислов металлов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, в том числе окислов ванадия, титана, никеля, кобальта, железа, гафния, алюминия или смесей окислов.

На Фиг.1 показаны схематически устройство и оптическая схема применения ограничителя, на фиг.2 - сеточная структура поглощающей пленки ограничителя по изобретению, на Фиг.3 - устройство по изобретению с сеточными структурами, расположенными на двух сторонах подложек.

Фиг.1: 1 - прозрачная подложка, 2 - элементы структуры поглощающего сеточного слоя ограничителя в виде разделенных зазорами квадратных тонкопленочных островков из изменяющего электрическую проводимость при лазерном воздействии материалов, 3 - входящее в ограничитель излучение, 4 - выходящее из ограничителя излучение в отсутствие эффекта ограничения, 5 - отраженное от сеточного слоя излучение при наступлении эффекта ограничения, Л1 и Л2 - софокусные линзы.

Фиг.2: 2 - элементы структуры сеточного слоя ограничителя, расположенные на поверхности прозрачной подложки и имеющие, например, форму квадратных островков, разделенных зазорами, 6 - структура в виде сетки или островков сеточного слоя ограничителя, расположенная на поверхности прозрачной подложки, ячейки сетки могут иметь форму квадрата, как показано на фигуре в качестве примера, или могут иметь другую форму, 7 - зона облучения сеточной структуры лазерным сфокусированным излучением.

Фиг.3: 8 - структура в виде сетки или островков сеточного слоя на стороне подложки 1 толщиной h , противоположной облучаемой; 9 - падающий на подложку световой пучок, создающий на подложке фокальное пятно и имеющий перетяжку диаметром D_f ; 10 - прошедший подложку пучок излучения.

Как показано на Фиг.1, ограничиваемое излучение 3 фокусируется линзой Л1 на поверхность подложки 1, на которой расположена тонкая структурированная пленка материала, способного при нагревании изменять (например, увеличивать) свою электрическую проводимость. Фокальное пятно на поверхности должно иметь размеры, при которых на площади пятна приходится несколько (порядка нескольких десятков и более) структурных элементов сетки. Период сетки должен составлять малую долю длины волны излучения. При малой интенсивности излучения нагревание лазерным лучом сетчатого слоя незначительно, его электрическая проводимость мала, отражение от сетчатой структуры мало и излучение проходит структуру ограничителя, практически не изменяя своей интенсивности, и второй линзой собирается в параллельный пучок. Оптическая схема может быть и другой, необходимо лишь обеспечить концентрацию падающего излучения в фокальное пятно малых размеров на подложке с сетчатым слоем. При увеличении интенсивности излучения температура структурных элементов сетки, попавших в пределы фокального пятна, увеличивается и увеличивается их проводимость, что приводит к увеличению коэффициента отражения сетки в области фокального пятна и препятствует увеличению интенсивности проходящего структуру излучения, ограничивает интенсивность излучения. На правом рисунке Фиг.1 показан ход лучей отраженного пучка 5, соответствующий случаю отражения излучения от

сетчатой структуры. Отражение излучения близко к зеркальному отражению, роль рассеяния незначительна.

Проведем количественную оценку эффекта ограничения излучения сетками, используя формулу для коэффициента отражения проволочной сетки при нормальном падении излучения на сетку [Длинноволновая инфракрасная спектроскопия. Сборник статей. Пер. с англ. под общей редакцией В.Н. Мурзина. - М.: Мир. 1966. - 320 с. Страницы 292-315]:

$$R = \frac{1}{1 + [G - \operatorname{tg} \Phi]^2}; \quad G = 0,157 \left(\frac{2a'}{d} \right) \left(\frac{c}{\sigma \lambda} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где величина G определяет зависимость отражения от электрической проводимости σ материала проволок, а $\operatorname{tg} \Phi$ зависит от геометрии решетки:

$$\operatorname{tg} \Phi = -\frac{2a'}{\lambda} \left[\ln \frac{a'}{\pi d} + H \left(\frac{\lambda}{a'} \right) \right]; \quad H \left(\frac{\lambda}{a'} \right) = \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[\frac{1}{m^2 - \left(\frac{a'}{\lambda} \right)^2} \right]^{1/2} - \frac{1}{m} \right\}, \quad (2)$$

где Φ - фаза отраженной волны, a' - расстояние между центрами соседних проволок, d - диаметр проволок, m - целое число, порядковый номер члена ряда.

