



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102959451 B

(45) 授权公告日 2015.06.24

(21) 申请号 201180031600.9

G02B 21/06(2006.01)

(22) 申请日 2011.08.18

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

2010-187828 2010.08.25 JP

WO 2009/125778 A1, 2009.10.15, 说明书第 [0021]-[0048] 段.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012.12.25

CN 1375719 A, 2002.10.23, 说明书第 4 页第 2-4 段.

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2011/068647 2011.08.18

JP 特开平 11-95174 A, 1999.04.09, 全文.

CN 1049721 A, 1991.03.06, 全文.

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/026379 JA 2012.03.01

US 2007/0146872 A1, 2007.06.28, 全文.

WO 2009/125778 A1, 2009.10.15, 说明书第 [0021]-[0048] 段.

(73) 专利权人 株式会社尼康

地址 日本东京都

审查员 董向坤

(72) 发明人 向井香织 吉田三环子

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 陈伟 金杨

(51) Int. Cl.

G02B 21/02(2006.01)

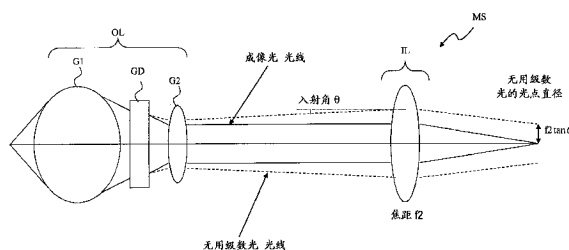
权利要求书2页 说明书24页 附图15页

(54) 发明名称

显微镜光学系统以及显微镜系统

(57) 摘要

提供一种使得衍射光学元件的无用级数的光所产生的耀斑少的显微镜光学系统。显微镜光学系统 (MS) 具有:物镜 (OL), 该物镜具有衍射光学元件 (GD) 并将来自物体的光会聚而成为大致平行光束; 和第二物镜 (IL), 将来自该物镜 (OL) 的大致平行光束会聚而形成物体的像, 在将衍射光学元件 (GD) 的 m 级光用于成像的情况下, 当从位于光轴上的物体射出的最大 NA 的光入射至衍射光学元件并从该衍射光学元件射出的 m±1 级光入射至第二物镜 (IL) 中的角度为 θ, 向该第二物镜 (IL) 的入射光瞳的直径作为 D (mm) 时, 满足下式的条件: (数式 12) |θ| > tan<sup>-1</sup>(0.06/D)。



1. 一种显微镜光学系统,其特征在于,具有:

第一物镜,该第一物镜具有衍射光学元件,并将来自物体的光会聚而成为大致平行光束;和

第二物镜,该第二物镜将来自所述第一物镜的大致平行光束会聚而形成所述物体的像,

在将所述衍射光学元件的  $m$  级光用于成像的情况下,当从位于光轴上的所述物体射出的最大 NA 的光入射至所述衍射光学元件并从该衍射光学元件射出的、级数与所述  $m$  级光不同的光入射至所述第二物镜中的角度为  $\theta$ ,所述第二物镜的入射光瞳的直径为  $D$  时,满足下式的条件:

( 数式 10 )

$$|\theta| > \tan^{-1}(0.06/D)$$

其中,所述  $D$  的单位为 mm。

2. 根据权利要求 1 所述的显微镜光学系统,其特征在于,

所述衍射光学元件是紧密贴合多层型衍射光学元件。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的显微镜光学系统,其特征在于,

所述衍射光学元件在具有不同折射率的树脂层彼此的接合面上形成有衍射格栅图案,所述树脂层分别配置在平面基板上。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的显微镜光学系统,其特征在于,

由构成所述第一物镜的透镜中的与所述衍射光学元件相比位于像侧的透镜组成的透镜组具有负折射力。

5. 一种显微镜光学系统,其特征在于,具有:

