



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102265207 B

(45) 授权公告日 2014. 03. 26

(21) 申请号 200980152729. 8

(22) 申请日 2009. 12. 24

(30) 优先权数据

2008-327855 2008. 12. 24 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 06. 24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2009/071443 2009. 12. 24

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/074149 JA 2010. 07. 01

(73) 专利权人 浜松光子学株式会社

地址 日本静冈县

(72) 发明人 松本直也 安藤太郎 井上卓

大竹良幸

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

代理人 龙淳

(51) Int. Cl.

G02F 1/01 (2006. 01)

G02B 26/06 (2006. 01)

G02B 27/09 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2000-10058 A, 2000. 01. 14, 全文 .

JP 特开 2006-113185 A, 2006. 04. 27, 说明书第 33-36 段, 第 38-42 段, 图 1, 3-1, 3-2.

JP 特开 2008-176150 A, 2008. 07. 31, 说明书第 41-44 段, 第 61 段, 图 10, 16A, 16B.

审查员 胡颀

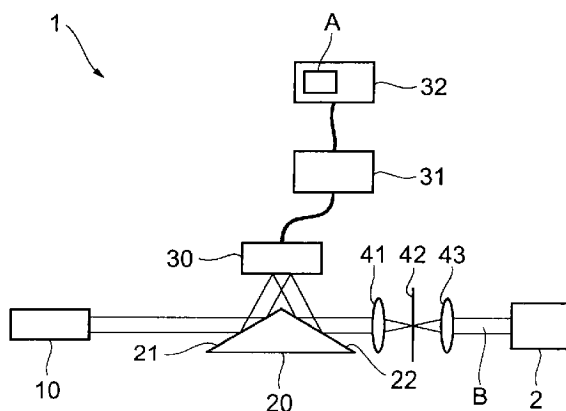
权利要求书1页 说明书9页 附图9页

(54) 发明名称

光控制装置以及光控制方法

(57) 摘要

本发明涉及光控制装置以及光控制方法。光控制装置(1)具备光源(10)、棱镜(20)、空间光调制器(30)、驱动部(31)、控制部(32)、透镜(41)、缝隙(42)以及透镜(43)。空间光调制器(30)是相位调制型的空间光调制器,具有二维排列的多个像素,能够在 $4\pi$ 的范围内进行这些多个像素的各个中的相位调制,显示在多个像素的各个中对光的相位进行调制的相位图案。该相位图案由重叠相位调制范围为 $2\pi$ 以下的用于光衍射的炫耀光栅图案和相位调制范围为 $2\pi$ 以下的具有规定的相位调制分布的相位图案而成。



1. 一种光控制装置,其特征在于,

具备:

光源,输出光;

相位调制型的空间光调制器,能够在  $4\pi$  的范围内进行二维排列的多个像素的各个中的相位调制,输入从所述光源输出的光,显示在所述多个像素的各个中对光的相位进行调制的相位图案,并输出由该相位图案进行相位调制后的光;以及

控制部,使相位调制范围为  $2\pi$  以下的用于光衍射的炫耀光栅图案和通过对相位调制范围超过  $2\pi$  的具有规定的相位调制分布的相位图案进行相位折叠而使相位调制范围为  $2\pi$  以下的该相位图案重叠而成的相位图案显示于所述空间光调制器,调整所述炫耀光栅图案,从而调整所述空间光调制器中的光衍射效率。

2. 如权利要求 1 所述的光控制装置,其特征在于,

所述控制部使重叠了所述炫耀光栅图案和所述相位图案的相位图案显示于所述空间光调制器,所述炫耀光栅图案具有对应于特定指数的拉盖尔-高斯模式光的光束截面上的强度分布的光衍射效率分布,所述相位图案具有对应于所述拉盖尔-高斯模式光的光束截面上的相位分布的相位调制分布。

3. 如权利要求 1 所述的光控制装置,其特征在于,

所述控制部使重叠了所述炫耀光栅图案和所述相位图案的相位图案显示于所述空间光调制器,所述炫耀光栅图案具有对应于在光束截面上具有特定的强度分布以及相位分布的光的该强度分布的光衍射效率分布,所述相位图案具有对应于所述相位分布的相位调制分布。

4. 一种光控制方法,其特征在于,

使用

光源,输出光;以及

相位调制型的空间光调制器,能够在  $4\pi$  的范围内进行二维排列的多个像素的各个中的相位调制,输入从所述光源输出的光,显示在所述多个像素的各个中对光的相位进行调制的相位图案,并输出由该相位图案进行相位调制后的光,

使相位调制范围为  $2\pi$  以下的用于光衍射的炫耀光栅图案和通过对相位调制范围超过  $2\pi$  的具有规定的相位调制分布的相位图案进行相位折叠而使相位调制范围为  $2\pi$  以下的该相位图案重叠而成的相位图案显示于所述空间光调制器,调整所述炫耀光栅图案,从而调整所述空间光调制器中的光衍射效率。

5. 如权利要求 4 所述的光控制方法,其特征在于,

使重叠了所述炫耀光栅图案和所述相位图案的相位图案显示于所述空间光调制器,所述炫耀光栅图案具有对应于特定指数的拉盖尔-高斯模式光的光束截面上的强度分布的光衍射效率分布,所述相位图案具有对应于所述拉盖尔-高斯模式光的光束截面上的相位分布的相位调制分布。

6. 如权利要求 4 所述的光控制方法,其特征在于,

使重叠了所述炫耀光栅图案和所述相位图案的相位图案显示于所述空间光调制器,所述炫耀光栅图案具有对应于在光束截面上具有特定的强度分布以及相位分布的光的该强度分布的光衍射效率分布,所述相位图案具有对应于所述相位分布的相位调制分布。

## 光控制装置以及光控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光控制装置以及光控制方法。

### 背景技术

[0002] 空间光调制器在各个二维排列的多个像素中能够调制输入光的强度或者相位。作为这样的空间光调制器,存在能够仅调制强度的强度调制型的调制器、能够仅调制相位的相位调制型的调制器、能够调制强度以及相位的两者的强度相位调制型的调制器。空间光调制器的各个像素中调制了强度或者相位而输出的光例如被设置于空间光调制器的后段的聚光光学系统聚光,从而能够加工存在于该聚光位置的对象物。

[0003] 强度调制型的空间光调制器是调整每个像素中输入光的透过率的空间光调制器,因为不能够利用未透过的部分的光,所以光的利用效率较差。强度相位调制型的空间光调制器难以互相独立地控制各个像素中的强度调制和相位调制,因而使用操作较为困难。

[0004] 另一方面,相位调制型的空间光调制器是调制每个像素中输入光的相位的空间光调制器,因为能够输出几乎所有的光,所以光的利用效率较高。另外,相位调制型的空间光调制器通过显示由计算机全息图(hologram)等制作成的相位图案,从而输出光的光束截面上的相位分布的自由度较高,由聚光光学系统得到的输出光的聚光位置的自由度较高。作为使用这样的相位调制型的空间光调制器的光控制的用途,可以列举加工对象物的表面和内部的加工、拉盖尔-高斯(Laguerre-Gaussian)模式光的生成等。

[0005] 另外,众所周知相位调制型的空间光调制器中能够调制每个像素中被相位调制而输出的光的强度(参照非专利文献1)。这是一种使通过重叠用于光衍射的炫耀光栅(blazed grating)图案和具有规定的相位调制分布的相位图案而成的相位图案显示于相位调制型的空间光调制器,调整炫耀光栅图案,从而调整空间光调制器中的光衍射效率的装置。由此,由空间光调制器进行衍射而输出的光,在其光束截面上能够具有所希望的强度分布以及相位分布。