При условии $\frac{a'}{\lambda} \ll 1$ и $G \ll \frac{2a'}{\lambda} \ln \frac{a'}{\pi d}$, значение $H \left(\frac{\lambda}{a'} \right) = 0$.

Оценки показывают, что в случае значений параметров, соответствующих нашей задаче, $\operatorname{tg} \Phi = 0$ и формулу для коэффициента отражения можно представить в виде:

$$R \approx \frac{1}{1 + G^2}. \quad (3)$$

При малой интенсивности излучения электрическая проводимость сетки нулевая, $G^2 \rightarrow \infty$, $R=0$, излучение проходит сетку беспрепятственно.

При воздействии мощного излучения вследствие фазового перехода диэлектрик-металл вещества сетки проводимость сетки может вырасти до значения одной сотой проводимости меди ($\sigma(\text{Cu}) = 5.14 \cdot 10^{17} \text{ с}^{-1}$ (в системе Гаусса)) и более. На длине волны $\lambda = 10 \text{ мкм}$ и при параметрах сетки $a' = 2 \text{ мкм}$, $d = 0,5 \text{ мкм}$ получим уменьшение G^2 до 0,01,

увеличение отражения до $R = \frac{1}{1 + 0,01} \approx 1$; это означает, что проходящее излучение ограничивается.

Сеточная структура пленки приводит к рассеянию света вследствие эффектов дифракции на периодических неоднородностях. При малой интенсивности излучения неоднородности пленки влияют на падающее излучение как фазовые неоднородности поверхности прозрачной подложки. В нашем случае неоднородности имеют форму дисков на поверхности или углублений в подложке с поперечником неоднородности много меньше длины волны излучения. В работе [Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. - 1970. - 855 с.] представлены результаты расчета сечения рассеяния света на одиночных диэлектрических сферах, выполненного на основании теории Ми. При дифракционном параметре сферы $2\pi r/\lambda \ll 1$ (r - радиус

сферы) сечение рассеяния много меньше реального сечения сферы, что свидетельствует о незначительности эффекта рассеяния. Этот вывод мы распространяем и на рассеяние частицами в виде малых дисков, а также рассеяние малыми углублениями (последнее - в соответствии с принципом Бабинне).

Таким образом, рассеяние проходящего света через сеточную структуру ограничителя при малой интенсивности излучения пренебрежимо мало.

Необходимым условием функционирования сетчатой структуры на поверхности в качестве ограничителя проходящего излучения является малость параметра периодичности в сравнении с длиной волны ограничиваемого излучения:

$$\frac{a'}{\lambda} \ll 1. \quad (4)$$

На Фиг.2а) показана сетчатая структура пленки на поверхности подложки, в которой при лазерном облучении индуцируется возникновение электрической проводимости, перемишки сетки заштрихованы, на Фиг.2б) - островковая структура такой же пленки, заштрихованы островки. Структура показана строго периодической с периодичностью a' как один из возможных вариантов, так как возможно и беспорядочное расположение просветов сетки или островков при условии, что средняя величина расстояний между центрами этих полостей в сетке или островков остается много меньше длины волны излучения. Форма неоднородностей также может быть другой, например просветы в сетке могут быть круглыми, а островки - быть дисками. Фокальное пятно излучения показано заштрихованными кружками.

Допускается, что сетчатая и островковая структуры располагаются не непосредственно на поверхности подложки, а отделены от поверхности слоем скрепляющего или теплоизолирующего материала.

Проведем сравнение с прототипом по порогу срабатывания ограничителя, то есть, по величине энергии импульса ограничиваемого излучения, при которой ограничитель переходит в нелинейный режим и начинает ограничивать проходящее излучение.

В прототипе нагреванию до температуры фазового перехода диэлектрик-металл и до возникновения зеркального отражения необходимо довести массу материала в объеме сплошной пленки на всей поверхности подложки ограничителя;

в предложенном решении необходимо нагревать только массу перемишек сетчатой структуры, объем которой много меньше объема сплошной пленки, так как в структуре имеются просветы (или она состоит из островков с зазорами между островками). Таким образом, порог срабатывания ограничителя по изобретению может быть существенно меньше, чем у прототипа.