第一物镜,该第一物镜具有衍射光学元件,并将来自物体的光会聚而成为大致平行光束;和

第二物镜,该第二物镜将来自所述第一物镜的大致平行光束会聚而形成所述物体的像,

当从位于光轴上的所述物体射出的最大 NA 的光入射至所述衍射光学元件并从该衍射光学元件射出的衍射光中的、用于成像的级数的光的射出角度与无用级数的光的射出角度之差为  $\delta\theta$ ,用于所述成像的级数的光的出射高度为  $h$ ,出射角度为  $\theta_{doe}$ ,所述第二物镜的入射光瞳的直径为  $D$ ,由构成所述第一物镜的透镜中的与所述衍射光学元件相比位于像侧的透镜组成的透镜组的焦距为  $f_1$  时,满足下式的条件:

( 数式 11 )

$$|\delta\theta| > \left| \frac{0.054 f_1}{h_{doe} D} \cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe}) \right|$$

其中,所述  $D$  的单位为 mm。

6. 根据权利要求 5 所述的显微镜光学系统,其特征在于,

所述衍射光学元件是紧密贴合多层型衍射光学元件。

7. 根据权利要求 5 或 6 所述的显微镜光学系统,其特征在于,

所述衍射光学元件在具有不同折射率的树脂层彼此的接合面上形成有衍射格栅图案,

所述树脂层分别配置在平面基板上。

8. 根据权利要求 5 或 6 所述的显微镜光学系统,其特征在於,

由构成所述第一物镜的透镜中的与所述衍射光学元件相比位于像侧的透镜组成的透镜组具有负折射力。

9. 一种显微镜系统,其特征在於,具有:

载置物体的载物台;

对所述物体进行照明的照明光学系统;和

将来自所述物体的光会聚而形成该物体的像的、权利要求 1 ~ 8 中任一项所述的显微镜光学系统。

## 显微镜光学系统以及显微镜系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及显微镜光学系统、以及使用该显微镜光学系统的显微镜系统。

### 背景技术

[0002] 若在显微镜光学系统中使用衍射光学元件,则与现有技术相比,在色像差修正等方面具有优势,使光学性能提高,且能够设计低成本的显微镜物镜。但是,在将这种衍射光学元件使用在显微镜光学系统中时,不仅是用来成像的级数的光从显微镜物镜中透过,而且其他级数的光(以下,称为“无用级数的光”)也从显微镜物镜中透过,因此会产生耀斑。为了使这种衍射光学元件中的由无用级数的光导致的耀斑变得不明显,公知只要使像面中的无用级数的光的光斑变大即可(例如,参照专利文献1)。

[0003] 在先技术文献

[0004] 专利文献1:日本特开平11-125709号公报

[0005] 但是,当在显微镜光学系统的物镜中使用衍射光学元件的情况下,存在如下课题:若不进行考虑了该显微镜光学系统的特征的设计,则无法有效抑制由衍射光学元件的无用级数的光导致的耀斑。

### 发明内容

[0006] 本发明是鉴于这样的课题而做出的,其目的在于提供一种使得由衍射光学元件的无用级数的光导致的耀斑少的显微镜光学系统、以及使用该显微镜光学系统的显微镜系统。

[0007] 为了解决上述课题,本发明的第一显微镜光学系统的特征在于,具有:物镜,该物镜具有衍射光学元件,并将来自物体的光会聚而成为大致平行光束;和第二物镜,该第二物镜将来自该物镜的大致平行光束会聚而形成物体的像,在将衍射光学元件的m级光用于成像的情况下,当从位于光轴上的物体射出的最大NA的光入射至衍射光学元件并从该衍射光学元件射出的、级数与m级光不同的光入射至第二物镜中的角度为 $\theta$ ,向第二物镜的入射光瞳的直径为D(mm)时,满足下式的条件:

[0008] (数式1)

[0009]  $|\theta| > \tan^{-1}(0.06/D)$ 。

[0010] 此外,本发明的第二显微镜光学系统的特征在于,具有:物镜,该物镜具有衍射光学元件,并将来自物体的光会聚而成为大致平行光束;和第二物镜,该第二物镜将来自该物镜的大致平行光束会聚而形成物体的像,当从位于光轴上的物体射出的最大NA的光入射至衍射光学元件并从该衍射光学元件射出的衍射光中的、用于成像的级数的光的射出角度与无用级数的光的射出角度之差为 $\delta\theta$ ,用于成像的级数的光的出射高度为h,出射角度为 $\theta_{\text{doe}}$ ,向第二物镜的入射光瞳的直径作为D(mm),由构成物镜的透镜中的与衍射光学元件相比位于像侧的透镜组成的透镜组的焦距为f1时,满足下式的条件:

