

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01S 3/08

H01S 3/113



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03801692.3

[43] 公开日 2005 年 3 月 16 日

[11] 公开号 CN 1596490A

[22] 申请日 2003.9.25 [21] 申请号 03801692.3

[30] 优先权

[32] 2002.10.1 [33] JP [31] 288765/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2003/012233 2003.9.25

[87] 国际公布 WO2004/032293 日 2004.4.15

[85] 进入国家阶段日期 2004.6.1

[71] 申请人 索尼株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 增田久

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

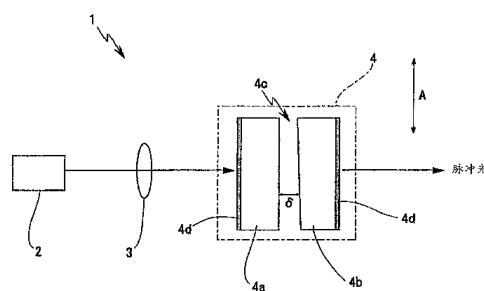
代理人 刘宗杰 叶恺东

权利要求书 4 页 说明书 16 页 附图 9 页

[54] 发明名称 激光发生装置及其制造方法

[57] 摘要

在激光发生装置中，提高了对振动和随时间变化的稳定性，降低了因温度变化引起的对谐振腔的影响。在配备了发生连续波的激励光的激励光源(2)和利用了激励位置的发热引起的热透镜效应的固体激光器谐振腔(4)的激光发生装置(1)中，固体激光器谐振腔配备：激光介质(4a)、可饱和吸收体(4b)、中间介质(4c)、反射部件(4d)作为结构要素。通过将激光介质(4a)的基板和可饱和吸收体(4b)的基板结合在一起使之一体化，降低振动的影响。而且，不需要利用了温度变化的工作点的选择方法，采用难以受热的影响的结构，同时，对于激励光学系统与谐振腔的位置关系，通过两者间的相对移动，调整谐振腔光路长度，选择稳定的工作点。



1. 一种激光发生装置，它是具有发生连续波的激励光的激励光源和利用了激光介质中的激励位置的热透镜效应的固体激光器谐振腔的激光发生装置，其特征在于：

5 设置了上述固体激光器谐振腔的各结构要素的基板彼此之间通过结合而一体化，该固体激光器谐振腔的反射部件或者可饱和吸收体和上述激光介质具有通过中间介质而相向的结构，同时

上述固体激光器谐振腔的结构要素具有对与上述激励光的光轴正交的平面倾斜的界面，在对上述激励光的光轴平行的方向中的上述固体激光器谐振腔的光路长度随上述激励位置的设定而不同。

2. 如权利要求1所述的激光发生装置，其特征在于：

上述固体激光器谐振腔配备：吸收上述激励光的激光介质；可饱和吸收体；设置在激光介质与可饱和吸收体之间的光路上的中间介质；以及形成谐振腔的反射部件作为结构要素，

15 设置了上述激光介质的基板和设置了上述可饱和吸收体的基板通过结合而一体化，上述激光介质和可饱和吸收体具有通过上述中间介质而相向的结构，

上述固体激光器谐振腔的结构要素中的一个或者多个要素具有对与上述激励光的光轴正交的平面倾斜的面，或者对上述激励光的光轴平行的方向中的上述激光介质或者可饱和吸收体或者中间介质的厚度

20 在该光轴正交的方向上不同，根据与上述激励光的光轴正交的方向中的上述激励位置，规定谐振腔的光路长度。

3. 如权利要求1所述的激光发生装置，其特征在于：

在上述激励光源与上述固体激光器谐振腔之间，配置大体等倍率或者缩小倍率的光学系统。

4. 如权利要求1所述的激光发生装置，其特征在于：
输出波长为700nm以上、1600nm以下。

5. 如权利要求1所述的激光发生装置，其特征在于：
上述固体激光器谐振腔的轨道光路长度为5mm以下。

30 6. 如权利要求2所述的激光发生装置，其特征在于：
使用了半导体可饱和吸收体。

7. 如权利要求1所述的激光发生装置，其特征在于：

使用掺杂了稀土类的固体激光介质。

8. 如权利要求7所述的激光发生装置, 其特征在于:
使用掺杂了Nd的YVO₄作为固体激光介质。

9. 如权利要求4所述的激光发生装置, 其特征在于:
5 在上述固体激光器谐振腔的结构要素之中, 配备了对与上述激励光的光轴的平面倾斜的界面的结构要素的对该平面的倾斜角是0.07毫弧度以上、2毫弧度以下。

10. 如权利要求1所述的激光发生装置, 其特征在于:
使用了折射率大体为1的气体层作为上述中间介质。

10 11. 如权利要求10所述的激光发生装置, 其特征在于:
使用了空气层作为上述中间介质。

12. 如权利要求4所述的激光发生装置, 其特征在于:
在对上述激励光的光轴平行的方向中的上述中间介质的厚度沿对该光轴正交的方向变化, 同时, 该中间介质与激光介质或者可饱和吸收体的界面对与上述激励光的光轴正交的平面所成的倾斜角是0.07
15 毫弧度以上、2毫弧度以下。

13. 如权利要求1所述的激光发生装置, 其特征在于:

关于上述固体激光器谐振腔的谐振腔光路长度, 在根据上述激励位置而规定的情况下的该光路长度变化是激光振荡波长的1/2以上。

20 14. 如权利要求2所述的激光发生装置, 其特征在于:

设置了上述激光介质的基板及设置了上述可饱和吸收体的基板被配置在光学系统的基座上, 同时,

配备使该激光介质及可饱和吸收体可能在光学系统的基座面上移动的结构, 以使包括上述激光介质与上述中间介质的界面的法线及上述可饱和吸收体与上述中间介质的界面的法线的平面对上述光学系统的基座面大体平行。
25

15. 如权利要求1所述的激光发生装置, 其特征在于:

上述激光介质与其基板之间的热膨胀系数之差, 或者上述可饱和吸收体与其基板之间的热膨胀系数之差落在 $\pm 5 \times 10^{-6}$ [1/K]以内的范围
30 内。

16. 如权利要求1所述的激光发生装置, 其特征在于:

上述激光介质的基板或者上述可饱和吸收体的基板的导热系数的

值为 $150[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ 以上。

17. 如权利要求 2 所述的激光发生装置, 其特征在于:

5 用于固定上述激光介质和上述可饱和吸收体的基板的粘结剂的热膨胀方向与用于将上述可饱和吸收体固定在其基板上的粘结剂的热膨胀方向是同一方向。

18. 一种激光发生装置的制造方法, 这是具有发生连续波的激励光的激励光源和利用了激光介质中的激励位置的发热引起的热透镜效应的固体激光器谐振腔的激光发生装置的制作方法, 其特征在于:

10 使设置了上述固体激光器谐振腔的各结构要素的基板彼此之间结合在一起, 同时, 形成使中间介质插入在激光介质与谐振腔的反射部件或者可饱和吸收体之间的配置,

上述固体激光器谐振腔的结构要素中的某一个形成为具有对与上述激励光的光轴正交的平面倾斜的界面, 使与上述激励光的光轴正交的方向上的上述激励位置变化, 根据该变化, 以激光器振荡波长以下的精度调整谐振腔的光路长度。

19. 如权利要求 18 所述的激光发生装置的制作方法, 其特征在于:

20 使分别设置了构成上述固体激光器谐振腔的激光介质、可饱和吸收体的基板彼此之间结合在一起, 同时, 形成使中间介质插入在激光介质与可饱和吸收体之间的配置,

在上述激光介质或者其基板、或者可饱和吸收体或者其基板、或者构成上述固体激光器谐振腔的反射部件上, 形成对与上述激励光的光轴正交的平面倾斜的面, 或是通过使对上述激励光的光轴平行的方向上的上述激光介质或者可饱和吸收体或者中间介质的厚度沿对该光轴正交的方向变化, 使与上述激励光的光轴正交的方向上的上述激励位置变化, 根据该变化, 以激光器振荡波长以下的精度调整谐振腔的光路长度。

20. 如权利要求 18 所述的激光发生装置的制作方法, 其特征在于:

30 一边监视激光发生装置的输出功率或者脉冲重复频率的变化, 一边使上述激励位置沿与激励光轴正交的方向变化, 当该功率或者脉冲重复频率达到其目标值或者极大值时, 或者进入包括目标值或者极大

值的容许范围时，结束谐振腔的光路长度的调整。

21. 如权利要求 18 所述的激光发生装置的制作方法，其特征在于：

5 通过使配置在上述激励光源与上述激光器谐振腔之间的光学系统与上述固体激光器谐振腔之间的相对的位置关系发生变化，使上述激励位置发生变化，调整谐振腔的光路长度。

22. 如权利要求 18 所述的激光发生装置的制作方法，其特征在于：

10 通过使上述激励位置发生变化，使上述固体激光器谐振腔的谐振腔光路长度改变激光振荡波长的 $1/2$ 以上。

23. 如权利要求 22 所述的激光发生装置的制作方法，其特征在于：

15 通过使对上述激励光的光轴平行的方向上的上述中间介质的厚度沿对该光轴正交的方向上发生变化，使该中间介质与上述激光介质或者可饱和吸收体的界面对与上述激励光的光轴正交的平面倾斜，同时，规定其倾斜角为 0.07 毫弧度以上、 2 毫弧度以下。