[0006] 另外,一般来说,光波的相位 $\alpha$ 和相位 $(\alpha + 2n\pi)$ 因为是同等的,所以空间光调制器的各个像素中的光相位调制如果能够在 $2\pi$ 的范围内那么是充分的。在此, $n$ 为任意的整数。例如,在相位调制量超过 $2\pi$ 的情况下,通过对该相位调制量加减 $2n\pi$ (称为“相位折叠”)从而可以使相位调制量为从0到 $2\pi$ 的范围内的值。即使如上所述被相位折叠后的相位调制量成为空间光调制器的各个像素的相位调制量,原理上也不会产生任何问题。

[0007] 现有的空间光调制器被设定为具有相位调制范围 $2\pi$ 。这是由于如果空间光调制器中的相位调制范围是 $2\pi$ ,那么相位图案中通过进行相位折叠从而在原理上也能够表现超过 $2\pi$ 的相位调制。另外,空间光调制器具有超过 $2\pi$ 的相位调制范围,不仅是冗长的,而且会引起输入灰度(gradation)值与相位调制量之间的关系上的分辨率的降低和应答速度的降低。

[0008] 非专利文献

[0009] 非专利文献1:Joseph P.Kirk and Alan L.Jones,“Phase-only complex-value

spatial filter”, Journal of the optical society of America, Vol. 61, No. 8, 1971

## 发明内容

[0010] 发明所要解决的课题

[0011] 然而,本发明人利用使通过重叠炫耀光栅 (blazed grating) 图案和规定的相位图案而成的相位图案显示于相位调制型的空间光调制器而在该空间光调制器中能够调制每个像素中被相位调制而输出的光的强度,进行了各种各样的研究开发。本发明人在进行该研究开发的时候,发现了会有产生从空间光调制器输出的光的光束截面上的强度分布以及相位分布与所希望的分布不同的现象的情况,即会有从空间光调制器输出的光的光束品质降低的现象。而且,本发明人发现了该现象起因于相位折叠。

[0012] 本发明是为了解决上述问题而悉心研究之结果,以提供一种在使通过重叠炫耀光栅图案和具有规定的相位调制分布的相位图案而成的相位图案显示于相位调制型的空间光调制器的技术中,能够获得具有所希望的光束截面的光的光控制装置以及光控制方法为目的。

[0013] 解决课题的技术手段

[0014] 本发明所涉及的光控制装置,其特征在于,具备:(1) 输出光的光源;(2) 能够在  $4\pi$  的范围内进行二维排列的多个像素的各个中的相位调制,输入从光源输出的光,显示在多个像素的各个中对光的相位进行调制的相位图案,输出由该相位图案进行相位调制后的光的相位调制型的空间光调制器;以及(3) 使相位调制范围为  $2\pi$  以下的用于光衍射的炫耀光栅 (blazed grating) 图案和相位调制范围为  $2\pi$  以下的具有规定的相位调制分布的相位图案重叠而成的相位图案显示于空间光调制器,调整炫耀光栅图案,从而调整空间光调制器中的光衍射效率的控制部。

[0015] 在本发明所涉及的光控制装置中,控制部优选为使重叠了具有对应于特定指数的拉盖尔-高斯 (Laguerre-Gaussian) 模式光的光束截面上的强度分布的光衍射效率分布的炫耀光栅图案和具有对应于拉盖尔-高斯模式光的光束截面上的相位分布的相位调制分布的相位图案的相位图案显示于空间光调制器。

[0016] 另外,在本发明所涉及的光控制装置中,控制部优选为使重叠了具有对应于在光束截面上具有特定的强度分布以及相位分布的光的该强度分布的光衍射效率分布的炫耀光栅图案和具有对应于相位分布的相位调制分布的相位图案的相位图案显示于空间光调制器。

[0017] 本发明所涉及的光控制方法,其特征在于,使用(1) 输出光的光源;以及(2) 能够在  $4\pi$  的范围内进行二维排列的多个像素的各个中的相位调制,输入从光源输出的光,显示在多个像素的各个中对光的相位进行调制的相位图案,输出由该相位图案进行相位调制后的光的相位调制型的空间光调制器,(3) 使相位调制范围为  $2\pi$  以下的用于光衍射的炫耀光栅图案和相位调制范围为  $2\pi$  以下的具有规定的相位调制分布的相位图案重叠而成的相位图案显示于空间光调制器,调整炫耀光栅图案,从而调整空间光调制器中的光衍射效率。

[0018] 本发明所涉及的光控制方法优选为使重叠了具有对应于特定指数的拉盖尔-高斯模式光的光束截面上的强度分布的光衍射效率分布的炫耀光栅图案和具有对应于拉盖

尔-高斯模式光的光束截面上的相位分布的相位调制分布的相位图案的相位图案显示于空间光调制器。

[0019] 本发明所涉及的光控制方法优选为使重叠了具有对应于在光束截面上具有特定的强度分布以及相位分布的光的该强度分布的光衍射效率分布的炫耀光栅图案和具有对应于相位分布的相位调制分布的相位图案的相位图案显示于空间光调制器。

[0020] 发明的效果

[0021] 根据本发明,能够在使炫耀光栅图案和具有规定的相位调制分布的相位图案重叠而成的相位图案显示于相位调制型的空间光调制器的技术中获得具有所希望的光束截面的光。

## 附图说明

[0022] 图 1 是光控制装置 1 的结构图。

[0023] 图 2 是表示炫耀光栅 (blazed grating) 图案的图。

[0024] 图 3 是表示炫耀光栅图案中的相位调制分布的一个例子的图。

[0025] 图 4 是表示实际的显示于空间光调制器的炫耀光栅图案中的 k 值与衍射效率的关系的图表。

[0026] 图 5 是表示炫耀光栅图案中的相位调制分布的一个例子的图。

[0027] 图 6 是表示炫耀光栅图案中的各个像素的相位调制量的一个例子的图表。

[0028] 图 7 是表示相位图案中的相位调制分布的一个例子的图。

[0029] 图 8 是表示重叠了炫耀光栅图案 (图 5、图 6) 和具有规定的相位调制分布的相位图案 (图 7) 的相位图案中的相位调制分布的图。

[0030] 图 9 是表示对相位图案  $\phi_{\text{result}}$  (图 8) 进行相位折叠之后的相位图案中的相位调制分布的图。

[0031] 图 10 是表示在比较例的情况下从空间光调制器输出的光的光束截面上的强度分布的一个例子的图。

[0032] 图 11 是表示  $LG_{1,3}$  光的光束截面上的强度分布的图。

[0033] 图 12 是表示用于获得  $LG_{1,3}$  光的光束截面上的强度分布 (图 11) 的炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  的图。

[0034] 图 13 是表示用于获得  $LG_{1,3}$  光的光束截面上的相位分布的所希望相位图案  $\phi_{\text{desired}}$  的图。

[0035] 图 14 是表示由本实施方式所生成的  $LG_{1,3}$  光的光束截面上的强度分布的图。

[0036] 图 15 是表示由比较例所生成的  $LG_{1,3}$  光的光束截面上的强度分布的图。

[0037] 图 16 是表示光束整形前的强度分布以及光束整形后的强度分布的一个例子的图。

[0038] 符号的说明

[0039] 1...光控制装置、2...摄像装置、10...光源、20...棱镜、30...空间光调制器、31...驱动部、32...控制部、41...透镜、42...缝隙 (aperture)、43...透镜。

## 具体实施方式

[0040] 以下,参照附图,详细地说明用于实施本发明的最佳方式。还有,在图面的说明中,将相同的符号标注于相同的要素,从而省略重复的说明。

[0041] 图 1 是光控制装置 1 的结构图。由该图所表示的光控制装置 1 具备光源 10、棱镜 20、空间光调制器 30、驱动部 31、控制部 32、透镜 41、缝隙 42 以及透镜 43。还有,在该图中除了光控制装置 1 之外还表示有摄像装置 2。

