



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015107155/28, 03.03.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
03.03.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.03.2015

(45) Опубликовано: 20.05.2016 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 7116863 B2, 03.10.2006. WO  
2007129964 A1, 15.11.2007. US 3483482 A1,  
09.12.1969. RU 2304332 C2, 10.08.2007..

Адрес для переписки:

117342, Москва, ул. Введенского, 3, корп. 1, ОАО  
"Научно-исследовательский институт "Полус"  
им. М.Ф. Стельмаха", НТЦ "Система", для В.Г.  
Вильнера

(72) Автор(ы):

Вильнер Валерий Григорьевич (RU),  
Волобуев Владимир Георгиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество "Научно-  
исследовательский институт "Полус" им.  
М.Ф. Стельмаха" (RU)

## (54) ЛАЗЕР С ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ

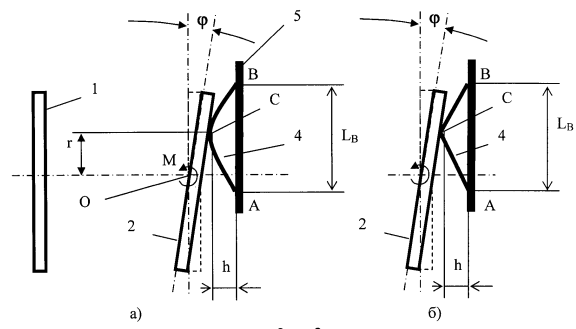
(57) Реферат:

Изобретение относится к лазерной технике. Лазер с оптико-механической модуляцией добротности включает корпус, активный элемент и резонатор, состоящий из двух зеркал, одно из которых закреплено неподвижно относительно корпуса, а второе имеет возможность вращения. В лазере имеется толкатель, основанием закрепленный на корпусе, а вершиной связанный со вторым зеркалом, эксцентрично к его оси вращения. Толкатель выполнен в виде арки из токопроводящей нити. К концам токопроводящей нити подключены ключ и источник электропитания. Второе зеркало установлено в исходном положении под углом  $\varphi$  к рабочему

положению, в котором зеркала параллельны, а угол  $\varphi \geq \arctg \frac{W_0^2 J}{2M}$ , где  $W_0$  - заданная угловая скорость второго зеркала в его рабочем положении,  $J$  - момент инерции вращения второго зеркала,  $M$  - вращающий момент, создаваемый на оси вращения второго зеркала толкателем при температурном расширении токопроводящей нити под действием тока, протекающего от источника электропитания. Технический результат заключается в повышении надежности и быстродействия, а также снижении электрических и магнитных помех и наводок при минимальных габаритах лазера. 2 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2 584 271 C1

RU 2 584 271 C1



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015107155/28, 03.03.2015

(24) Effective date for property rights:  
03.03.2015

Priority:

(22) Date of filing: 03.03.2015

(45) Date of publication: 20.05.2016 Bull. № 14

Mail address:

117342, Moskva, ul. Vvedenskogo, 3, korp. 1, OAO  
"Nauchno-issledovatel'skij institut "Poljus" im. M.F.  
Stelmakha", NTTS "Sistema", dlja V.G. Vilnera

(72) Inventor(s):

Vilner Valerij Grigorevich (RU),  
Volobuev Vladimir Georgievich (RU)

(73) Proprietor(s):

Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Nauchno-  
issledovatel'skij institut "Poljus" im. M.F.  
Stelmakha" (RU)

(54) **LASER WITH OPTICAL-MECHANICAL Q-FACTOR MODULATION**

(57) Abstract:

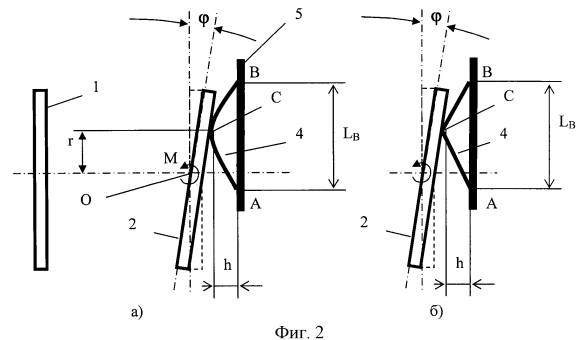
FIELD: optics.