На фиг.3 показано устройство, в котором на подложке нанесены сетчатые структуры на обеих ее сторонах. Сетчатая структура каждой стороны является ограничителем излучения, в результате общее пропускание устройства равно произведению коэффициентов пропускания структур на двух сторонах. Для обеспечения одинакового теплового действия лазерного излучения на сетчатые структуры на сторонах подложки необходимо, чтобы стороны находились в пределах глубины резкости изображения, создаваемого объективом. Глубина резкости характеризует некоторый выбранный допустимый уровень размытия изображения; качество изображения ухудшается постепенно по мере увеличения величины расфокусировки. Допуск глубины резкости, соответствующий, например, четвертьволновому критерию Релея, определяется уравнением

$$\delta S = \pm \lambda / 2n \sin^2 U_m, \quad (5)$$

где U_m - угол наклона бокового луча на изображении (фокальном пятне), λ - длина волны света, n - показатель преломления среды.

Величина глубины резкости может быть также задана в единицах диаметра фокального пятна как 2-3 диаметра фокального пятна, что требует, чтобы подложка имела оптическую толщину не более 2-х диаметров фокального пятна (диаметров перетяжки лазерного пучка).

В качестве примеров конструкций ограничителей рассмотрим основанные на использовании пленки из окислов металлов (диоксида ванадия, двуокиси титана) и на основе использования пленки аморфного или поликристаллического кремния.

В первом случае в качестве подложки используются полированные пластины из прозрачного в ИК-диапазоне материала типа фторида кальция, фторида магния, германия. На одну или обе стороны подложки напыляют слой диоксида ванадия или двуокиси титана толщиной порядка 0,1-0,25 мкм и методом фотолитографии создают в напыленных слоях требующиеся структуры. При создании ограничителя на диапазон длин волн 5-10 мкм требуемый параметр периодичности структуры не более 1-2 мкм ($a'=2$ мкм, $d=0,5$ мкм, $\lambda=10$ мкм). При использовании TiO_2 [Физико-химические свойства окислов. Справочник. Под ред. Г.В. Самсонова. М.: Металлургия. - 1969. - 456 с.] расчет дает результаты:

$$573 \text{ К: } \sigma=10 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}=9 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}, G^2=530 \rightarrow R=0;$$

$$1273 \text{ К: } \sigma=10^5 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}=9 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}, G^2=0,053 \rightarrow R=1.$$

Из расчета следует, что при лазерном нагревании сеточной структуры до 1273 К зеркало становится полностью отражающим и ограничивает проходящее излучение.

Во втором случае подложкой является плоская полированная с двух сторон пластина из монокристаллического кремния; на одной или обеих поверхностях размещены решетка или мозаика пятен из аморфного кремния толщиной 0,1-0,2 мкм; размер элементов структуры и промежутков между ними порядка $\lambda/5$. При воздействии лазерного излучения островки аморфного кремния нагреваются до более высокой температуры, чем поверхность подложки между ними, вследствие существенно меньшей теплопроводности, чем у монокристаллического кремния. Этому способствует вариант исполнения устройства, когда аморфный материал наносится поверх слоя окисла кремния на поверхности монокристаллического кремния, так как двуокись кремния обладает малой теплопроводностью и малой температуропроводностью.

В варианте конструкции с двухсторонним нанесением сетчатой структуры толщина подложки может быть в пределах $h=10-60$ мкм в ограничителе для среднего ИК-диапазона.

В качестве материалов сетчатой структуры кроме кремния могут быть применены другие полупроводники, в том числе, в поликристаллическом или аморфном виде, в том числе германий, двойные и тройные полупроводниковые соединения, так как все полупроводники обладают отрицательным температурным коэффициентом сопротивления. В качестве материалов сетчатой структуры могут быть также применены полупроводниковые окислы металлов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, в том числе окислы ванадия, титана, никеля, кобальта, железа, гафния, алюминия, или смесей окислов.

Таким образом, показано, что отличительные особенности изобретения позволяют

решить поставленные задачи.

Оптический пассивный ограничитель может найти применение в оптоэлектронике в качестве оптического предохранителя, предохраняющего от возможных лучевых повреждений фотоприемные устройства.