[0042] 本发明中所使用的相位调制型的空间光调制器可以是反射型的空间光调制器,也可以是透过型的空间光调制器。作为反射型的空间光调制器,可以是 LCOS(Liquid Crystal on Silicon) 型、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 型以及光寻址型中的任意一种。另外,作为透过型的空间光调制器,可以是 LCD(Liquid Crystal Display) 等。在图 1 中,作为空间光调制器 30,表示反射型的空间光调制器。

[0043] 光源 10 是输出应该由空间光调制器 30 进行相位调制的光的装置,优选为激光光源,也可以是飞秒(femto second)激光光源或 Nd:YAG 激光光源等的脉冲激光光源,也可以是 He-Ne 等的 CW 激光光源。从光源 10 输出的光优选为在经过空间滤波器(spatial filter)之后由准直透镜(Collimate Lens)校准。

[0044] 棱镜 20 具有第 1 反射面 21 以及第 2 反射面 22。棱镜 20 的第 1 反射面 21 输入从光源 10 输出的光,并将该光向空间光调制器 30 反射。棱镜 20 的第 2 反射面 22 输入从空间光调制器 30 输出的光,并将该光向透镜 41 反射。

[0045] 空间光调制器 30 是相位调制型的空间光调制器,具有二维排列的多个像素,能够在  $4\pi$  的范围内进行这些多个像素的各个中的相位调制,并能够显示在多个像素的各个中对光的相位进行调制的相位图案。空间光调制器 30 输入从光源 10 输出并在棱镜 20 的第 1 反射面 21 上被反射而到达的光,并使由该相位图案进行相位调制之后的光向棱镜 20 的第 2 反射面 22 输出。该空间光调制器 30 中所显示的相位图案例如可以列举由数值计算求得的计算机全息图(CGH:Computer Generated Hologram)等。

[0046] 驱动部 31 是设定空间光调制器 30 的二维排列的多个像素的各个中的相位调制量的装置,将用于该每个像素的相位调制量设定的信号赋予空间光调制器 30。驱动部 31 通过设定空间光调制器 30 的二维排列的多个像素的各个中的相位调制量从而使相位图案显示于空间光调制器 30。

[0047] 控制部 32 例如由计算机所构成,通过控制驱动部 31 的动作从而从驱动部 31 向空间光调制器 30 写入相位图案。即存储应该被显示于空间光调制器 30 的相位图案 A,或者制作该相位图案 A 并从驱动部 31 将该相位图案 A 写入到空间光调制器 30。

[0048] 该相位图案 A 由相位调制范围为  $2\pi$  以下的用于光衍射的炫耀光栅(blazed grating)图案和相位调制范围为  $2\pi$  以下的具有规定的相位调制分布的相位图案重叠而成。具有该规定的相位调制分布的相位图案包含用于在光束截面上实现所希望的相位分布的成分,另外,优选还包含用于修正光控制装置 1 中的包括空间光调制器 30 的光学系统的相位失真的成分。通过调整炫耀光栅图案从而能够调整空间光调制器 30 中的光衍射效率。

[0049] 透镜 41 输入从空间光调制器 30 输出并在棱镜 20 的第 2 反射面 22 上被反射的光。透镜 41 和透镜 43 构成了 4f 光学系统,在两者之间的焦点位置上配置有缝隙 42 的开口。该缝隙 42 以仅通过所希望的次数的衍射光的方式配置。

[0050] 摄像装置 2 接收从光控制装置 1 的透镜 43 输出的光 B,并取得该光 B 的光束截面

上的强度分布。摄像装置 2 是用于观察从光控制装置 1 输出的光的品质的装置。还有,在用于加工等的时候,在透镜 43 的后段重新配置透镜,并在其聚光点位置上配置加工对象物。

[0051] 该光控制装置 1 的大致动作如以下所述。由被控制部 32 控制的驱动部 31,将炫耀光栅图案和相位图案重叠而成的相位图案显示于空间光调制器 30。从光源 10 输出的光在棱镜 20 的第 1 反射面 21 上被反射,并被输入到空间光调制器 30。

[0052] 被输入到空间光调制器 30 的光由被显示于空间光调制器 30 的相位图案中的炫耀光栅图案而被衍射并输出。该光衍射的时候的衍射效率根据炫耀光栅图案的形状而不同,另外,会有根据空间光调制器 30 的入射面上的位置而不同的情况。另外,从空间光调制器 30 被衍射并被输出的光成为由被显示于空间光调制器 30 的相位图案中的具有规定的相位调制分布的相位图案而被相位调制的光。

[0053] 从空间光调制器 30 输出的光在棱镜 20 的第 2 反射面 22 上被反射,经过透镜 41、缝隙 42 以及透镜 43,并由摄像装置 2 进行受光从而取得光束截面上的强度分布。此时,透镜 41、缝隙 42 以及透镜 43 为选择性地通过从空间光调制器 30 输出的光中的所希望的衍射次数的衍射光的结构。因此,从透镜 43 输出到摄像装置 2 的光 B 成为具有所希望的强度分布以及相位分布的光。

[0054] 接着,对被显示于空间光调制器 30 的相位图案进行详细的说明。该相位图案由用于光衍射的炫耀光栅图案和具有规定的相位调制分布的相位图案重叠而成。图 2 是表示炫耀光栅图案的图。在该图中,以浓淡表示各个像素的相位调制量(调制宽度  $2\pi$ )。如果对显示有这样的炫耀光栅图案的空间光调制器 30 输入光,那么该光被衍射。该光衍射的时候的衍射效率根据炫耀光栅图案的形状而不同。

[0055] 将沿着空间光调制器 30 的光入射面上的特定方向的 N 像素作为 1 周期的炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  由下述式 (1) 表示。在此, n 表示沿着特定方向的周期内的像素位置。k 可以是 0 以上 1 以下的值。因此,炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  的相位调制范围为  $2\pi$  以下的  $2k\pi$ 。

[0056] [数 1]

$$[0057] \quad \phi_{\text{grating}}(n) = 2\pi \cdot k \frac{n - N/2}{N} \quad \dots(1)$$

[0058] 该炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  的理论上的衍射效率  $I_{+1\text{th}}$  由下述式 (2) 表示,且根据 k 值而不同。当 k 值为 1 的时候,理论上的衍射效率  $I_{+1\text{th}}$  的最大值为 1。

[0059] [数 2]

$$[0060] \quad I_{+1\text{th}} = \frac{\sin(\pi(1-k))}{\pi(1-k)} \quad \dots(2)$$

[0061] 因此,如果空间光调制器 30 的光入射面上 k 值不同地分布,那么在空间光调制器 30 的光入射面上的光衍射效率也进行分布。图 3 是表示炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  中的相位调制分布的一个例子的图。在该图中,横轴表示像素位置。如该图所示的例子那样,在越向右 k 值越大的情况下,越向右衍射效率越高。图 4 是表示实际的显示于空间光调制器的炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  中的 k 值与衍射效率的关系的图表。如该图所示, k 值越大衍射效率越高。还有,衍射角不依赖于 k 值。

[0062] 被显示于空间光调制器 30 的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  是重叠了上述那样的炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  和作为相位图案的所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  的相位图案,由下述式 (3) 表示。或者,

被显示于空间光调制器 30 的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  是重叠了上述那样的炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  和作为相位图案的所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  以及失真修正图案  $\phi_{\text{correction}}$  的相位图案, 由下述式 (4) 表示。

[0063] [数 3]

$$[0064] \quad \phi_{\text{result}} = \phi_{\text{grating}} + \phi_{\text{desire}} \quad \dots (3)$$

[0065] [数 4]

$$[0066] \quad \phi_{\text{result}} = \phi_{\text{grating}} + \phi_{\text{desire}} + \phi_{\text{correction}} \quad \dots (4)$$