SUBSTANCE: laser with optical-mechanical q-factor modulation comprises housing, active element and resonator consisting of two mirrors, one of which is rigidly fixed relative to housing, and second one has possibility of rotation. In laser there is pusher, base mounted on housing, and by top connected to second mirror, eccentrically to its rotational axis. Pusher is made in form of arch from current-conducting threads. Switch and power supply are connected to ends of current-conducting threads. Second mirror is placed in initial position at angle of  $\varphi$  to working position, in which mirrors are parallel, and angle of  $\varphi \geq \arctg \frac{W_0^2 J}{2M}$ , where  $W_0$  is given angular velocity of second mirror in its working position,  $J$  is inertia moment of second mirror rotation,  $M$  is torque, created on second mirror

axis of rotation by pusher with thermal expansion of current-conducting threads under influence of current flowing from electric power source.

EFFECT: higher reliability and efficiency, as well as reduction of electric and magnetic interferences and noise at minimum laser dimensions.

3 cl, 2 dwg



Фиг. 2

RU 2 584 271 C1

RU 2 584 271 C1

Изобретение относится к технике лазеров, а именно к лазерам с модуляцией добротности лазерного резонатора изменением положения одного из его зеркал.

Известны лазеры для формирования гигантских лазерных импульсов [1] путем включения добротности лазерного резонатора с помощью модуляторов добротности (затворов). Все они имеют те или иные недостатки - большую себестоимость, высокие управляющие напряжения, недостаточную надежность и эксплуатационную стойкость.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является лазер с резонатором, состоящим из двух зеркал, одно из которых закреплено неподвижно, а второе снабжено приводом и имеет возможность вращения таким образом, чтобы в одном из положений вращающееся и неподвижное зеркала резонатора становились параллельными [2]. В этом положении зеркал обеспечивается высокая добротность резонатора, достаточная для развития лазерной генерации. Скорость вращения зеркала в момент высокой добротности резонатора должна быть достаточной для возникновения лавинообразной генерации гигантского импульса. Оптимальная скорость вращения зеркала для разных типов лазеров составляет 10-20 тыс. об/мин. В качестве вращающегося зеркала обычно используют призму полного внутреннего отражения, обладающую высокими отражательными характеристиками и некритичную к наклонам оси вращения. В известном устройстве [2] приводом призмы является высокооборотный электродвигатель. Недостатки этого решения - относительно высокие габариты и недостаточная надежность существующих двигателей, а также создаваемые ими электрические и магнитные помехи. Последнее особенно недопустимо при наличии в составе системы, включающей лазер, чувствительных к таким помехам устройств, например электронного компаса. Кроме того, известный лазер с модулированной добротностью не обеспечивает точной временной привязки лазерного импульса вследствие того, что разгон двигателя занимает значительное время, и момент максимальной добротности резонатора имеет произвольное временное положение.

Задачей изобретения является повышение надежности и быстродействия и снижение электрических и магнитных помех и наводок при минимальных габаритах и минимальной себестоимости лазера.

Эта задача решается за счет того, что в известном лазере с оптико-механической модуляцией добротности, включающем корпус, активный элемент и резонатор, состоящий из двух зеркал, одно из которых закреплено неподвижно относительно корпуса, а второе имеет возможность вращения, введен по крайней мере один толкатель, основанием закрепленный на корпусе, а вершиной связанный со вторым зеркалом, эксцентрично к его оси вращения, причем толкатель выполнен в виде арки из токопроводящей нити, а также введены последовательно соединенные ключ и источник электропитания, подключенные к концам токопроводящей нити, второе зеркало установлено в исходном положении под углом  $\varphi$  к рабочему положению, в котором зеркала параллельны, а угол

$$\varphi \geq \arctg \frac{W_0^2 J}{2M},$$

где

$W_0$  - заданная угловая скорость второго зеркала в его рабочем положении,

$J$  - момент инерции вращения второго зеркала,

$M$  - вращающий момент, создаваемый на оси вращения второго зеркала толкателем при температурном расширении токопроводящей нити под действием тока, протекающего от источника электропитания.