24. 如权利要求 19 所述的激光发生装置的制作方法，其特征在于：

20 将设置了上述激光介质的基板及设置了上述可饱和吸收体的基板配置在光学系统的基座上，同时，

当调整谐振腔的光路长度时，在上述激光介质或者可饱和吸收体之中，包括对与上述激励光的光轴正交的平面倾斜的面的法线的平面在对光学系统的基座面大体平行的状态下，使包括上述两基板的固体激光器谐振腔移动。

25 25. 如权利要求 19 所述的激光发生装置的制作方法，其特征在于：

30 通过粘结将上述可饱和吸收体固定在其基板上，同时，当通过粘结将上述激光介质固定在上述可饱和吸收体的基板上时，使得用于将上述激光介质固定在上述可饱和吸收体的基板上的粘结剂的热膨胀方向与用于将上述可饱和吸收体固定在其基板上的粘结剂的热膨胀方向为同一方向。

激光发生装置及其制造方法

技术领域

5 本发明涉及在配备了包括激光介质的固体激光器谐振腔的激光发生装置中，用于使器件在装配时容易进行微调整，谋求提高特性稳定性及抗振动性能，难于受环境变化和随时间变化影响的技术。

背景技术

对连续波激励的无源 Q 开关或锁模脉冲光源，配备包括激光介质
10 (Nd: YVO4 等) 和可饱和吸收体 (Saturable absorber) 的结构。特别是在需要短脉冲的情况下或为了提高重复频率的情况下，为了缩短谐振腔长度，往往使二者相互密切接触使用。(例如，参照专利文献 1)

以由激光介质和可饱和吸收体构成的小型脉冲激光器为例，为了缩短谐振腔长度使器件稳定，由于能够使用半导体的可饱和吸收体，
15 例如 SESAM (Semiconductor Saturable Absorber Mirror: 半导体可饱和吸收体反射镜) 或 SBR (Saturable Bragg Reflector: 可饱和布喇格反射器) 等，使元件的厚度减薄，对欲得到高重复频率时和短脉冲化是适当的。这种激光器的谐振腔经常用一对曲率为零的平面反射镜构成，利用激光介质内的热透镜效应，形成稳定谐振腔。

20 图 8 是例示了因热透镜效应而引起的透镜焦距对激励光功率的依赖关系的曲线图，横轴取输入功率「Pin」(单位: W)，纵轴取焦距「f」(单位 mm)，以此表示两者的关系。

如图所示，可以发现随着 Pin 的增加 f 有减小的趋势。

在激光介质中，作为在激励光照射区的激励光吸收的副产品，由
25 于非振荡能量转换为声子或光的再吸收，利用在激励中心附近引起温度上升的现象，应用因折射率的温度依赖关系引起的热透镜效应，能够形成谐振腔。

图 9 是例示了因激励光引起的激光介质 (Nd: YVO4) 的半径方向中的升温的情况的曲线图，横轴取激励中心位置作为基准的半径「r」
30 (单位: mm)，纵轴取 r=0 的温度作为基准的相对的温度变化「ΔT」(单位: K)，以此表示两者的关系 (随着从激励中心部向周边部行进而温度降低)。

通过聚焦在激光介质上的约 1W 的激励光，发现在激励中心部（ $r=0$ ）有 200K 左右的温度上升。

通过这样的温度上升，对激光介质密切接触的可饱和吸收体的温度上升，其性能有可能发生变化，其结果是难于增大输出。换句话说，
5 在激光介质中发生的热或高温部对可饱和吸收体的影响成为问题。

为了避免这种问题，熟知的是在激光介质与可饱和吸收体之间插入空气层或中间膜的形态（例如，参照专利文献 2、专利文献 3、专利文献 4），能够降低激光介质的温度上升对可饱和吸收体的热的影响（热传导的程度）。

10 图 10 是概略地表示这样的结构例 a 的图，形成激光介质与可饱和吸收体分离的结构。

从激励光源 b 发射的激励光，通过光学系统 c 入射到基板 d 上，照射在激光介质 e 上。

与激光介质 e 相向的可饱和吸收体 f 在基板 g 上形成，在激光介质 e 与可饱和吸收体 f 之间形成空隙 h，存在空气层。而且，激光介质 e 与可饱和吸收体 f 的相向面彼此之间成为平行的状态，通过调整空隙 h 的长度能够改变谐振腔长度（光路长度）。

专利文献 1：特开 2001-185794 号公报（第 4-7 页，图 1、图 7）

专利文献 2：特开 2000-101175 号公报（第 7-8 页，图 4）

20 专利文献 3：特开 2001-358394 号公报（第 3-5 页，图 1、图 3-图 5）

专利文献 4：特开平 11-261136 号公报（第 6-8 页，图 1、图 2）

但是，在上述结构中，这是由于振动和随时间变化而妨碍其稳定性的问题。

25 在将激光介质和可饱和吸收体分别独立地固定在基板上的结构中，例如，由于振动或伴随温度变化引起的粘结剂的膨胀等原因，当谐振腔长度发生振荡波长的 4 分之一左右的变化时，有效增益随振荡波长与增益谱的相对位置的变化而变化，因而输出和脉冲重复频率等特性发生很大的变化。另外，变得容易受机械振动的影响，
30 不稳定性增加，还伴随着因随时间变化而谐振腔长度发生稍许变化，致使输出和脉冲重复频率等的工作点发生很大变化的不良情况（稳定性下降）。

另外，在激光介质与可饱和吸收体之间插入垫片或隔片等中间物的结构形态中，虽然没有从激光介质向可饱和吸收体的直接的热传导，但由于通过中间物，热被传递给可饱和吸收体，一般说还留下热导率低的激光介质或可饱和吸收体的温度上升的问题。另外，由于必须使用薄的垫片，在粘结时，产生因粘结剂的表面张力而引起的问题（渗入等），伴随产生制造上的困难性。

本发明的课题是：在激光发生装置中，提高对振动和随时间变化的稳定性，降低因温度变化对谐振腔的影响。

发明内容

为解决上述课题，在具有连续波的激励光源和利用了激光介质中的激励位置的发热引起的热透镜效应的固体激光器谐振腔的激光发生装置中，本发明包括下述各事项。

· 设置了固体激光器谐振腔的各结构要素的基板彼此之间被结合而一体化，谐振腔的反射部件或者可饱和吸收体和激光介质具有通过中间介质而相向的结构。

· 固体激光器谐振腔的结构要素具有对与激励光的光轴正交的平面倾斜的界面，对激励光的光轴平行的方向中的固体激光器谐振腔的光路长度随激励位置而不同，即能够按照与激励光的光轴正交的方向中的激励位置的设定，规定或者调整谐振腔的光路长度。

因此，按照本发明，与分别设置了固体激光器谐振腔的各结构要素的基板在分离的状态下被独立地保持的结构相比，难以感受因振动等的影响而造成的谐振腔光路长度的变化。而且，通过改变激光介质中的激励位置，调整谐振腔光路长度，能够选择特性上的稳定的工作点。

附图说明

图 1 是表示本发明的激光发生装置的基本结构例的概略图。

图 2 与图 3 一起是表示激光发生装置的结构例的图，本图是表示激励光学系统及固体激光器谐振腔的图。

图 3 是概略地表示固体激光器谐振腔的结构例的图。

图 4 是用于说明谐振腔的光路长度的图。

图 5 是表示通过使谐振腔在光学基座上移动而选择工作点的说明图。

图 6 是表示固体激光器谐振腔的另一结构例的图。

图 7 是表示固体激光器谐振腔的又一结构例的图。

图 8 是例示因热透镜效应引起的透镜焦距对激励光功率的依赖关系的曲线图。

5 图 9 是表示以激励中心位置作为基准的相对的温度分布的一例的曲线图。

图 10 是表示现有的激光发生装置的结构例的图。

具体实施方式

本发明涉及利用了因连续波的激励光照射而引起的热透镜效应的
10 固体激光器谐振腔及配备了该谐振腔的激光发生装置，能够应用于各种光源，例如应用于将 GLV (Grating Light Valve: 光栅光阀) 等作为线性光学调制元件使用的显示装置 (二维图像显示装置) 的光源。

图 1 是用于说明本发明的激光发生装置的基本结构例的概略图，
15 假定它被应用于无源 Q 开关激光器。

激光发生装置 1 配备发生连续波的激励光的激励光源 2，由该激励光源 2 引起的激励光，通过光学系统 3 (在图中用单个透镜简化表示) 照射到固体激光器谐振腔 4 上。此外，例如能够使用适合于装置小型化的半导体激光器 (激光二极管) 作为激励光源 2。另外，配置
20 在激励光源 2 与固体激光器谐振腔 4 之间的光学系统 (聚光光学系统) 3，采用大体等倍率的光学系统，或者为了会聚来自激励光源 2 的光而采用缩小倍率的光学系统。