- 5 Технический результат изобретения состоит в создании оптического ограничителя излучений ИК-диапазона с повышенным быстродействием, имеющего пониженный порог срабатывания.

Формула изобретения

- 10 1. Оптический пассивный ограничитель проходящего излучения, содержащий прозрачную изолирующую подложку с полупроводниковой пленкой на поверхности, увеличивающей электрическую проводимость при нагревании проходящим излучением и размещаемой в фокальной плоскости объектива, отличающийся тем, что пленка структурирована в виде сетки или мозаики пятен со средней периодичностью структуры,

15 меньшей длины волны излучения.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что указанная структурированная пленка теплоизолирована от подложки промежуточным прозрачным слоем диэлектрика.

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что указанная структурированная пленка размещена на обеих поверхностях подложки, причем толщина подложки не превышает

20 глубину резкости объектива.

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что структурированная сетка изготовлена из элементарных полупроводников или полупроводниковых окислов металлов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, в том числе окислов ванадия, титана, никеля, кобальта, железа, гафния, алюминия, или смесей окислов.

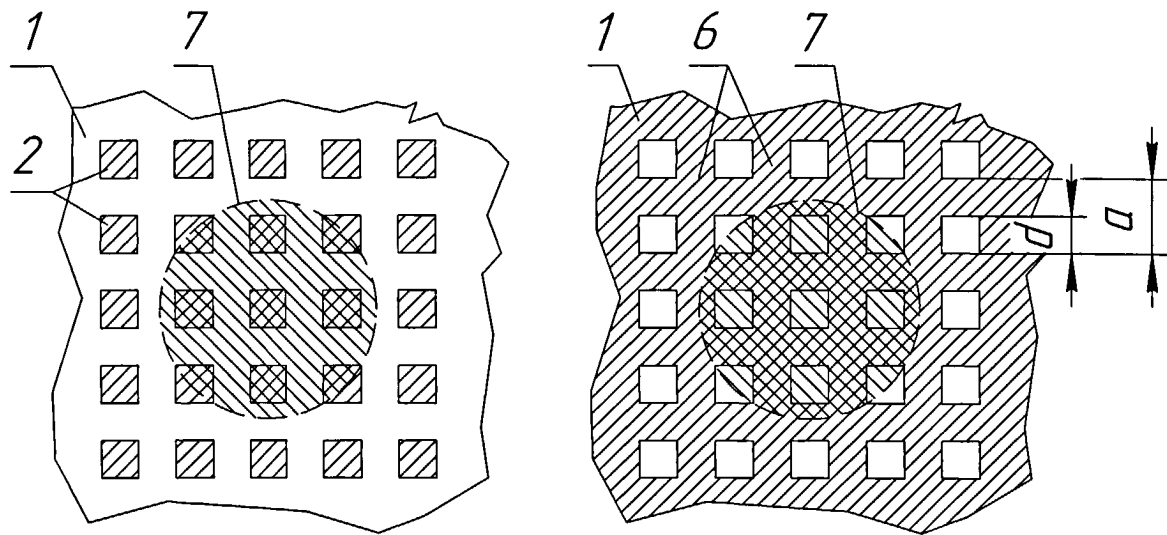
25

30

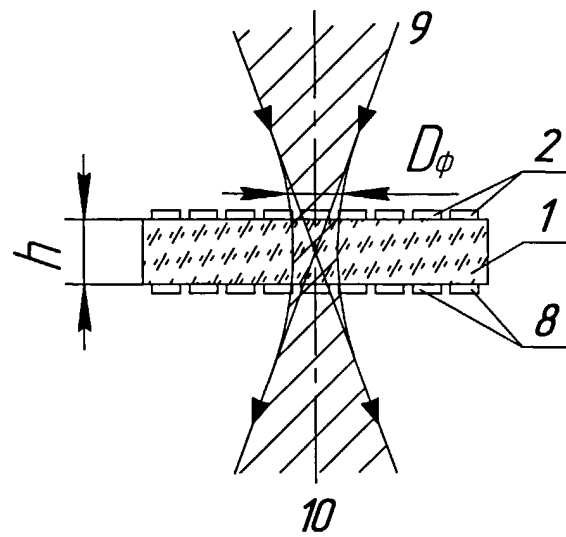
35

40

45



Фиг. 2



Фиг. 3