Толкатель может быть выполнен в виде арки, имеющей форму равнобедренного треугольника, боковые стороны которого образованы токопроводящей нитью, а основанием является корпус.

Толкатель может быть выполнен в виде арки, имеющей форму дуги.

5 На фиг. 1 представлена схема лазера. Фиг. 2 иллюстрирует принцип его работы. На фиг. 2а) и 2б) показаны варианты формы толкателя.

Устройство (фиг. 1) состоит из резонатора, образованного неподвижным 1 и вращающимся 2 зеркалами, между которыми размещен активный элемент лазера 3. Вращающееся зеркало связано с толкателем 4, закрепленным на корпусе 5 и  
10 подключенным своими концами к источнику электропитания 6 через ключ 7.

Лазер работает следующим образом.

В исходном состоянии вращающееся зеркало 2 расположено под углом  $\varphi$  к неподвижному зеркалу 1 (фиг. 2). При подключении источника электропитания 6 к токопроводящей нити 4 последняя нагревается под действием проходящего через нее  
15 тока и расширяется, создавая давление на вращающееся зеркало 2 и, тем самым, создавая на оси зеркала 2 вращающий момент  $M$  в направлении к рабочему положению. При этом добротность резонатора, образуемого зеркалами 1 и 2, недостаточна для возникновения лазерной генерации. Вращающееся зеркало 2 под действием этого момента поворачивается, и когда оно становится параллельным неподвижному зеркалу  
20 1, добротность резонатора возрастает до уровня, достаточного для возникновения генерации гигантского лазерного импульса. Скорость возрастания добротности резонатора должна быть соизмерима со скоростью развития генерации, известной для каждого типа лазеров. Это налагает соответствующие требования к скорости  $W$  вращения зеркала 2, которая в положении высокой добротности должна быть порядка  
25 500-2000 рад/сек.

Объем токопроводящей нити должен быть минимальным для ее быстрого разогревания и снижения энергозатрат. С этой целью при заданной длине она должна иметь минимальное поперечное сечение, достаточное для обеспечения прочности устройства в процессе эксплуатации.

30 При размыкании ключа 7 ток прекращается, токопроводящая нить остывает и возвращается в исходное положение, увлекая за собой зеркало 2.

Если вращающееся зеркало выполнено в виде призмы полного внутреннего отражения с равными сторонами ее гипотенузной грани, то справедливы следующие расчетные соотношения [3]:

35 Момент инерции вращения призмы

$$J \sim ma^2/10,$$

где

а - сторона гипотенузной грани призмы;

40  $m = \rho \cdot a^3/4$  - масса призмы;

$\rho$  - плотность материала призмы.

Угловое ускорение  $E$  призмы под действием вращающего момента  $M$ :

$$E = M/J,$$

Угловая скорость призмы

45  $W = E\tau,$

где  $\tau$  - время после начала ее вращения.

Температурное приращение длины  $L$  токопроводящей нити

$$\Delta L = \alpha L \Delta T,$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения;

$L$  - длина нити;

$\Delta T$  - перепад температуры.

Энергия, необходимая для нагрева токопроводящей нити,

$$E_T = \beta m_T \Delta T,$$

5 где  $\beta$  - теплоемкость;

$m_T = \rho_T V_T$  - масса нити;

$\rho_T$  - плотность материала нити;

$V_T$  - объем нити.

10 Номинальное усилие, создаваемое толкателем при расширении токопроводящей нити

$$P_T = M/r,$$

где  $r$  - радиус крепления толкателя к зеркалу в точке С (фиг. 2).

15 Температурное удлинение  $\Delta h$  толкателя, необходимое для поворота вращающегося зеркала на угол  $\varphi$  в случае его треугольной формы (фиг. 2,б)

$$\Delta h = L \Delta L / 2 \sqrt{L^2 - L_B^2}, \quad (1)$$

где  $L$  - длина токопроводящей нити;

$\Delta L$  - температурное приращение длины токопроводящей нити;

20  $L_B$  - расстояние между точками А и В крепления нити к корпусу (фиг. 2,б).