固体激光器谐振腔 4 配备吸收来自激励光源 2 的光的激光介质 4a 和可饱和吸收体 4b，利用在激光介质 4a 中的激励位置的发热所引起的
25 的热透镜效应，形成谐振腔。

此外，在激光介质 4a 与可饱和吸收体 4b 之间的光路上，设置中间介质 4c，这是折射率大体为 1 的气体层 (空气层等)。在中间介质 4c 为固体的情况下，伴随着与在激光介质 4a 与可饱和吸收体 4b 之间插入垫片的形态同样的问题 (热传输的影响)，另外，由于在液体中
30 处理不易，最好用气体作为中间介质 4c，另外，从折射的影响和结构的简化考虑也希望用空气。

作为用于形成谐振腔 (光谐振腔) 的反射部件 4d，使用在激光介

质 4a 和可饱和吸收体 4b 上形成的反射面或者涂敷膜等。

对于从谐振腔输出的脉冲光，例如考虑固体激光器的典型的振荡波长范围，其波长「 λ 」的范围是「 $700 \leq \lambda \leq 1600$ 」(单位 nm: 纳米)。但是，本发明的应用范围不是仅限于该波长范围。

5 此外，作为对激励光源和谐振腔的温度调整部件，可以举出设置使用了帕耳帖元件等温度控制用元件的电子温度调节器的结构形态和不使用这种方法而谋求降低成本的结构形态。

除此之外，为了得到连续波的激光输出，在图 1 中不设置可饱和吸收体 4b，也可以使用将中间介质 4c 插入激光介质 4a 和与激光介质
10 相向的反射部件 4d 之间的结构。另外，通过将图 1 的可饱和吸收体 4b 置换成非线性光学晶体，能够发生谐波。

如后面将叙述的那样，在本发明中，与激励光轴平行的方向中的谐振腔的光路长度不是恒定的，由于沿与激励光轴正交的方向谐振腔光路长度发生变化，能够通过该光路长度的调整选择及设定稳定的工
15 作点。

将激光介质 4a 和可饱和吸收体 4b 分别设置在独立的基板上，在各自保持各基板的形态下，由于容易感受振动等的影响，在本发明中，使设置了激光介质 4a 的基板和设置了上述可饱和吸收体 4b (或者反
20 射部件 4d) 的基板结合，使两者一体化，具有通过中间介质使激光介质与可饱和吸收体相向的结构。例如可举出以下所示的形态。

(I) 通过粘结使可饱和吸收体的基板对激光介质的基板在该激光介质的一部分中结合的形态。

(II) 通过粘结使可饱和吸收体的基板对激光介质的基板在没有形成该激光介质的部分中结合的形态。

25 图 2 及图 3 是表示形态 (I) 的固体激光器谐振腔 4 的结构例。

在图 2 中，在中央表示谐振腔的剖面结构。在右侧表示从光轴方向观察到的图 (从可饱和吸收体侧观察到的图)。

基板 5 是成为平板状的激光介质 4a 的支撑基板，在它的的一个面 (与激励光的入射面相反一侧的面) 上设置激光介质 4a。

30 另外，基板 6 是可饱和吸收体 4b 的支撑基板，被形成为具有凹部 6a 的矩形板状。而且，在可饱和吸收体 4b 被放入凹部 6a 内的状态下，通过粘结被固定。另外，在基板 6 的中央部上，形成与凹部 6a

连通的孔（在本例中是圆孔）6b，但也能够形成未设置这样的孔的结构。

在基板 5、6 上使用透明基材（石英和蓝宝石等），最好是与激光介质和可饱和吸收体相比导热性良好的材料。由于基板 5、6 被固定
5 在未图示的支撑构件上使用，向该构件的安装面（或者固定面）作为导热面，对激光介质和可饱和吸收体的散热是有效的（由于能够容易地进行排热）。

图 3 概略地表示谐振腔的剖面结构的重要部位（夸张地表示层厚等）。

10 在基板 5 上设置的激光介质 4a 上，例如，使用掺杂（注入）了稀土类的固体激光介质（掺杂了钕 Nd^{3+} 的 Nd: YVO_4 和 $\text{Nd: YAG}(\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12})$ 等），在其入射面侧用电介质多层膜形成反射镜 7，同时在与该反射镜 7 的相反一侧（可饱和吸收体一侧）的面上实施全反射（AR）涂敷。

15 关于可饱和吸收体 4b，通过将靠近其周边的部分粘结在凹部 6a 的底面（参照图的 α 部）上，从而安装在基板 6 上。

包括激光介质 4a 的基板 5 向基板 6 的安装通过粘结进行，激光介质 4a 的接近周边的部分和凹部 6a 的开口边缘的周边部分粘结（参照图的 β 部）。

20 在这样一体化了的固体激光器谐振腔（或者谐振腔组件）4 中，在激光介质 4a 与可饱和吸收体 4b 之间，插入折射率大体为 1 的气体层，最好是空气层。

从小型化等的观点看，作为可饱和吸收体 4b 最好用半导体可饱和吸收体（SESAM、SBR 等）。另外，可饱和吸收体 4b 中的反射面，例如，在布喇格反射器（Bragg Reflector）上形成了量子阱结构的 SBR
25 （Saturable Bragg Reflector：可饱和布喇格反射器）的情况下，作为 DBR（Distrited Bragg Reflector：分布布喇格反射器）形成。此外，在 SBR 中，为了通过激励光使存储在谐振腔内的光取入量子阱的电势内，在未饱和的状态下，发挥作为谐振腔损耗的功能，当一定量的光被取入量子阱中时，就饱和，损耗急剧减小，过渡性地发挥
30 作为谐振腔增益开关的功能。

当来自激励光源 2 的激励光从基板 5 的一个面透过反射镜 7 照射到激光介质 4a 上时，通过在图 8 中已经说明了的透镜效应形成热

透镜，形成包括激光介质及可饱和吸收体的谐振腔。而且，从谐振腔输出脉冲光，但关于该输出光，能够举出对激励光的入射的方向（图3的右方）相反的方向（图3的左方）出射的形态（例如，输出光被二向色镜等反射，经受光路变更而被抽出），和透过可饱和吸收体向与激励光的入射方向相同的方向出射的形态。

在本发明中，固体激光器谐振腔的光路长度具有沿对激励光的光轴正交的方向上连续变化的分布。此外，这里，「光路长度」被定义为在激光振荡波长 λ 下的折射率乘上物理长度（几何学长度）的量的积，以下，将谐振腔的光路长度记为「 L 」，将其变化量记为「 ΔL 」。

在图3的示例中，由沿激励光的光轴配置的反射镜7、激光介质4a中的激励位置（通过激励光的照射而发热的位置）的区域、中间介质4c（空气层）、可饱和吸收体4b形成谐振腔，而谐振腔的光路长度沿对光轴正交的方向（用箭头「A」表示）变化。换句话说，当使激励光的光轴在箭头A的方向上相对地偏离时，伴随着其激励位置的变化，谐振腔的光路长度也发生变化。

图4是用于概念性地说明光路长度 L 的变化的图，成为梯形的部分表示谐振腔（剖面形状）。

图中所示的光路长度 L 表示在激励光的光轴（用实线表示）上的光路长度，在对光轴正交的方向（用箭头「A」表示）中，例如，当使光轴在图的上方偏离时，光路长度 L 缩短（ $\Delta L < 0$ ），相反，当使光轴在图的下方偏离时，光路长度 L 加长（ $\Delta L > 0$ ）。此外，为了进行这样的位置调整和设定，使激励光和谐振腔之间的相对的位置关系发生变化即可。

作为固体激光器谐振腔的结构要素，可以举出激光介质、可饱和吸收体、中间介质、反射部件，通过使它们中的一个或者多个要素倾斜、使厚度改变，能够使谐振腔的光路长度发生连续的变化。

例如，能够举出以下所示的形态。

（A）激光介质4a及其基板5具有对与激励光的光轴正交的平面倾斜的面的形态。

（B）可饱和吸收体4b及其基板6具有对与激励光的光轴正交的平面倾斜的面的形态。

（C）附设在激光介质4a或者可饱和吸收体4b上的反射部件4d

具有对与激励光的光轴正交的平面倾斜的面的形态。

(D) 在对激励光的光轴平行的方向上的激光介质 4a、可饱和吸收体 4b、中间介质 4c 中的任何一个的厚度在对该光轴正交的方向中不同的形态。

5 首先, 对上述 (A) 和 (B), 例如, 通过对基板等的固定面和基板自身设置少许倾斜, 也可以在形成谐振腔的反射镜之间形成相对的倾斜面。如上所述, 由于激光器谐振腔利用热透镜效应形成, 通过使谐振腔对激励光的光轴相对地移动, 能够调整谐振腔的光路长度, 选择工作点。