[0067] 所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  是用于在光束截面上实现所希望的相位分布的图案, 其相位调制范围为  $2\pi$  以下。另外, 失真修正图案  $\phi_{\text{correction}}$  是用于修正光控制装置 1 中的光学系统的相位失真的图案, 一般来说, 相位调制范围为几  $\pi$  左右。光控制装置 1 中的光学系统的相位失真可以存在于棱镜 20 的第 1 反射面 21 和第 2 反射面 22、空间光调制器 30 以及透镜 41, 43。从显示这样的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  的空间光调制器 30 被衍射并被输出的光成为在其光束截面上具有所希望的强度分布以及相位分布的光。

[0068] 以下, 为了简化说明而用下述式 (5) 表示上述式 (3) 以及式 (4)。该式 (5) 中的相位图案  $\phi_{\text{phase}}$  是式 (3) 中的所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$ , 或者是式 (4) 中所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  与失真修正图案  $\phi_{\text{correction}}$  之和。

[0069] [数 5]

$$[0070] \quad \phi_{\text{result}} = \phi_{\text{grating}} + \phi_{\text{phase}} \quad \dots (5)$$

[0071] 特别是在本实施方式中, 根据下述式 (6), 对于相位图案  $\phi_{\text{phase}}$  进行相位折叠, 将该相位折叠后的相位图案  $\phi_{\text{phase}}$  与炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  重叠, 并将其作为显示于空间光调制器 30 的相位图案  $\phi_{\text{result}}$ 。相位折叠后的相位图案  $\phi_{\text{phase}}$  的相位调制范围为  $2\pi$  以下。

[0072] [数 6]

$$[0073] \quad \phi_{\text{phase}} = \text{mod}(\phi_{\text{phase}}, 2\pi) \quad \dots (6)$$

[0074] 在本实施方式中, 显示于空间光调制器 30 的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  的相位调制范围为  $4\pi$  以下。作为包含于该相位图案  $\phi_{\text{result}}$  的炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  的一个例子, 考虑了图 5 以及图 6 所表示的内容。图 5 是表示炫耀光栅图案中的相位调制分布的一个例子的图。在该图中, 横轴表示像素位置。另外, 图 6 是表示炫耀光栅图案中的各个像素的相位调制量的一个例子的图表。在该炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  中,  $k$  值为 0.5,  $N$  值为 8, 邻接的 2 个像素之间的相位调制量的差为  $0.125\pi$ 。在图 5 中, 表示炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  的大致 6 个周期。

[0075] 另外, 作为包含于相位图案  $\phi_{\text{result}}$  中的相位图案  $\phi_{\text{phase}}$  的一个例子, 考虑了图 7 所表示的内容。图 7 是表示相位图案中的相位调制分布的一个例子的图。在该图中, 横轴表示像素位置。该相位图案  $\phi_{\text{phase}}$  对应于必要而进行  $2\pi$  的相位折叠, 从而包含相位调制量为 0 的部分和相位调制量为  $1.25\pi$  的部分。

[0076] 图 8 是表示重叠了炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  (图 5、图 6) 和相位图案  $\phi_{\text{phase}}$  (图 7) 的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  中的相位调制分布的图。在该图中, 横轴表示像素位置。在由该图所表示的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  中, 相位调制范围为  $2\pi$  以上。

[0077] 图 9 是表示对相位图案  $\phi_{\text{result}}$  (图 8) 以  $2\pi$  进行相位折叠之后的相位图案中的相位调制分布的图。在该图中, 横轴表示像素位置。在相位折叠后的相位图案 (图 9) 的相位调制分布中, 对于相位折叠前的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  (图 8) 中相位调制量超过  $2\pi$  的像素从该

相位调制量减去  $2\pi$ ，各个像素中的相位调制量在  $0$  到  $2\pi$  的范围内。

[0078] 在使用相位调制范围为  $4\pi$  的空间光调制器 30 的本实施方式的情况下，在该空间光调制器 30 中显示相位折叠前 ( $4\pi$  以下) 的相位图案 (图 8)。相对于此，在使用相位调制范围为  $2\pi$  的空间光调制器的比较例的情况下，在该空间光调制器中显示相位折叠后的相位图案 (图 9)。

[0079] 相位折叠之前的相位图案 (图 8) 和相位折叠之后的相位图案 (图 9) 在原理上具有彼此同等的效果。但是，在实际的空间光调制器中，在邻接的 2 个像素之间相位调制量的差大的部分，存在称为折叠区域 (flyback region) 的相位不准且没有被正确表示的区域。即，与相位折叠之前的相位图案 (图 8) 相比较，相位折叠之后的相位图案 (图 9) 在图中由于折叠区域存在于由箭头所表示的位置，由此，不能够获得具有所希望的强度分布以及相位分布的光。

[0080] 在相位折叠之后的相位图案 (图 9) 被显示于相位调制范围为  $2\pi$  的空间光调制器的比较例的情况下，在相位折叠之前，在邻接的 2 个像素之间相位调制量的差微小，而在相位折叠之后，该 2 个像素之间的相位调制量的差大致为  $2\pi$ 。如果使这样的相位折叠之后的相位图案显示于现实的空间光调制器，那么在该空间光调制器中在邻接的 2 个像素之间相位调制量的差大的部分，其相位调制量急剧地变化而不会中断，在邻接的 2 个像素之间产生串扰。这样的串扰所存在的部分 (折叠区域) 被认为在以下的情况下会带来特别显著的影响：在邻接的 2 个像素之间存在相位调制量的大致  $2\pi$  的级差而且折叠区域存在于炫耀光栅图案的周期构造内。

[0081] 在显示于空间光调制器的相位图案中的相位调制量变化比较平滑的情况下，折叠区域少，并且折叠区域对从空间光调制器输出的光的光束截面上的强度分布以及相位分布所给予的影响大体上可以忽视。

[0082] 图 10 是表示作为比较例的另一个例子的从空间光调制器输出的光的光束截面上的强度分布的图。这是通过表示将炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$ 、所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  以及失真修正图案  $\phi_{\text{correction}}$  重叠于空间光调制器 30 并以  $2\pi$  进行相位折叠后的图案而获得的结果。在此，空间光调制器使用相位调制量为  $2\pi$  的调制器。另外，所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  是试图使从空间光调制器输出的光的光束截面上的强度分布均匀的相位图案。所试图的光的光束截面上的强度分布应该是图中的黑色区域遍及整个面。但是，实际所获得的光的光束截面上的强度分布与上述所试图的相反，存在强度强的区域 (图中的白色区域)。这是因为在炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  具有较多的折叠区域之后，所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  以及失真修正图案  $\phi_{\text{correction}}$  与其重叠而成的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  具有更多的折叠区域。

[0083] 在比较例中，在输出光的光束截面上实际看到不良状况的部分与在相位图案中相位调制量急剧地变化的地方相一致。在现实的空间光调制器中输出光的品质降低成为无法忽视的问题。如以上所述，在比较例中，由于折叠区域的影响，不能够获得具有所希望的强度分布以及相位分布的光。

[0084] 相对于此，在本实施方式中，将相位调制范围为  $4\pi$  以下的相位图案 (例如图 8) 显示于各个像素中相位调制范围为  $4\pi$  的空间光调制器 30。因此，没有必要进行相位折叠，并且能够获得在光束截面上具有所希望的强度分布以及相位分布的光。

[0085] 接着，对使用本实施方式所涉及的光控制装置 1 而生成拉盖尔-高斯

(Laguerre-Gaussian) 模式光的情况进行说明。拉盖尔 - 高斯模式光在光束截面上具有由矢径指数以及偏角指数所特定的强度分布以及相位分布。以下,对生成矢径指数为 1 且偏角指数为 3 的拉盖尔 - 高斯模式光(以下记为“LG<sub>1,3</sub>光”)的情况进行说明。

[0086] 图 11 是表示 LG<sub>1,3</sub> 光的光束截面上的强度分布的图。以光束截面上的强度分布成为由同图所表示的那样的分布的方式,设定炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$ 。图 12 是表示用于获得 LG<sub>1,3</sub> 光的光束截面上的强度分布(图 11)的炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  的图。另外,图 13 是表示用于获得 LG<sub>1,3</sub> 光的光束截面上的相位分布的所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  的图。在图 12 以及图 13 中分别用浓淡表示各个像素的相位调制量。