Из (1) следует, что при малой величине  $L_B$  удлинение  $\Delta h \sim \Delta L/2$ , а при  $L \sim L_B$  удлинение

$\Delta h \sim L_B \Delta L / 2 \sqrt{2L_B \delta}$ , где  $\delta = L - L_B$ . При этом  $\Delta h > \Delta L$ , что позволяет обеспечить заданную

25 величину  $\Delta h$  при меньшем перепаде температуры или при меньшей длине токопроводящей нити. Однако при этом пропорционально возрастает продольное усилие на ветви СА и СВ нити при ее расширении.

30 При выполнении толкателя в форме дуги помимо его температурного расширения возможны поперечные упругие деформации токопроводящей нити, величина которых зависит от конфигурации арки и упругости нити. За счет таких деформаций смягчаются ускорения элементов конструкции, что снижает вероятность их выхода из строя.

Пример

$$\rho = 2550 \text{ кг/м}^3; a = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$m = \rho a^3 / 4 = 2550 \cdot 8 \cdot 10^{-9} / 4 \sim 5 \cdot 10^{-6} \text{ кг.}$$

$$35 J \sim m a^2 / 10 = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6} / 10 \sim 2 \cdot 10^{-12} \text{ кгм}^2.$$

$$\text{Пусть } M = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Нм,}$$

$$E = M/J = 4 \cdot 10^{-5} / 2 \cdot 10^{-12} = 2 \cdot 10^7 \text{ рад/с}^2.$$

$$\text{При } \tau = 10^{-4} \text{ с.}$$

$$40 W = E \tau = 2 \cdot 10^7 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^3 \text{ рад/с.}$$

Эквивалентная частота вращения в момент максимальной добротности резонатора  $w = W/2\pi \sim 320 \text{ об/с} \sim 20000 \text{ об/мин.}$

Линейное ускорение точки крепления толкателя при радиусе  $r = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

$$45 A = E r = 2 \cdot 10^7 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^4 \text{ м/с}^2.$$

Смещение точки С между исходным и рабочим положениями

$$\Delta h = A \tau^2 / 2 = 4 \cdot 10^4 \cdot 10^{-8} / 2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,2 \text{ мм.}$$

При  $r = 2 \text{ мм.}$

Номинальное усилие, создаваемое толкателем в точке:  $P_T = L_B/r = 4 \cdot 10^{-5}/0,002 = 2 \cdot 10^{-2}$

Н

$\varphi = \arctg(S/r) = \arctg(0,2/2) \sim 5,7^\circ$ .

5 При условии  $\Delta h = \Delta L$ , из (1) следует соотношение  $L_B = \sqrt{\frac{3}{4}} L$ ,

$\alpha = 18 \cdot 10^{-6}$  1/град (нить из нихрома);  $L = 20$  мм;  $\Delta L = 0,2$  мм.

$\Delta T = \Delta L/\alpha L = 0,2/(18 \cdot 10^{-6} \cdot 20) = 10000/18 \sim 555^\circ$ .

Габариты токопроводящей нити  $0,1 \times 0,1 \times 20$  мм. Объем  $V_T = 2 \cdot 10^{-1} \text{ мм}^3 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ дм}^3$ .

10 Масса нити из нихрома  $m_T = V_T \rho_T = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 7,94 \sim 16 \cdot 10^{-7}$  кг.

Теплоемкость нихрома  $\beta = 0,48$  Дж/кгК при  $25^\circ\text{C}$ ;  $0,76$  Дж/кгК при  $800^\circ\text{C}$ . В среднем для температуры  $25 + 250 = 275^\circ\text{C}$  теплоемкость  $\beta = 0,57$  Дж/кгК.

Энергия, необходимая для разогрева токопроводящей нити до заданной температуры

15  $E_T = \beta m_T \Delta T = 0,57 \cdot 16 \cdot 10^{-7} \cdot 555 = 0,5$  мДж.