10 另外, 在上述 (C) 中, 由于使反射部件自身倾斜, 必须有制造方面的精度。

在上述 (D) 中, 通过使例如激光介质等谐振腔内的部件的厚度发生变化, 基于与中间介质的折射率之差, 使光路长度差发生变化。或者, 通过使中间介质的厚度发生变化, 也可以使谐振腔的光路长度
15 发生变化。此外, 在后者的情况下, 在激光介质和可饱和吸收体中, 不限于使其对与中间介质的界面倾斜, 或使厚度变化这样的必要条件。例如, 在图 3 的结构例中, 由于基板 6 的一部分 (凹部 6a 的开口周边部) 被粘结在激光介质 4a 上, 当该粘结时, 不用对激光介质 4a 施加均等的力来按压基板 6, 只要在对基板 6 施加不均等的按压力的
20 基础上固定在激光介质 4a 上即可。因此, 在按压力强的部分和弱的部分中, 中间介质 4c 的厚度产生差异 (按压力强的部分厚度小), 其结果是, 光路长度 L 发生变化。

除此之外, 还能够举出将上述任何 2 个以上组合的形态。此外, 在图 1 中, 在上述中, 表示在用箭头 A 表示中间介质 4c 的厚度「 δ 」
25 的方向上使厚度发生连续的变化的形态, 厚度「 δ 」的变化被夸张地表示为界面的倾斜 (如后所述, 实际的倾斜角充其量只有数毫弧度量级)。

这样, 通过采用上述的形态或者各形态的组合, 谐振腔具有在包括激励光的光轴的面上截断的情况下其剖面形状为楔形的结构。关于
30 谐振腔的光路长度, 能够举出预先施加连续的变化的方法, 和预先施加阶梯状变化的方法, 而在后者的情况下, 由于存在调整范围被限定和加工精度等问题, 在与激励光的光轴正交的方向上, 为了根据激励

位置的设定或者选择来规定谐振腔的光路长度，最好采用前者的方法。

作为谐振腔的光路长度的调整方法，例如能够举出以下所示的方法。

- 5 (1) 使谐振腔对激励光移动的方法。
- (2) 使激励光对谐振腔移动的方法。
- (3) 将(1)和(2)组合的方法。

上述方法(1)是将激励光源 2 和光学系统 3 的位置固定不变，在仅仅使谐振腔与光轴正交的方向上移动的方法。

- 10 图 5 是用于说明使谐振腔移动情况下的结构的概略图。

激光介质的基板 5 及可饱和吸收体的基板 6 被配置在光学系统的基座(底座) 8 上，能够在该基座上移动。此外，也可以考虑能够使安装了基板的支撑构件在基座上移动的结构，而在图中，为了简化，采用使基板 5、6 在基座 8 上移动的结构。另外，为了说明方便，各
15 基板以分离了的状态示出，而如上所述，由于两基板被一体化，所以一起移动。

图中的「 $n1$ 」、「 $n2$ 」的任何一个都表示法线矢量，「 $n1$ 」表示激光介质与中介介质的界面的法线矢量，「 $n2$ 」表示可饱和吸收体与中介介质的界面的法线矢量。

- 20 此外，光学系统的「基座面」是与图 5 的纸面平行的面。

「 ϕ 」是法线矢量 $n1$ 的界面与法线矢量 $n2$ 的界面所成的角度，表示两者间的相对的倾斜(ϕ 值越大，光路长度对移动量的变化 ΔL 越大)。

- 25 在光路长度 L 的调整中，沿与激励光轴正交的方向(用箭头 A 表示)，使两基板 5、6 在基座 8 上移动。这时，由于包括 $n1$ 及 $n2$ 的平面只要对基座面保持大体平行的关系即可，调整容易进行。换句话说，由于法线矢量 $n1$ 和 $n2$ 的矢积向着对基座面垂直或者大体垂直的方向，使两基板沿该方向移动，所以光路长度 L 不变。当然，也可以使两基板沿对矢积的方向成一定的角度的方向倾斜移动(对移动量的光
30 路长度变化 ΔL 减小)。必须考虑调整机构的复杂化和调整后的位置固定方法等。

在上述方法(2)中，是在谐振腔的位置固定不变的状态下使激

励光的光轴移动的方法，能够举出使激励光源 2 或者光学系统 3 的一方移动的方法，和使激励光源 2 及光学系统 3 移动的方法。另外，在使光学系统 3 移动的情况下，能够举出使其整体移动的方法，或者仅仅使会聚透镜等结构部件移动的方法。

- 5 在上述方法（3）中，例如，能够举出根据粗调、微调而分别使用方法（1）和（2）的方法，或者按时分方式应用方法（1）和（2）的方法等。

重要的是，通过使激励光源 2 或光学系统 3 与固体激光器谐振腔 4 之间的相对的位置关系发生变化，能够调整谐振腔的光路长度。

- 10 这时，固体激光器谐振腔的轨道光路长度最好是 5mm（5 毫米）以下。该值是基于利用热透镜效应的谐振腔的振荡极限得到的。

另外，在上述固体激光器谐振腔的结构要素中，对配备了对与激励光的光轴正交的平面倾斜的面的结构要素，该倾斜角最好是 0.07 毫弧度以上、2 毫弧度以下。

- 15 同样，在对激励光的光轴平行的方向上的中间介质（空气层等）的厚度被规定成沿对该光轴正交的方向上变化的情况下，中间介质与激光介质或可饱和吸收体的界面，对与激励光的光轴正交的平面所成的倾斜角最好是 0.07 毫弧度以上、2 毫弧度以下。

- 倾斜角 0.07 毫弧度（下限值）是受元件尺寸制约的结果。例如，
20 设芯片尺寸为 D （mm）见方（正方形），只要通过使谐振腔结构要素的界面倾斜，就能得到输出波长（ λ ）的一半以上的光路长度差，无论怎样的谐振腔长度也能够调整，故计算那时的角度 θ 即可。换句话说，在使用了正切函数「 $\tan$ 」的不等式「 $\tan \theta \cong \lambda / (2 \cdot D)$ 」中，使用一阶近似「 $\tan \theta \cong \theta$ 」，由「 $\theta \cong \lambda / (2 \cdot D)$ 」给出。用 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的
25 芯片尺寸，在最短波长 700nm 的情况下，由 $\lambda / 2 = 0.35 \mu\text{m}$ 计算出「 $0.35 \mu\text{m} / 5\text{mm} = 0.07\text{mrad}$ 」，谐振腔结构要素的界面对激励光轴的倾斜角最好是 0.07mrad 以上。

- 另外，倾斜角 2 毫弧度（上限值）是从特性上的界限（激光的横模发生和功率减少）给出。例如，在用热透镜形成谐振腔的激光器的
30 情况下，计算出大约用 1W 的激励在激光介质（Nd: YVO₄）中发生焦距 $f=5\text{mm}$ 左右的热透镜。在谐振腔长度约为 0.5mm 左右的情况下，模式直径成为约 $50 \mu\text{m}$ 左右。如果在激励光与振荡模式之间发生模式直径

的 20% 的偏离, 即 $10\mu\text{m}$ 的偏离时, 估计会发生横模或功率减少, 则必须使倾斜角为 2mrad 以下。

此外, 关于固体激光器谐振腔的谐振腔的光路长度 L , 希望根据激励位置的选择而规定的光路长度变化 ΔL 是激光振荡波长 λ 的 $1/2$ 以上 (即「 $\Delta L \cong \lambda/2$ 」), 这是由于在激光振荡频率附近谐振腔纵模对每个谐振腔长度 $\lambda/2$ 重复出现, 成为用于使激光振荡波长一定位于增益中心波长附近的条件, 为了选择稳定的工作点, 这是必须的。

在以上的说明中, 在谐振腔光路长度的调整中, 忽略了温度的影响, 而如图 9 所示, 对于以激励中心位置作为基准的半径方向的温度分布, 发生 200K 左右的温度变化, 热的影响成为问题。

因此, 为了减轻热应力, 基板 5、6 的热膨胀系数的值最好是接近于激光介质和可饱和吸收体的热膨胀系数的值。例如, 希望将激光介质 4a 与基板 5 之间的热膨胀系数之差, 或者可饱和吸收体 4b 与基板 6 之间的热膨胀系数之差设计在 $\pm 5 \times 10^{-6} [\text{K}]$ 以内的范围。该容许范围在实用上是所希望的, 在基板材料的选定时, 使对激光介质与可饱和吸收体的热膨胀系数之差不得超过该范围。这样的激光在导通和关断的情况下, 能够反复承受大致是常温与 200°C 的温度变化。如果贴合了的 2 个物质的热膨胀系数之差在 $\pm 5 \times 10^{-6} [\text{K}]$ 以内, 通过大约 200°C 的温度变化, 只产生最大 0.1% 的长度的伸缩, 能够抑制因应力引起的破坏和劣化。

另外, 对于基板 5 和基板 6, 最好其导热系数的值是 $150 [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ 以上。这是由于难以受温度变化的影响的缘故。换句话说, 这是由于在散热性低的情况下, 激光介质和可饱和吸收体的温度上升成为问题, 使特性和寿命受到恶劣影响的缘故。此外, $150 [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ 以上的值是大约 1.5W 的热在 $1\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的剖面、 5mm 的长度上传导时温度差成为 10°C 以下的条件。当假设因基板造成的进一步的温度上升的容许界限为 10°C 时, 上述导热系数的值作为从现实的元件尺寸和发热量计算出的必要的导热系数算出。