[0087] 用于由空间光调制器 30 生成 LG<sub>1,3</sub> 光的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  是重叠了上述的炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  和所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$ ,并进一步重叠了失真修正图案  $\phi_{\text{correction}}$  的相位图案。但是,作为所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  与失真修正图案  $\phi_{\text{correction}}$  之和的相位图案  $\phi_{\text{phase}}$  进行相位折叠,相位调制范围为  $2\pi$  以下。该相位图案  $\phi_{\text{result}}$  被显示于空间光调制器 30。

[0088] 在本实施方式中,由相位调制范围为  $2\pi$  以下的用于光衍射的炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  和相位调制范围为  $2\pi$  以下的具有规定的相位调制分布的相位图案  $\phi_{\text{phase}}$  重叠而成的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  被提示于相位调制范围为  $4\pi$  的空间光调制器 30,所以没有必要对相位图案  $\phi_{\text{result}}$  进行相位折叠,能够获得具有所希望的强度分布以及相位分布的 LG<sub>1,3</sub> 光。相对于此,在比较例中,因为使用相位调制范围为  $2\pi$  的空间光调制器,所以相位折叠后的相位图案被显示于该空间光调制器,因而不能够获得具有所希望的强度分布以及相位分布的 LG<sub>1,3</sub> 光。

[0089] 图 14 是表示由本实施方式生成的 LG<sub>1,3</sub> 光的光束截面上的强度分布的图。另外,图 15 是表示由比较例生成的 LG<sub>1,3</sub> 光的光束截面上的强度分布的图。以对两者进行比较而进行判定的方式,由本实施方式生成的 LG<sub>1,3</sub> 光与由比较例生成的 LG<sub>1,3</sub> 光相比较,具有接近于所希望的分布的强度分布。

[0090] 如上所述由本实施方式所涉及的光控制装置 1 生成的拉盖尔 - 高斯模式光是在光束截面上不仅相位分布而且强度分布也接近于所希望的分布的光,且成为模式纯度高的光。因此,该拉盖尔 - 高斯模式光在光镊 (Optical Tweezers) 和量子运算中能够适宜地利用。

[0091] 接着,对使用本实施方式所涉及的光控制装置 1 的光束整形进行说明。光束整形是将光束截面上的强度分布不均匀的输入光变换成光束截面上的强度分布为所希望的分布的输出光的技术。图 16 是表示光束整形前的强度分布以及光束整形后的强度分布的一个例子的图。实线表示光束整形前的强度分布,虚线表示光束整形后的强度分布。光束整形前的强度分布(实线)越接近于中心强度越强,光束整形后的强度分布(虚线)是均匀的。

[0092] 为了该光束整形而使用的炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  以具有对应于光束截面上的光束整形前的强度分布与光束整形后的强度分布之比的衍射效率分布的方式设定 k 值的分布。另外,显示于空间光调制器 30 的相位图案  $\phi_{\text{result}}$  是将所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  以及失真修正图案  $\phi_{\text{correction}}$  重叠于该炫耀光栅图案  $\phi_{\text{grating}}$  的相位图案。但是,作为所希望相位图案  $\phi_{\text{desire}}$  与失真修正图案  $\phi_{\text{correction}}$  之和的相位图案  $\phi_{\text{phase}}$  进行相位折叠,相位调制范围为  $2\pi$  以下。该相位图案  $\phi_{\text{result}}$  被显示于空间光调制器 30。该相位图案  $\phi_{\text{result}}$  中的相位调

制范围为  $4\pi$  以下。

[0093] 在本实施方式中,相位调制范围为  $2\pi$  以下的用于光衍射的炫耀光栅图案  $\Phi_{\text{grating}}$  和相位调制范围为  $2\pi$  以下的具有规定的相位调制分布的相位图案  $\Phi_{\text{phase}}$  重叠而成的相位图案  $\Phi_{\text{result}}$  因为被显示于相位调制范围为  $4\pi$  的空间光调制器 30,所以对相位图案  $\Phi_{\text{result}}$  没有必要进行相位折叠,能够获得具有所希望的强度分布以及相位分布的光束整形后的光。相对于此,在比较例中,因为使用相位调制范围为  $2\pi$  的空间光调制器,所以在该空间光调制器中显示相位折叠后的相位图案,因而不能够获得具有所希望的强度分布以及相位分布的光束整形后的光。

[0094] 如以上所述,通过由本实施方式所涉及的光控制装置 1 进行光束整形,从而能够将光束截面上的强度分布不均匀的输入光变换成光束截面上的强度分布为所希望的分布的输出光。例如,能够将高斯 (Gaussian) 分布的光束光整形成为称为平顶的均匀分布的光束光。这样的光束整形技术在加工用途和显微镜用的照明等中是有用的。

[0095] 产业上的利用可能性

[0096] 本发明提供了一种在使炫耀光栅图案和具有规定的相位调制分布的相位图案重叠而成的相位图案显示于相位调制型的空间光调制器的技术中能够获得具有所希望的光束截面的光的光控制装置。