Характеристики источника питания

Потребляемая токопроводящей нитью мощность

$P_T = E_T/\tau$ .

Для рассматриваемого примера

20  $P_T = E_T/\tau = 0,5 \text{ мДж}/0,1 \text{ мс} = 5 \text{ Вт}$ .

Мощность, выделяемая в проводнике сопротивлением  $R_T$

$P_T = I_T^2 \cdot R_T$

25 Сопротивление  $R_T = \rho_R L_T/S_T \sim 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-2}/(0,1 \cdot 0,1) \cdot 10^{-6} = 2$  Ом,

где  $\rho_R \sim 1$  мкОм·м - удельное сопротивление нихрома,  $L_T = 0,02$  м - длина токопроводящей нити;  $S_T$  - поперечное сечение нити.

Потребляемый ток

30  $I_T = (P_T/R_T)^{0,5} = (2,5/2)^{0,5} = 1,1$  А.

Напряжение источника

$U_T = P_T/I_T = 2,5/1,1 \sim 2,3$  В.

Средняя потребляемая мощность  $P_{cp} = E_T \cdot f_{изл}$ , где  $f_{изл}$  - частота излучений лазера.

35 При  $f_{изл} = 1 \text{ с}^{-1}$  средняя потребляемая мощность составляет 5 мВт.

Согласно приведенным результатам, предлагаемый лазер с модулированной добротностью обладает минимальными габаритами механических составных частей и минимальной потребляемой мощностью при максимальном быстродействии: время разгона вращающегося зеркала составляет 0,1 мс и менее, тогда как ближайший аналог [2] имеет время разгона не менее 30 мс. Простота и низкое энергопотребление устройства обеспечивают его высокую надежность. По этим параметрам предлагаемый лазер превосходит ближайший и другие известные аналоги. Низкое напряжение питания и отсутствие трущихся контактов и магнитных элементов обеспечивают минимальный уровень паразитных электрических воздействий на другие элементы лазера и комплексной системы с ним. Арочная форма нити позволяет обеспечить достаточную жесткость конструкции при малых габаритах устройства.

45 Таким образом, предлагаемое устройство обеспечивает решение поставленной задачи, а именно повышение надежности и быстродействия и снижение электрических

и магнитных помех и наводок при минимальных габаритах и минимальной себестоимости лазера.

#### Источники информации

1. В.А. Волохатюк и др. Вопросы оптической локации. Под ред. Р.Р. Красовского. М.: изд. «Советское радио», 1971 г., стр. 196.
2. «Справочник по лазерной технике». Под ред. Ю.В. Байбородина, Л.З. Криксунова, О.Н. Литвиненко. Киев, изд. «Техника», 1978 г., стр. 152-154 - прототип.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1. Механика. 3-е изд. М.: Наука, 1989, § 53 (<http://genphys.phys.msu.ru/rus/lab/mech/opis7/i2.htm>).

10

#### Формула изобретения

1. Лазер с оптико-механической модуляцией добротности, включающий корпус, активный элемент и резонатор, состоящий из двух зеркал, одно из которых закреплено неподвижно относительно корпуса, а второе имеет возможность вращения, отличающийся тем, что введен по крайней мере один толкатель, основанием закрепленный на корпусе, а вершиной связанный со вторым зеркалом, эксцентрично к его оси вращения, причем толкатель выполнен в виде арки из токопроводящей нити, а также введены последовательно соединенные ключ и источник электропитания, подключенные к концам токопроводящей нити, второе зеркало установлено в исходном положении под углом  $\varphi$  к рабочему положению, в котором зеркала параллельны, а угол

15

$$\varphi \geq \arctg \frac{W_0^2 J}{2M},$$

где

25

$W_0$  - заданная угловая скорость второго зеркала в его рабочем положении,

$J$  - момент инерции вращения второго зеркала,

$M$  - вращающий момент, создаваемый на оси вращения второго зеркала толкателем при температурном расширении токопроводящей нити под действием тока, протекающего от источника электропитания.

30

2. Лазер по п. 1, отличающийся тем, что толкатель выполнен в виде арки, имеющей форму равнобедренного треугольника, боковые стороны которого образованы токопроводящей нитью, а основанием является корпус.