在图 2、图 3 所示的例子中, 激光介质 4a 的热通过基板 5 和基板 6 散出, 另外, 通过中间介质 4c 的插入, 从激光介质向其他部分的热的影响较小。这样, 对于激光介质 4a 和可饱和吸收体 4b, 在使用基板等构件支撑的情况下, 从光轴方向看, 将激光介质 4a 和可饱和吸

收体 4b 分别安装固定在不同的面上是有效的。

另外，在本例中，用粘结剂固定基板 6 的一部分和激光介质 4a，可饱和吸收体 4b 用粘结剂固定在基板 6 的凹部 6a 上，这是由于能够抑制因粘结剂（一般来说热膨胀系数较大）的热膨胀引起的谐振腔长度的变化的缘故。换句话说，对于激光介质 4a 和基板 6 的固定用粘结剂，伴随其温度变化的膨胀方向（参照图 3 的 β 部的箭头），和对于可饱和吸收体 4b 和基板 6 的固定用粘结剂，伴随其温度变化的膨胀方向（参照图 3 的 α 部的箭头）成为同一方向。因此，例如，在各粘结剂的热膨胀量是相同程度的情况下，各自因膨胀量引起的谐振腔长度的变化大体相互抵消。另外，在各粘结剂的热膨胀量是不同程度的情况下，对于谐振腔长度的变化，其差缩小（谐振腔长度的变化量正比于热膨胀量之差）。

这样，当对于温度变化谐振腔长度的变化减小时，虽然不使用积极利用温度变化来选择工作点的现有方法，但如上所述，不使谐振腔的光路长度 L 为恒定，在与光轴正交的方向上使光路长度 L 变化，同时，通过与激励位置的变更对应的光路长度的调整，能够选择稳定的工作点（换句话说，采用了用于降低温度变化等的影响的结构的结果是，由于需要用温度控制以外的方法来调整谐振腔长度的结构，在谐振腔中采用楔形的结构）。

接着，说明上述形态（II）。

图 6 是表示上述形态（II）的结构例的图，表示谐振腔的剖面结构。

在本例所示的激光器谐振腔 4A 中，激光介质 4a 不粘结在基板 6 上，而是基板 5 中没有形成激光介质 4a 的部分被粘结在基板 6 上。因此，由于激光介质 4a 不与基板 6 粘结，在两者间的粘结部分中，不必担心加在激光介质 4a 上的热应力。

而且，在激光介质 4a 中，形成反射镜的一侧粘结在基板 5 上，在使基板 5 与基板 6 结合的状态中，激光介质 4a 被收容在凹部 6a 内。另外，对于可饱和吸收体 4b，与图 3 的情况同样地，用粘结剂固定在凹部 6a 的底面的台阶部上。

此外，谐振腔的结构要素通过提供面的倾斜和厚度的变化而具有楔形的结构，使得在激励光的光轴与谐振腔的相对的位置关系中，能

够通过使激励光学系统或者谐振腔沿着用箭头 A 指示的方向移动，以此调整谐振腔的光路长度 L，选择工作点。

在本例中，由于将激光介质 4a 固定在基板 5 上的粘结剂的热膨胀方向与将可饱和吸收体 4b 固定在基板 6 上的粘结剂的热膨胀方向成为互相相反的方向，虽然不成为因热膨胀引起的谐振腔长度的变化相互抵消的关系（在谐振腔长度变短的方向上变化），但由于基板 5 和基板 6 的固定用粘结剂的热膨胀方向与可饱和吸收体 4b 和基板 6 的固定用粘结剂的热膨胀方向成为同一方向，所以在各粘结剂的热膨胀量为相同程度的情况下，因各自的膨胀量引起的谐振腔长度的变化大体上相互抵消（或者，即使在各粘结剂的热膨胀量为不同程度的情况下，谐振腔长度变化之差也会缩小）。

图 7 是表示上述形态（II）的又一结构例的图，表示谐振腔的剖面结构。

与图 6 所示结构的不同点在于，可饱和吸收体 4b 固定在小基板 9 上，该小基板用粘结方式固定在基板 6 的凹部 6a 上所形成的台阶部上。

在本例所示的固体激光器谐振腔 4B 中，由于不是将可饱和吸收体 4b 与基板 6 直接地固定，具有使因热膨胀引起的应力减小的优点。另外，如果使用使小基板 9 的尺寸等减小、导热性良好的材料，对可饱和吸收体 4b 等的热应力就不会那么大。

此外，谐振腔的结构要素通过提供面的倾斜和厚度的变化而具有楔形的结构，使得在激励光的光轴与谐振腔的相对的位置关系中，能够通过使激励光学系统或者谐振腔沿着用箭头 A 指示的方向移动，以此调整谐振腔的光路长度 L，选择工作点。

另外，由于基板 5 和基板 6 的固定用粘结剂的热膨胀方向与小基板 9 和基板 6 的固定用粘结剂的热膨胀方向成为同一方向，在各粘结剂的热膨胀量为相同程度的情况下，由各自的膨胀量引起的谐振腔长度的变化大体上相互抵消（或者，即使在各粘结剂的热膨胀量为不同程度的情况下，谐振腔长度变化之差也会缩小）。

最后，说明激光发生装置的制造方法。

主要的工序如下。

（i）固体激光器谐振腔的制造工序；以及

(ii) 激励光学系统与固体激光器谐振腔的对准及谐振腔的光路长度 L 的调整工序。

首先，在工序 (i) 中，使各自设置构成固体激光器谐振腔（组合件）的激光介质、可饱和吸收体的基板彼此之间粘合。据此，在激光介质与可饱和吸收体之间形成插入了中介介质的配置，如上所述，对于谐振腔的结构要素，是形成对与激励光的光轴正交的平面倾斜的面，或者形成使在对激励光的光轴平行的方向上的结构要素的厚度沿与该光轴正交的方向变化的结构。

在工序 (ii) 中，对于包括激励光源 2 和光学系统 3 的激励光学系统和在工序 (i) 中制造了的固体激光器谐振腔，进行光学上的对位。那时，在与激励光的光轴正交的方向上，使激励位置变化，根据该变化，通过以激光振荡波长以下的精度调整谐振腔的光路长度，选择稳定的工作点（能够以良好的稳定性得到所希望的特性）。

为此，例如使用下述方法。

(1) 设置用于进行激光功率或者脉冲重复频率的变化的监控的光检测部件（光电探测器等）。

(2) 一边监视光检测部件的检测信号，一边使谐振腔中的激励位置缓慢变化下去。

(3) 当激光功率或者脉冲重复频率达到其目标值或极大值时，或者目标值或极大值进入包括那些值的附近在内的容许范围时，使谐振腔的光路长度的调整结束，在不是那种情况时，返回到 (2) 继续进行调整。

如上所述，当使激励光学系统和固体激光器谐振腔之间的相对的位置关系变化时，能够举出各种形态，而例如在图 5 中已经说明的那样，可以使固体激光器谐振腔在光学系统的基座上移动（在基座面上，使包括激光介质及可饱和吸收体的谐振腔在与基座面平行的方向上移动的结构是简单的。）

于是，根据上述结构，能够得到下述的优点。

· 通过使用将谐振腔作为子组合件固定在一体化了的基板上的结构，能够抑制因振动引起的的不合适的状况（脉冲跳动的增加等）。

· 对于谐振腔的光路长度，通过采用在长期内难以发生变化的结构，抗振性能变好，另外，在长时间工作中，难以引起工作点的移动

或变动。

· 利用具有楔形结构的谐振腔，在组装时不需要波长以下的高精度，能够容易地选择工作点，进行装置的制造。

工业上的可利用性

5 从上述说明可知，按照本发明第 1、18 方面，由于谐振腔光路长度难以受振动和随时间变化的影响而发生变化，在工作方面是稳定的（例如，脉冲跳动少）。而且，通过改变激光介质中的激励位置，调整谐振腔光路长度，能够选择特性上稳定的工作点，不需要利用了温度变化的工作点选择方法。其结果是，能够使因温度变化引起的谐振腔长度的变化减小（或者采用难以受热的影响的结构）。