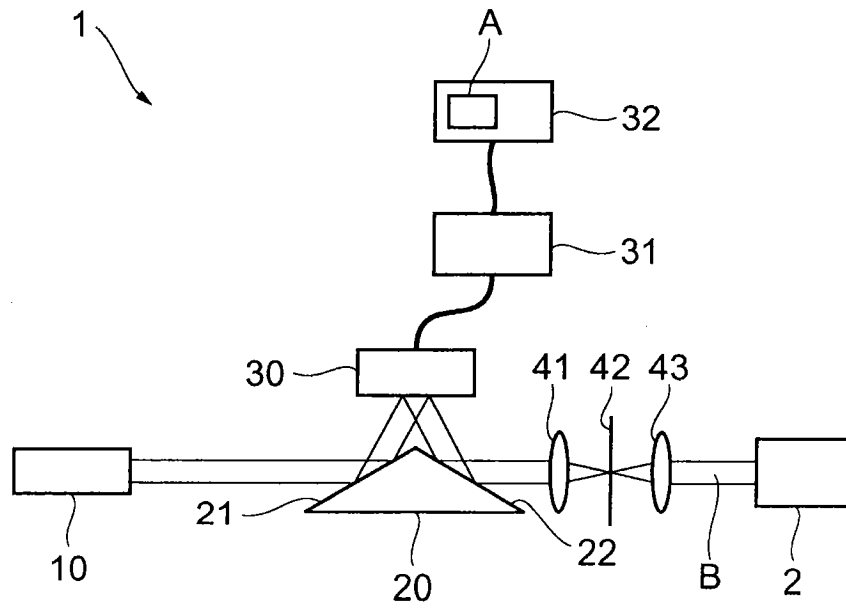


图 1

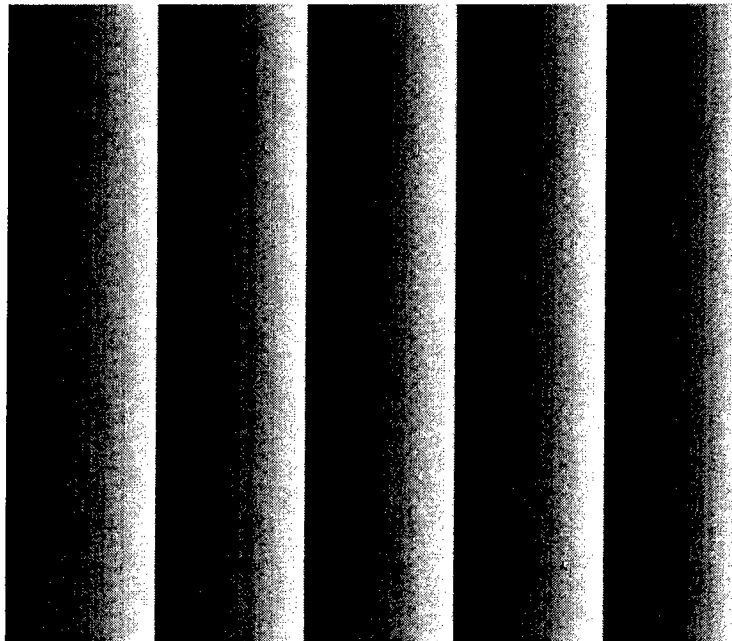


图 2

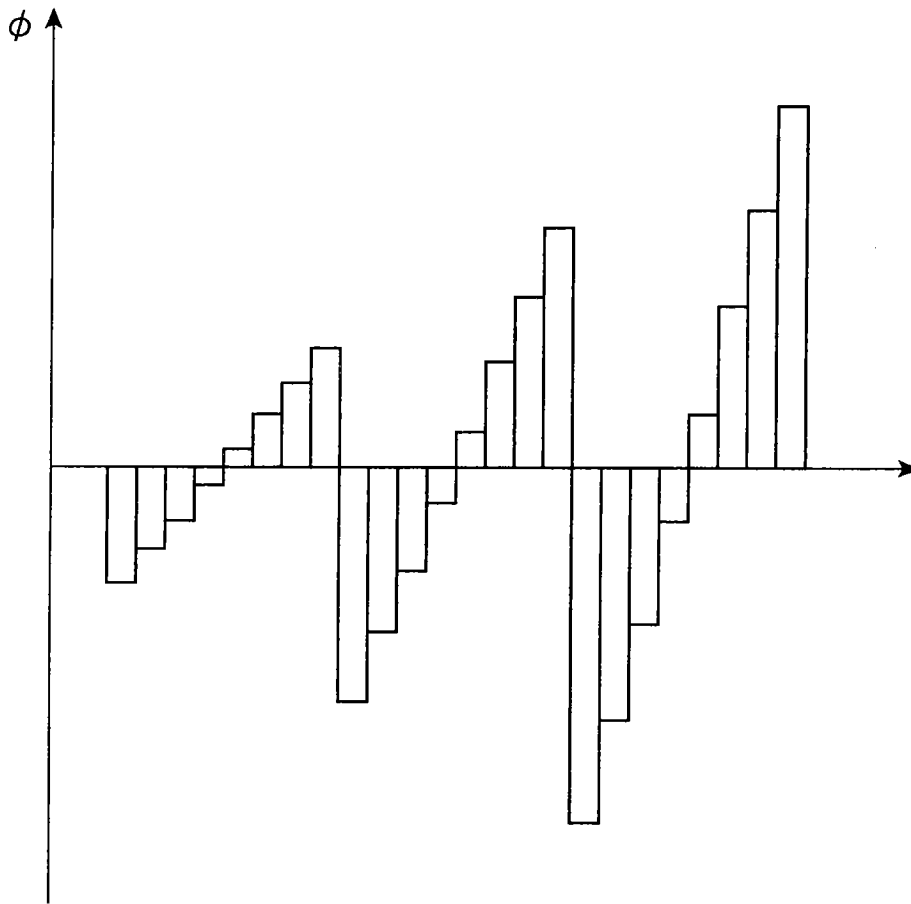


图 3

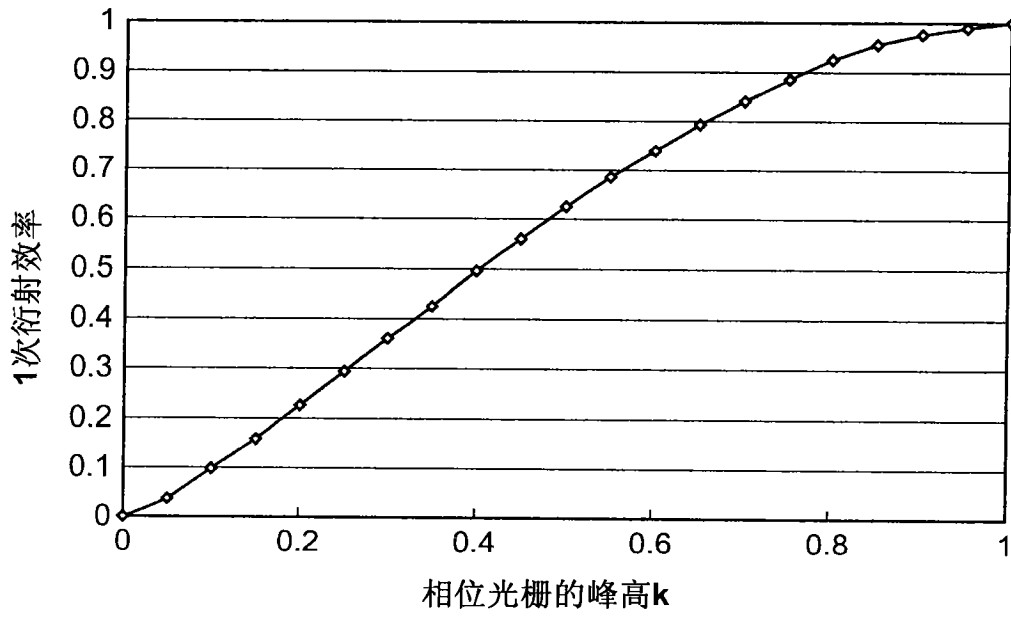


图 4

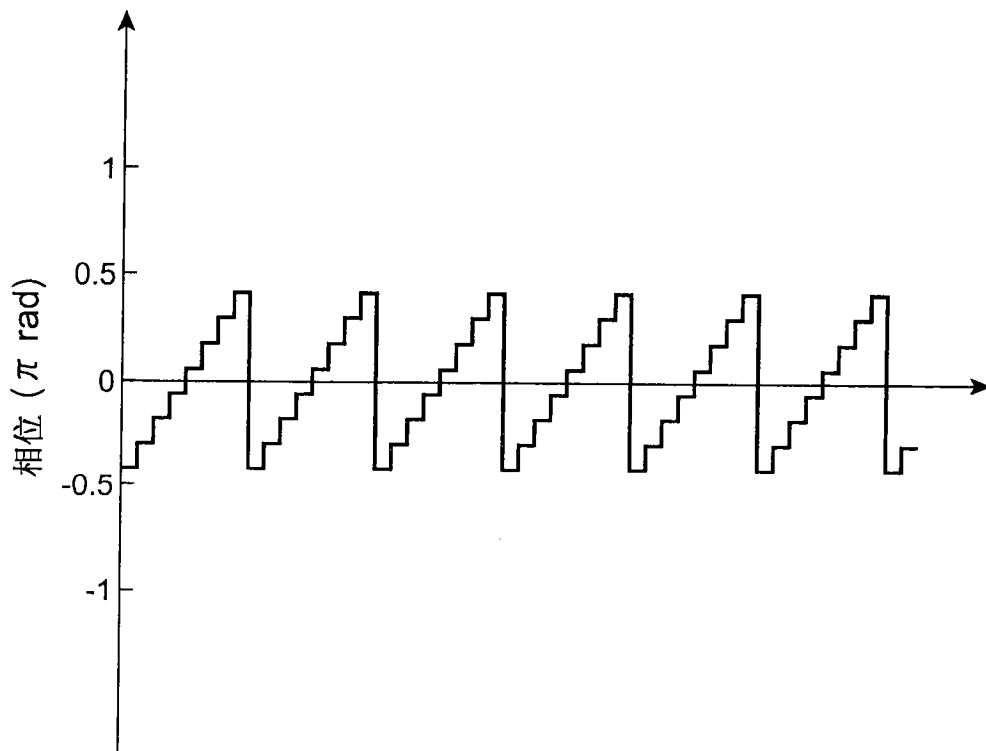


图 5

周期像素序号	相位值 $\times \pi$ (rad)
1	-0.4375
2	-0.3125
3	-0.1875
4	-0.0625
5	0.0625
6	0.1875
7	0.3125
8	0.4375