[0011] (数式2)

$$[0012] \quad |\delta\theta| > \left| \frac{0.054 f_1}{h_{doe} D} \cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe}) \right|。$$

[0013] 此外,在这样的显微镜光学系统中,优选衍射光学元件是紧密贴合多层型衍射光学元件。

[0014] 此外,在这样的显微镜光学系统中,优选衍射光学元件在具有不同折射率的树脂层彼此的接合面上形成有衍射格栅图案,树脂层分别配置在平面基板上。

[0015] 此外,在这样的显微镜光学系统中,优选由构成物镜的透镜中的与衍射光学元件相比位于像侧的透镜组成的透镜组具有负折射力。

[0016] 此外,本发明的显微镜系统的特征在于,具有:载置物体的载物台;对该物体进行照明的照明光学系统;和将来自物体的光会聚而形成该物体的像的上述任一显微镜光学系统。

[0017] 发明的效果

[0018] 通过以上那样构成本发明,能够提供一种使得由衍射光学元件的无用级数的光导致的耀斑少的显微镜光学系统以及显微镜系统。

## 附图说明

[0019] 图 1 是用于说明显微镜光学系统的构成的说明图。

[0020] 图 2 是表示构成物镜的衍射光学元件及第二透镜组与第二物镜的关系的说明图。

[0021] 图 3 是用于说明显微镜系统的构成的说明图。

[0022] 图 4 是表示第一实施例的显微镜光学系统的构成的透镜构成图,(a)表示整体,(b)表示物镜,(c)表示第二物镜以及棱镜。

[0023] 图 5 是第一实施例的显微镜光学系统的光斑图,(a)表示 0 级光,(b)表示 2 级光。

[0024] 图 6 是表示第二实施例的显微镜光学系统的构成的透镜构成图,(a)表示整体,(b)表示物镜,(c)表示第二物镜以及棱镜。

[0025] 图 7 是第二实施例的显微镜光学系统的光斑图,(a)表示 0 级光,(b)表示 2 级光。

[0026] 图 8 是表示第三实施例的显微镜光学系统的构成的透镜构成图,(a)表示整体,(b)表示物镜,(c)表示第二物镜以及棱镜。

[0027] 图 9 是第三实施例的显微镜光学系统的光斑图,(a)表示 0 级光,(b)表示 2 级光。

[0028] 图 10 是表示第四实施例的显微镜光学系统的构成的透镜构成图,(a)表示整体,(b)表示物镜,(c)表示第二物镜以及棱镜。

[0029] 图 11 是第四实施例的显微镜光学系统的光斑图,(a)表示 0 级光,(b)表示 2 级光。

[0030] 图 12 是表示第五实施例的显微镜光学系统的构成的透镜构成图,(a)表示整体,(b)表示物镜,(c)表示第二物镜以及棱镜。

[0031] 图 13 是第五实施例的显微镜光学系统的光斑图,(a)表示 0 级光,(b)表示 2 级光。

[0032] 图 14 是表示第六实施例的显微镜光学系统的构成的透镜构成图,(a)表示整体,(b)表示物镜,(c)表示第二物镜以及棱镜。

[0033] 图 15 是第六实施例的显微镜光学系统的光斑图,(a)表示 0 级光,(b)表示 2 级

光。

### 具体实施方式

[0034] 在显微镜光学系统中,具有因暗视野照明的使用而易于使耀斑明显的问题。另一方面,由于是包含照明系统在内的光学系统,所以非常明亮的光源并不位于视野内,不会成为耀斑源。但是,当在该显微镜光学系统中使用衍射光学元件的情况下,在通常的基于多重反射而产生的耀斑之外,衍射光学元件的无用级数的光成为问题。这种由无用级数的光导致的耀斑由该级数的衍射效率来决定耀斑光量,并由在成像面上的光斑的大小来决定照度。因此,在使用了衍射光学元件的显微镜光学系统中,需要提高用来成像的使用级数的光的衍射效率,并使由无用级数的光导致的耀斑变大。