3. Лазер по пп. 1 и 2, отличающийся тем, что толкатель выполнен в виде арки, имеющей форму дуги.

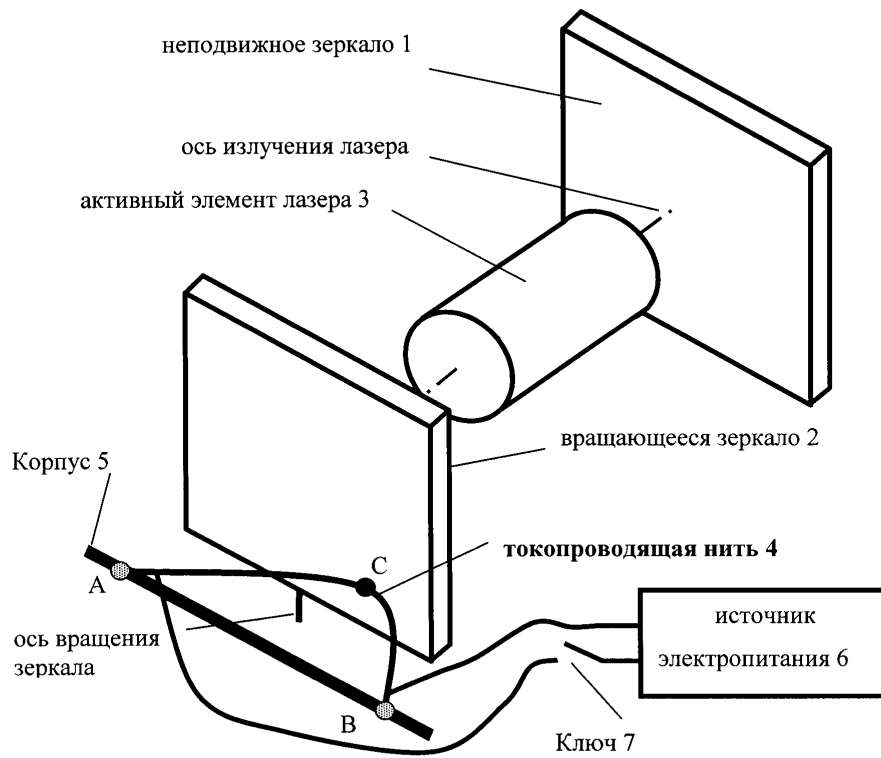
35

40

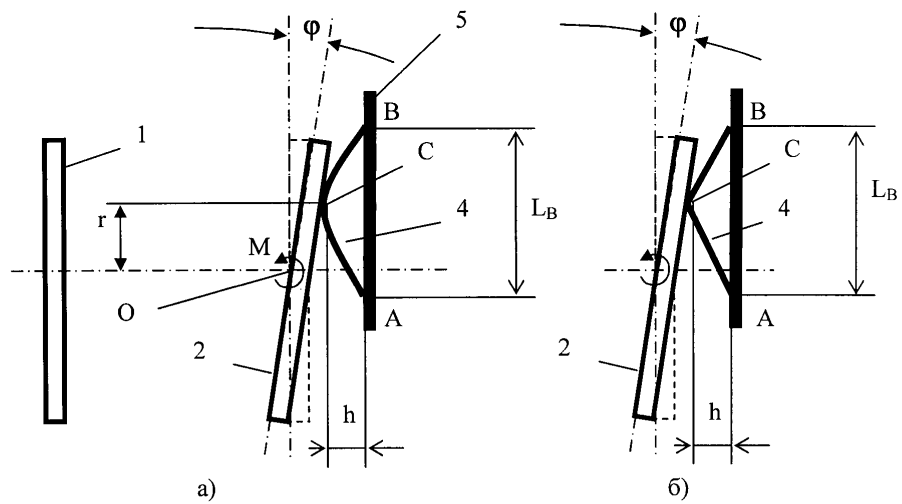
45



Лазер с оптико-механической модуляцией добротности



Фиг. 1



Фиг 2