图 6

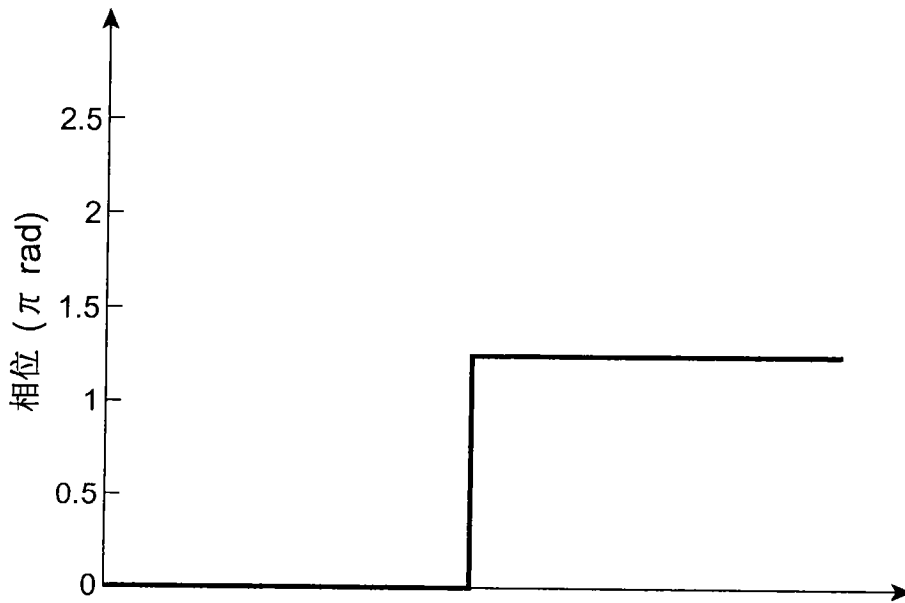


图 7

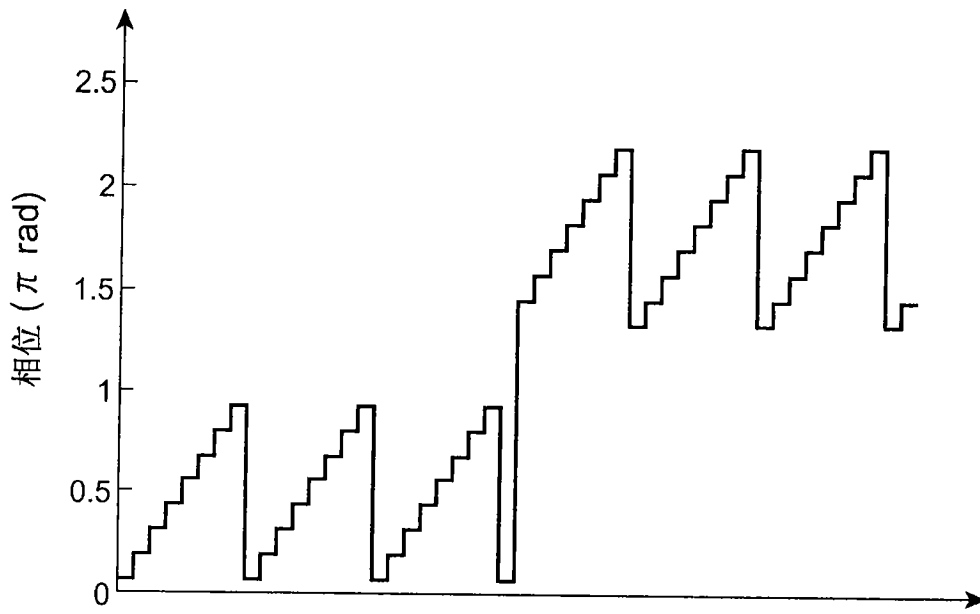


图 8

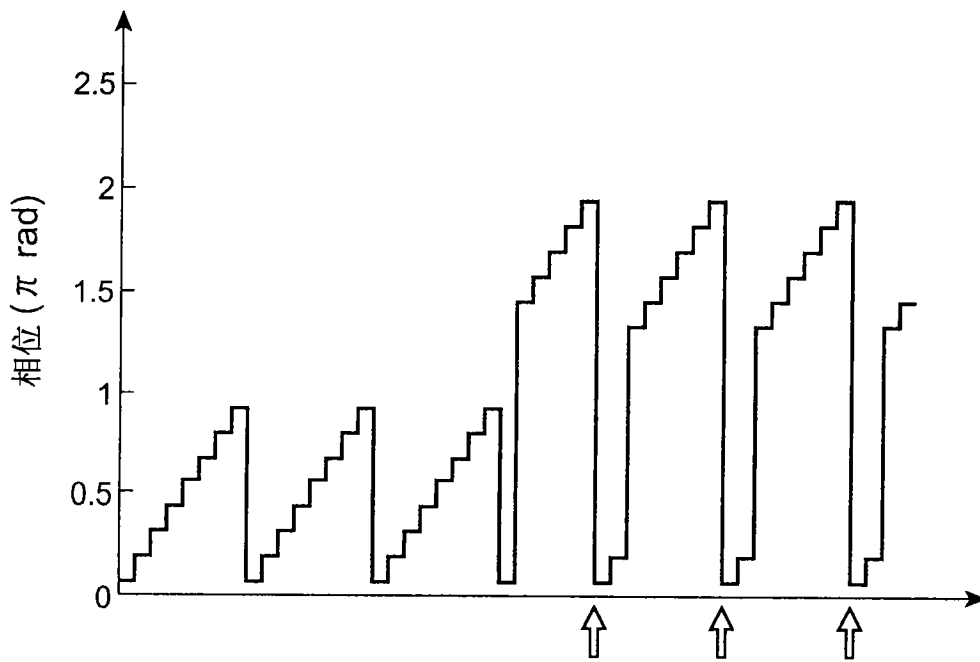


图 9

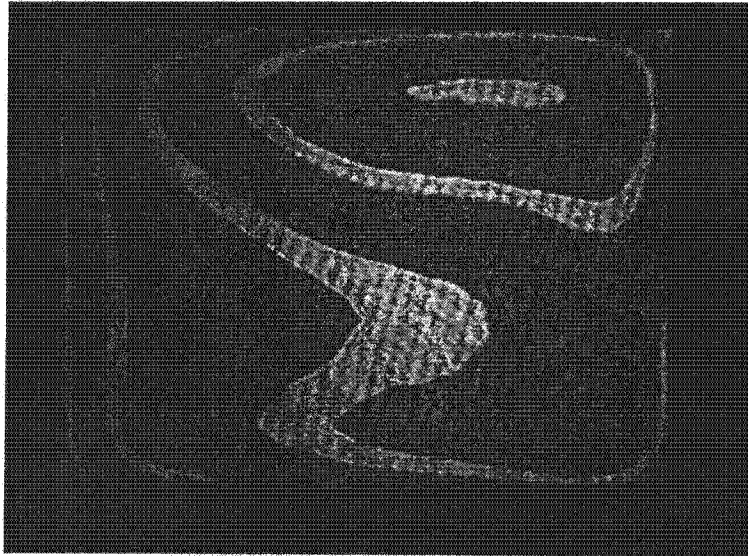


图 10

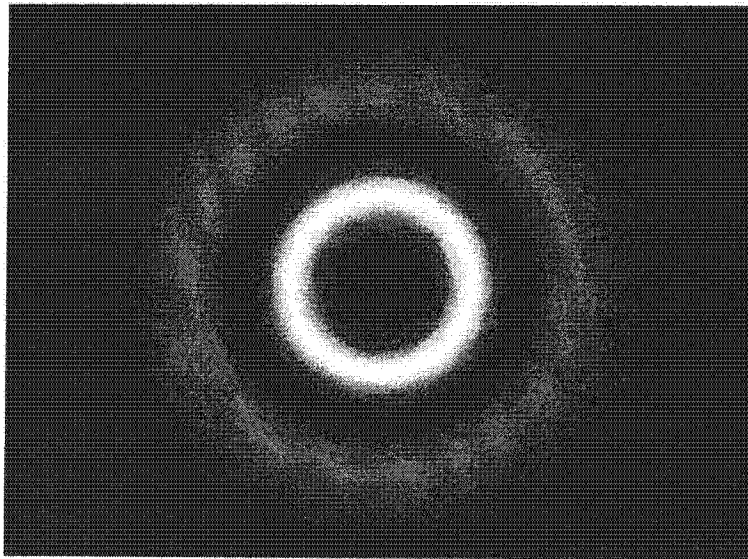


图 11