按照本发明的第 2、19 方面，在对无源 Q 开关激光器的应用中，能够保证稳定的工作。

按照本发明的第 3 方面，能够通过光学系统将激励光照射到所希望的位置上。

15 按照本发明的第 4 方面，能够得到在固体激光器的输出波段中的激光。

按照本发明的第 5 方面，在利用激光介质中的热透镜效应形成谐振腔的情况下，能够提高振荡工作的可靠性。

按照本发明的第 6 方面，有利于装置的小型化。

20 按照本发明的第 7、8 方面，不需要制作方法特殊的材料和高价材料，能够使用比较容易得到的材料构成谐振腔。

按照本发明的第 9、12、13、22、23 方面，能够确保调整上必要的谐振腔长度，同时，能够排除起因于激光器的横模的发生和输出的减少的弊害。

25 按照本发明的第 10、11 方面，能够使制造容易，而且结构简单。

按照本发明的第 14、24 方面，谐振腔的光路长度调整容易，另外，用于调整的结构简单。

按照本发明的第 15 方面，能够降低热应力的影响。

按照本发明的第 16 方面，能够提高散热性。

30 按照本发明的第 17、25 方面，能够抑制因热膨胀引起的谐振腔长度的变化。

按照本发明的第 20 方面，能够以良好的精度调整谐振腔光路长

度。

按照本发明的第 21 方面，谐振腔光路长度的调整方法比较简单，不需要复杂的调整机构。

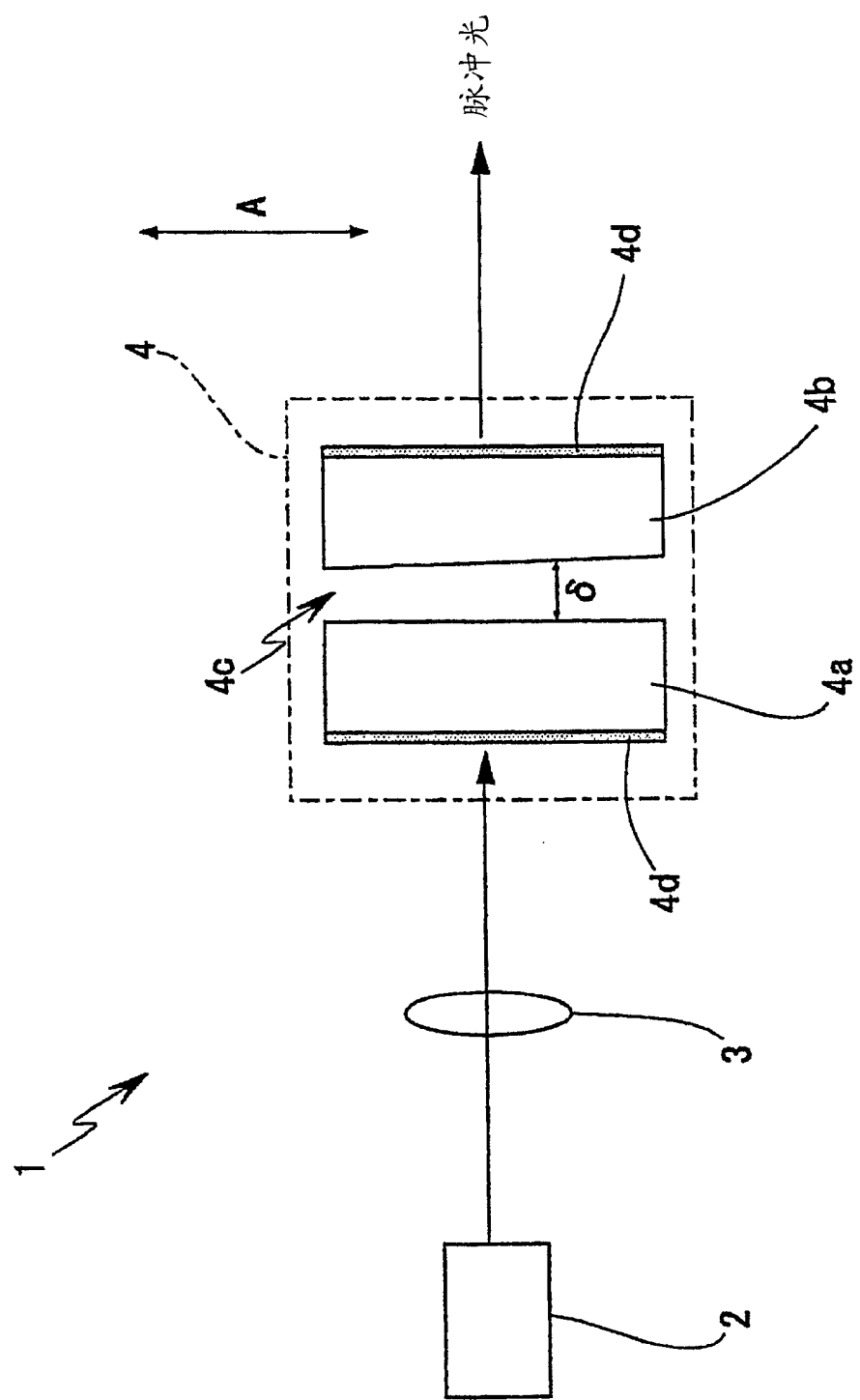


图 1

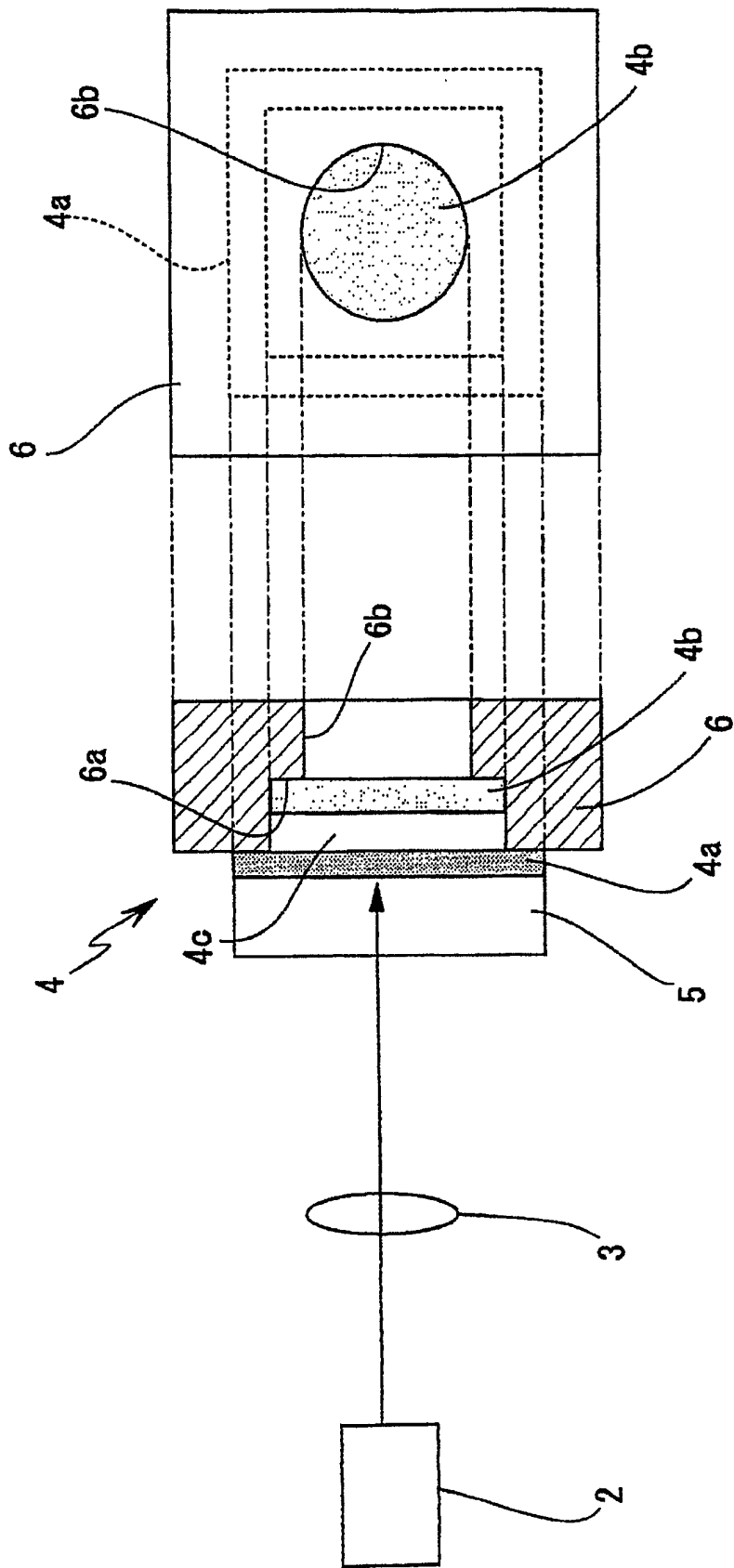