[0035] 通常,在显微镜光学系统中,通过无限远光学系统的物镜使来自物体的光束成为大致平行光束,并通过第二物镜成像。若在该第二物镜的成像位置上配置 CCD 摄像机则能够取得图像,若配置目镜则能够目视观察,从而能够进行图像取得和目视观察的切换。在这样的显微镜光学系统中,对于较暗物体的观察,适合利用能够将摄像时间调整得较长的 CCD 摄像机,但是却容易使耀斑成为问题。此外,由于显微镜光学系统为放大系统,所以即使物体高度小且该物体高度不同,物镜中的光路的差也较小。因此,在考虑由衍射光学元件导致的耀斑的情况下,仅考虑轴上物体光也没有问题。

[0036] 以下,参照附图说明本发明的优选实施方式。首先,基于图 1 所示的显微镜光学系统 MS 来进行说明。该显微镜光学系统 MS 构成为具有:物镜 OL,使来自物体的光会聚而成为大致平行光束;和第二物镜 IL,使该大致平行光束会聚而形成物体的像。另外,物镜 OL 构成为,在使来自物体的光会聚而成为会聚光束之后,使该会聚光线成为大致平行光线,在使来自物体的光成为会聚光线的位置上配置有衍射光学元件 GD。由此,在以后的说明中,将由与衍射光学元件 GD 相比位于物体侧的透镜构成的透镜组称为第一透镜组 G1,将由与衍射光学元件 GD 相比位于像侧的透镜构成的透镜组称为第二透镜组 G2。

[0037] 衍射光学元件 GD(衍射光学面)具有负色散值(在后述的实施例中,色散系数(阿贝数) $= -3.453$ ),由于色散大,且异常色散性(在后述的实施例中,部分色散比 $(n_g - n_F) / (n_F - n_C) = 0.2956$ )强,所以具有强大的色像差修正能力。光学玻璃的色散系数通常为 30~80 左右,但是如上述那样,衍射光学元件的色散系数是负值。换言之,衍射光学元件 GD 的衍射光学面的分散特性与通常的玻璃(折射光学元件)相反,具有随着光的波长变短而折射力变小、波长越长的光折曲得越大的性质。由此,通过与通常的折射光学元件组合,能够得到大的消色效果。因此,通过利用衍射光学元件 GD,能够实现用通常的光学玻璃得不到的良好的色像差修正。

[0038] 如图 1 所示可知,为了使通过衍射光学元件 GD 产生的无用级数的光在成像面上的光斑变大,只要使向第二物镜 IL 的入射角  $\theta$  变大即可。因为物镜 OL 与第二物镜 IL 之间是大致平行系统,所以,在从轴上物体发出的光的情况下,相对于第二物镜 IL 的入射角大致为  $0^\circ$ 。另外,由于该显微镜光学系统 MS 的像侧开口数(NA)越大,所成的像就越明亮,所以耀斑变得不明显。

[0039] 在该图 1 所示的显微镜光学系统 MS 中,当由从轴上物体放射的光中最大 NA 的光线通过衍射光学元件 GD 所产生的无用级数的光的、相对于第二物镜 IL 的入射角为  $\theta$ ,第二

物镜 IL 的焦距为  $f_2$  时,用  $f_2 \tan \theta$  表示由该无用级数的光在像面上形成的光斑的距光轴的高度。作为发明人的试验结果,可知:在像侧 NA 为 0.015 的情况下,在显微镜具有通常所要求的分辨率的光学系统中,若来自物体的光会聚,则只要使像面上的基于无用级数的光而产生的光斑增大至半径为 2.0mm 左右,耀斑就不会明显。由此可知,只要使由最大 NA 的光线产生的无用级数的光的、向第二物镜 IL 的入射角  $\theta$  满足如下式子 (a) 即可。