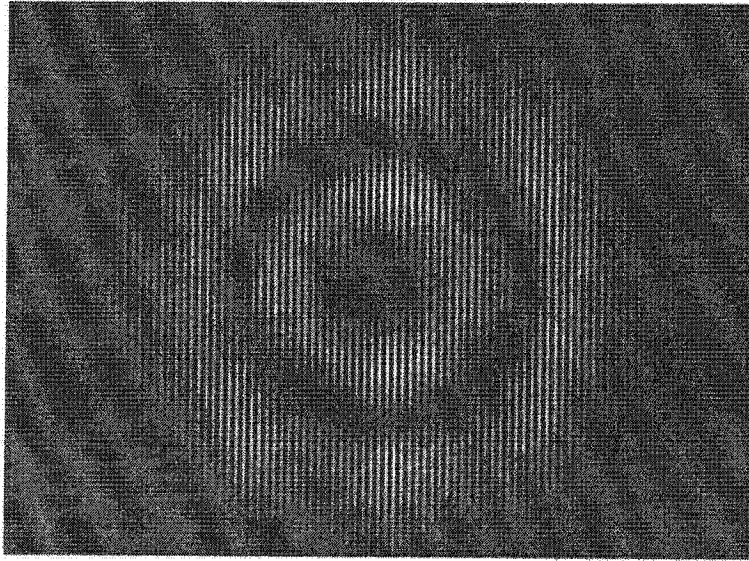


图 12

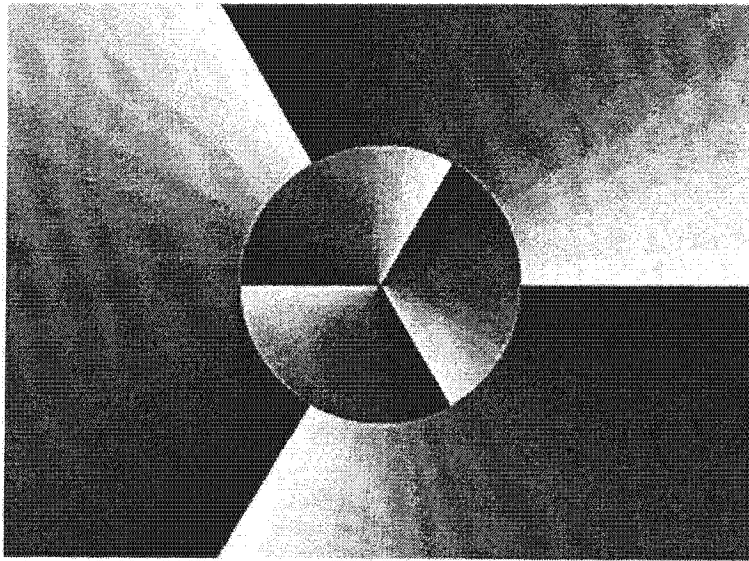


图 13

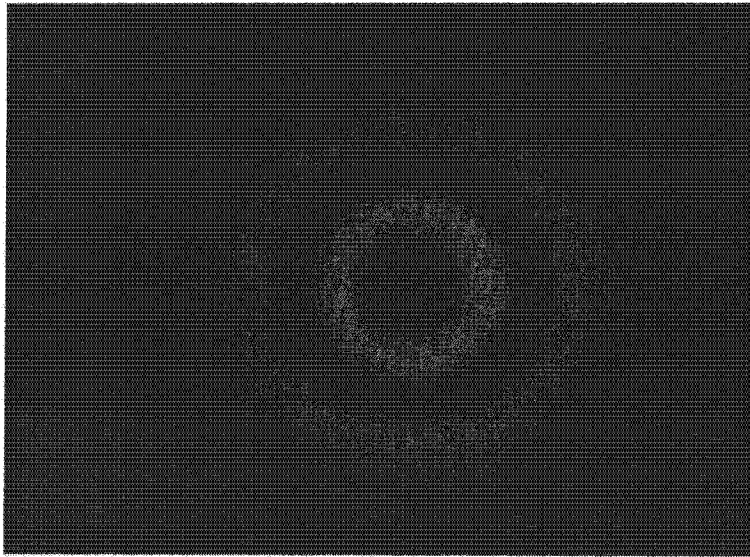


图 14

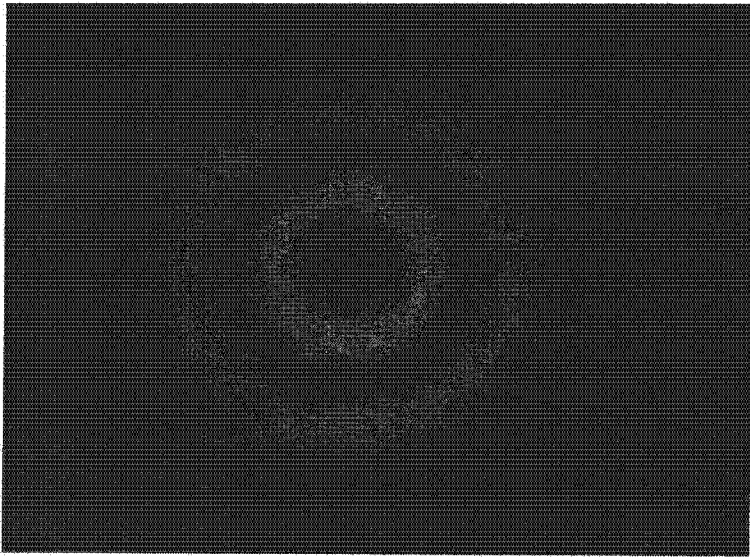


图 15

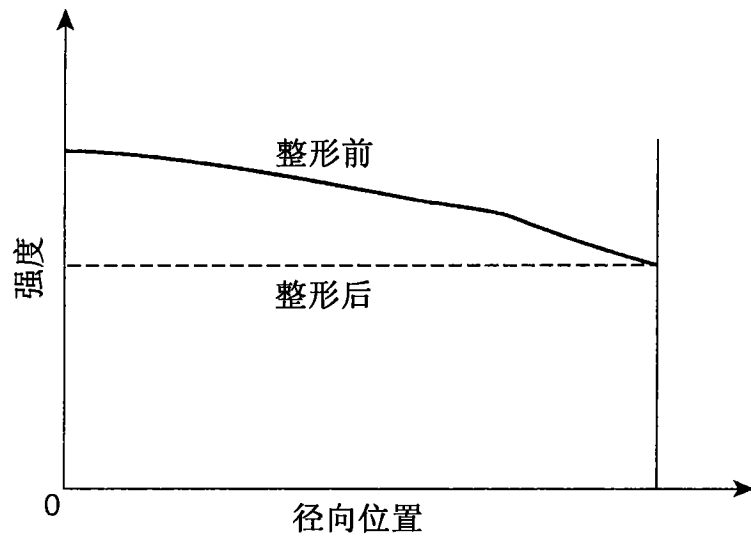


图 16