图 2

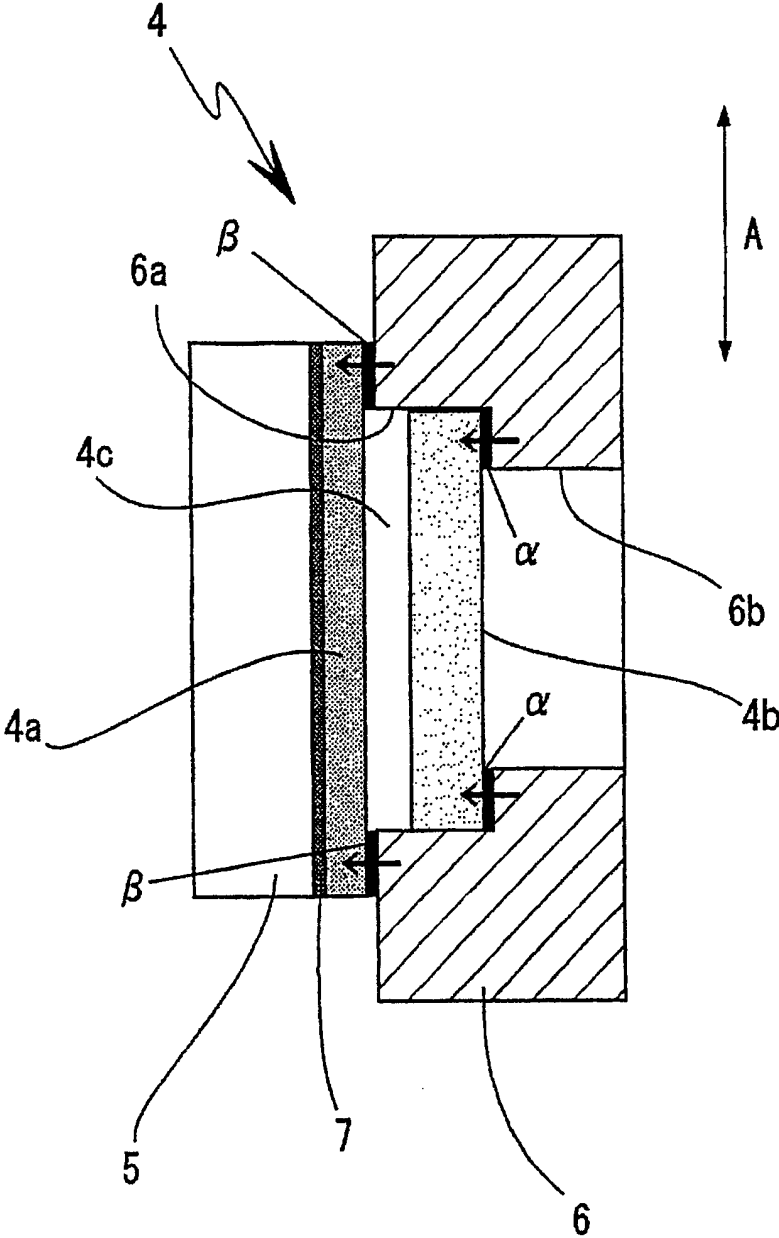


图 3

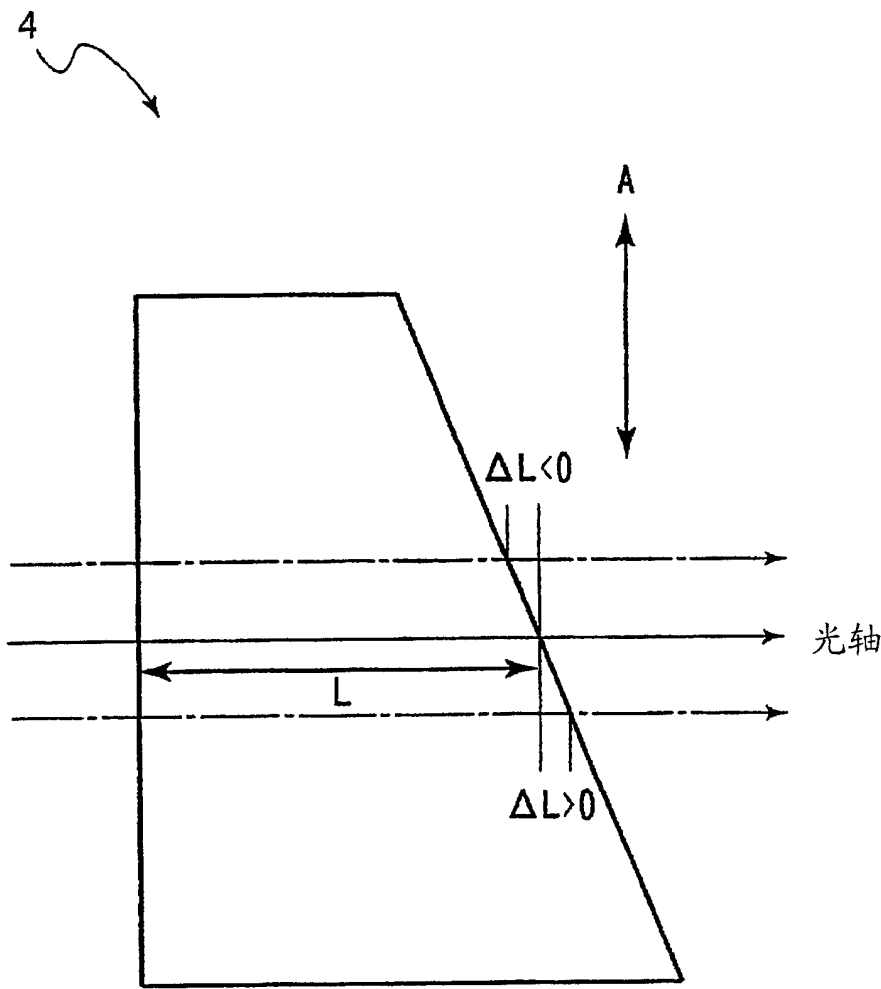


图 4

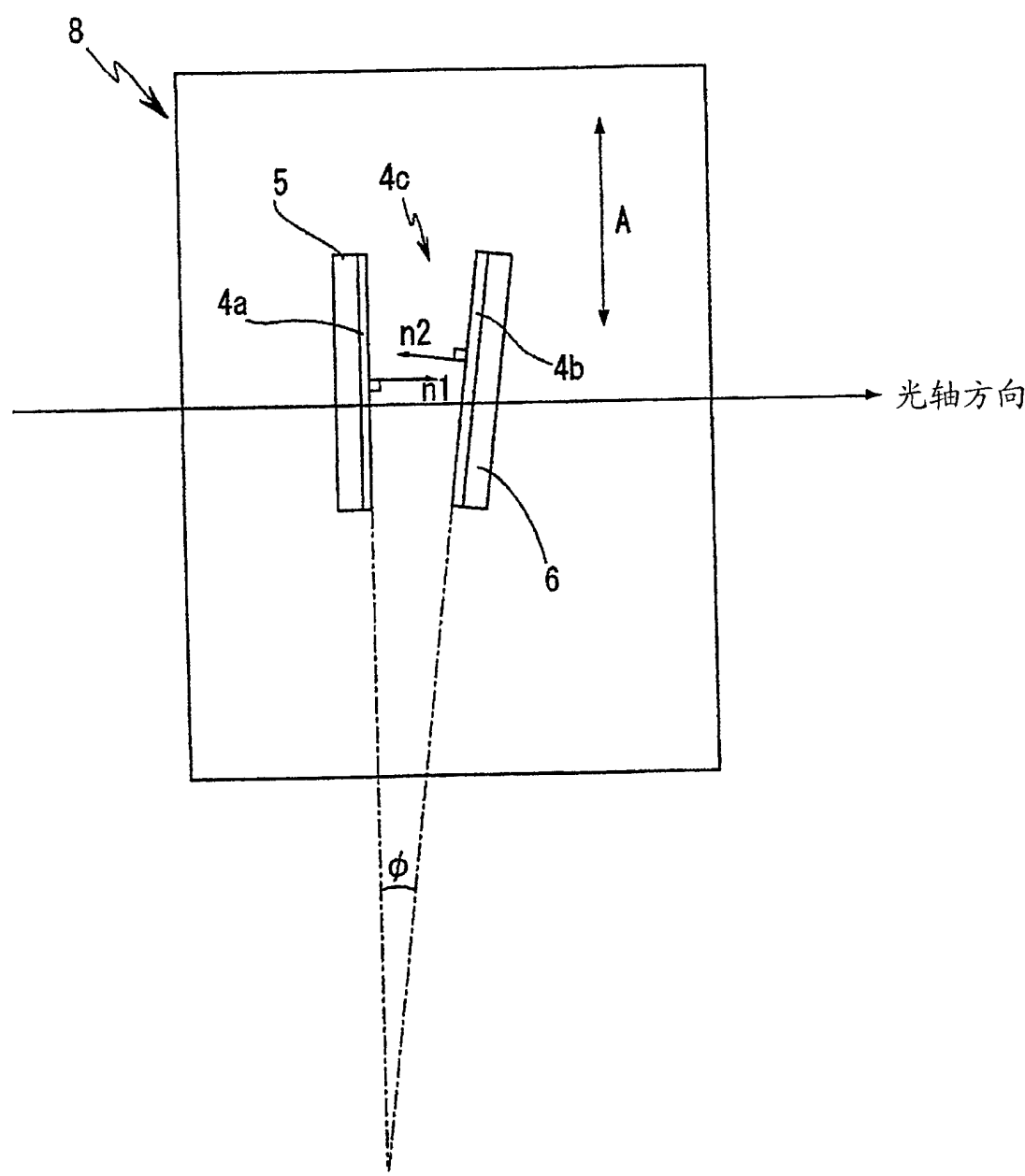


图 5

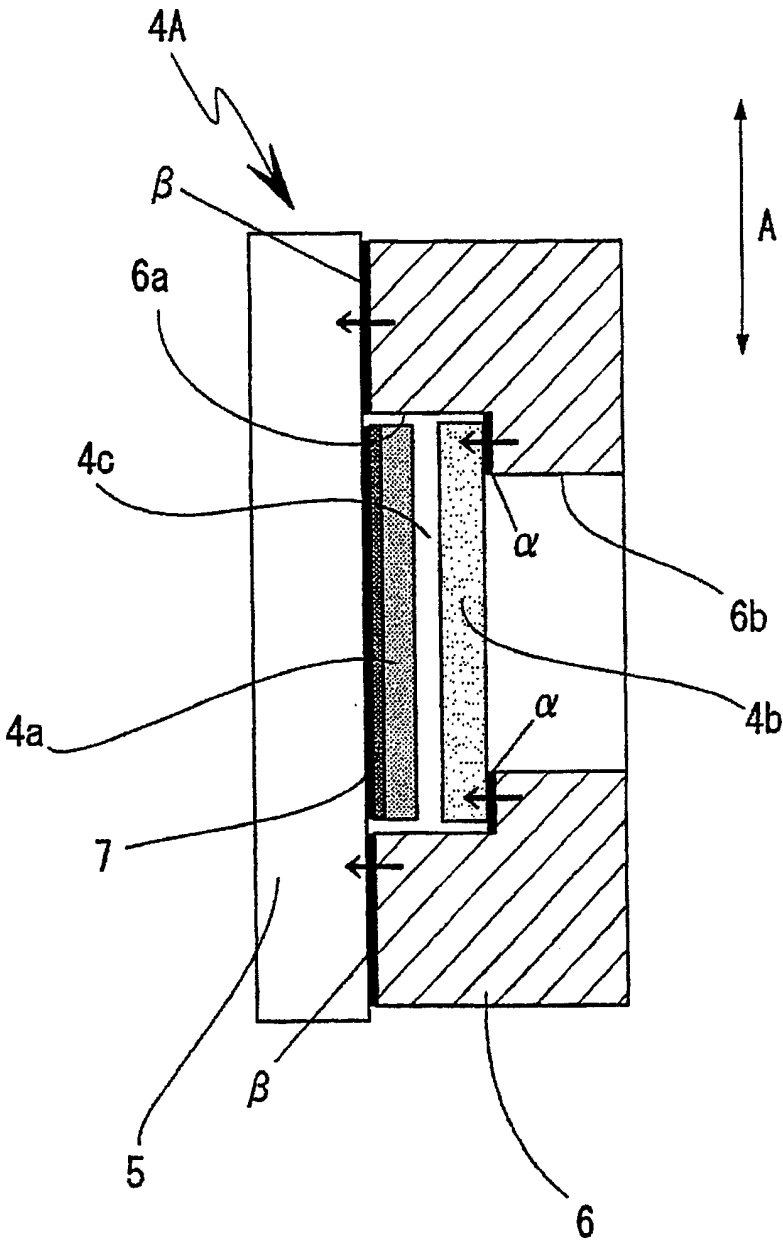


图 6

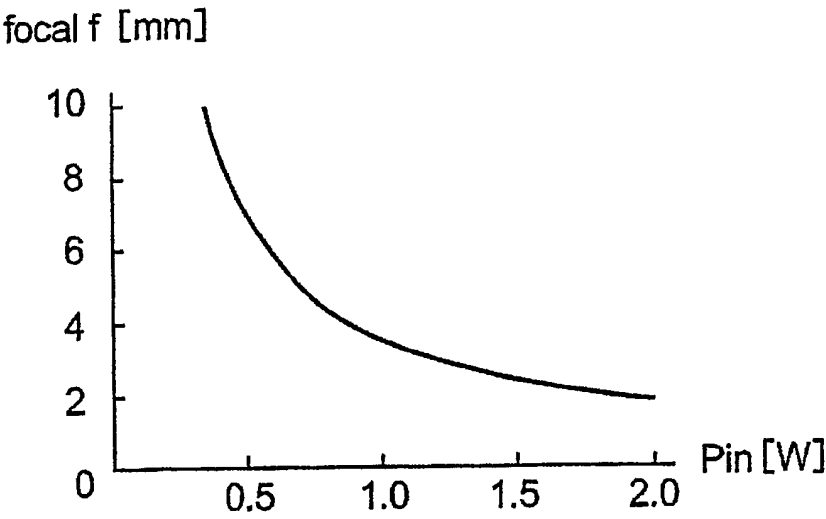


图 8

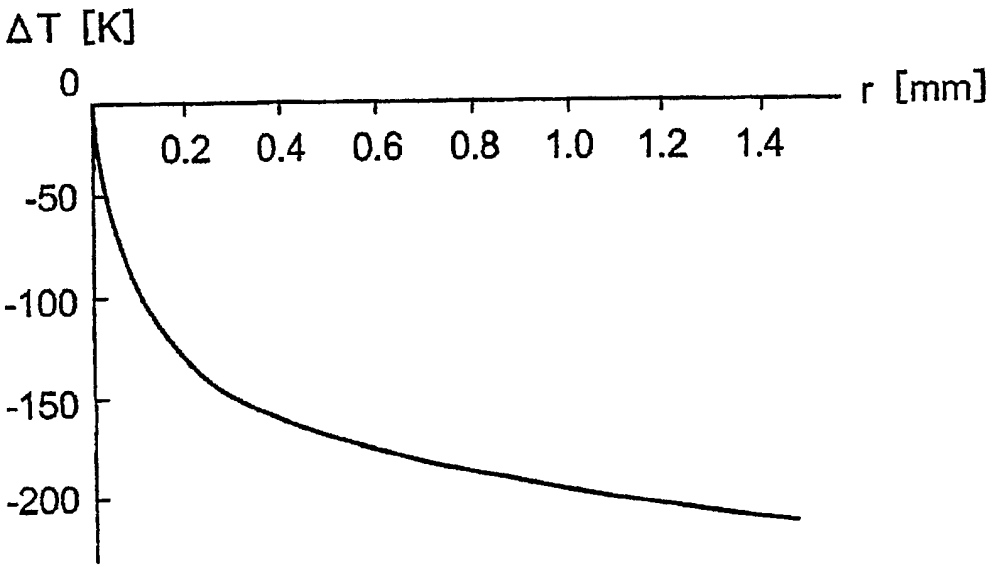


图 9

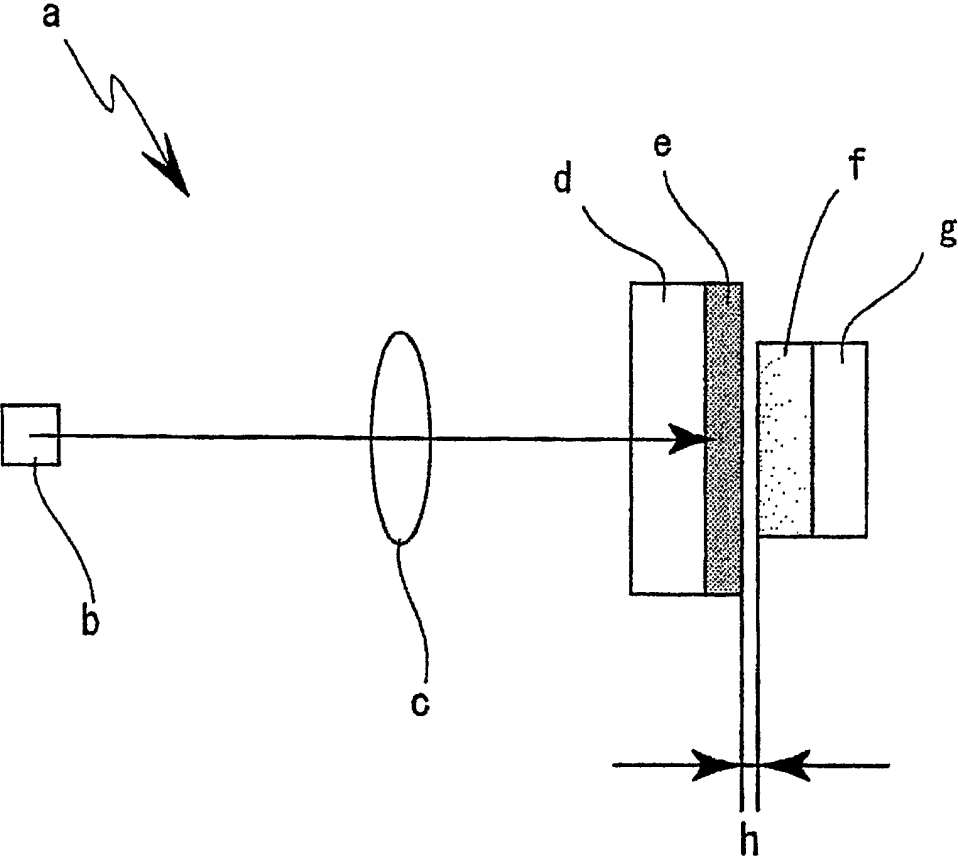


图 10