[0040] (数式 3)

$$[0041] \quad |\theta| > \tan^{-1}(2.0 \times 0.015 / (f_2 \times NA)) \quad (a)$$

[0042] 在此,式子 (a) 中的 NA 为像侧的 NA。

[0043] 另外,若该式子 (a) 用向第二物镜 IL 的入射光瞳的直径  $D$  (mm) ( $D = 2 \times f_2 \times NA$ ) 来表示,则表现为如下的式子 (1)。即,只要使无用级数的光以该式子 (1) 所示的入射角  $\theta$  向第二物镜 IL 入射,在 NA = 0.015 的情况下,其光斑的半径就会成为 2.0mm 以上,就能够使耀斑变得不明显。此外,无用级数的光是指,从衍射光学元件 GD 射出的衍射光中的、该显微镜光学系统 MS 中用于物体成像的级数以外的级数的光。由此,若将用在成像中的衍射光作为  $m$  级光,则无用级数的光能够表示为  $m-1$  级光、或者  $m+1$  级光。另外,与  $m$  级光相比级数的差大的  $m-2$  级光或者  $m+2$  级光,其光路与  $m-1$  级光或者  $m+1$  级光相比更大地不同,由此,具有与  $m-1$  级光或者  $m+1$  级光相比更大的光斑直径。由此,在本发明中,对作为离  $m$  级光最近的衍射光的  $m-1$  级光以及  $m+1$  级光进行说明,与  $m$  级光的差更大的衍射光所形成的像会成为更大的光斑是显而易见的,所以省略了具体的说明。

[0044] (数式 4)

$$[0045] \quad |\theta| > \tan^{-1}(0.06/D) \quad (1)$$

[0046] 如图 2 所示,当由与衍射光学元件 GD 相比位于像侧的透镜构成的透镜组(第二透镜组 G2)的焦距为  $f_1$ ,从轴上物体射出的最大 NA 的光线入射至衍射光学元件 GD 并从该衍射光学元件 GD 射出的衍射光中的、用于成像的级数的光的射出角度为  $\theta_{doe}$ ,该最大 NA 的光线从衍射光学元件 GD 射出的高度为  $h_{doe}$  时,从该衍射光学元件 GD 射出的光束在仅离开  $h_{doe}/\tan(\theta_{doe})$  的点(图 2 所示的 A 点)上具有焦点,而且,因为物镜 OL 与第二物镜 IL 之间为平行系统,所以 A 点成为第二透镜组 G2 的焦点位置。

[0047] 在显微镜光学系统 MS 中,与衍射光学元件 GD 相比位于像侧的透镜组(第二透镜组 G2)具有负折射力的情况较多,在该情况下,A 点对于具有焦距  $f_1$  的透镜组(第二透镜组 G2)来说是虚像位置。此时,基于无用级数的光而产生的光线(如图 2 所示,与成像光线具有角度  $\delta\theta$  的不同)的在 A 点处的光线高度  $h'$ ,通过如下式子 (b) 来表示。

[0048] (数式 5)

$$[0049] \quad h' = (\tan(\theta_{doe} \pm \delta\theta) - \tan(\theta_{doe})) \times \frac{h_{doe}}{\tan(\theta_{doe})}$$

$$[0050] \quad \approx \frac{\pm \delta\theta h_{doe}}{\cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe})} \quad (b)$$

[0051] 另外,在构成物镜 OL 的透镜组中,从由与衍射光学元件 GD 相比配置在像侧的透镜构成的透镜组(第二透镜组 G2)射出的无用级数的光的光线的射出角、即相对于第二物镜 IL 的入射角  $\theta$ ,用如下式子 (c) 来表示。

[0052] (数式 6)

$$[0053] \quad \theta = \tan^{-1} \left( \frac{\pm \delta \theta}{\cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe})} \frac{h_{doe}}{f1} \right) \quad (c)$$

[0054] 基于以上情况,当将用式子 (c) 表示的  $\theta$  代入式子 (1) 中时,成为如下的式子 (2) 所示的那样,由此可知,在像侧 NA 为 0.015 的显微镜光学系统 1 中,为了使像面上的基于无用级数的光而产生的光斑增大至半径为 2mm 左右,只要满足该式子 (2) 即可。

[0055] (数式 7)

$$[0056] \quad |\delta \theta| > \left| \frac{0.06 f1}{h_{doe} D} \cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe}) \right| \quad (2)$$

[0057] 但是,基于第二透镜组 G2 的成像完全没有被进行像差修正。由此,在基于从近轴的关系式导出的式子 (b) 和式子 (c) 的表示、与实际的光线追踪结果之间产生偏差。向第二物镜 IL 的入射角一般具有变得比式子 (c) 大的倾向,进行 10% 左右的修正时,式子 (1) 与式子 (2) 之间的整合性变好。由此,优选将上述式子 (2) 修正为下面的式子 (2')。

[0058] (数式 8)

$$[0059] \quad |\delta \theta| > \left| \frac{0.054 f1}{h_{doe} D} \cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe}) \right| \quad (2')$$

[0060] 此外,当来自处于物体侧的一点的光束在成像面上会聚为一点的情况下,此时的成像面上的每单位面积的光量与光斑面积成反比,因此,与 m 级光不同的衍射级数的光的亮度与成像面上的光斑面积成反比。也就是说,与 m 级光不同的衍射级数的光的亮度与成像面上的光斑直径的平方成反比的方式变暗。因此,通过衍射光学元件 GD 产生的耀斑自身在成像面上变暗。

[0061] 若将衍射光学元件 GD 配置在物镜 OL 的离物体近的位置上,则就是配置在通过该物镜 OL 的光束扩散的位置上,因此,易于使向衍射光学元件 GD 的入射角变大,在衍射效率上不利。另外,若将衍射光学元件 GD 配置在物镜 OL 的中间部的、使光束接近大致平行的位置上,则由于光束扩散所以易于产生高阶的像差,从而不优选。由此优选为,如上述那样,以使与衍射光学元件 GD 相比位于像侧的透镜组 (第二透镜组 G2) 的折射力为负的方式构成物镜 OL,由此将衍射光学元件 GD 配置在该第二透镜组 G2 的物体侧的、通过物镜 OL 的光束所会聚的位置上。

[0062] 在这种显微镜光学系统 MS 中,因为整体的耀斑的光量由衍射光学元件 GD 的衍射效率决定,所以提高衍射效率很重要。作为使衍射光学元件 GD 的衍射效率降低的要因,能够例举下面的三点。即,第一:通过衍射光学元件 GD 的衍射光学面的光的波长与闪耀波长不同时;第二:向衍射光学元件 GD 的衍射光学面的入射角与闪耀条件不同时;第三点:衍射光学元件 GD 的衍射光学面的形状从闪耀形状偏离时。虽然第三要因是衍射光学元件的制造上的形状误差的问题,但第一以及第二要因是为了确保一定的波长区域和视野而必然会产生问题。在该情况下,通过使衍射光学元件 GD 为紧密贴合多层型衍射光学元件而能够解决上述问题。

[0063] 紧密贴合多层型衍射光学元件使用大体满足如下式子 (d) 的不同的两种光学材料,并在该两种光学材料的接合面上设置衍射格栅图案而构成衍射光学面。此外,使两种光学材料中的一方的光学材料的介质的相对于 d 线、F 线以及 C 线的折射率分别为  $n_{1d}$ 、 $n_{1F}$ 、 $n_{1C}$ ,使另一方的光学材料的介质的相对于 d 线、F 线以及 C 线的折射率分别为  $n_{2d}$ 、 $n_{2F}$ 、 $n_{2C}$ 。



[0064] (数式 9)

$$[0065] \quad \frac{\Delta n_d}{\Delta(n_F - n_C)} = \frac{\lambda_d}{\lambda_F - \lambda_C} \quad (d)$$

[0066] ここで、

$$[0067] \quad \Delta n_d = n_{1d} - n_{2d}$$

$$[0068] \quad \Delta(n_F - n_C) = (n_{1F} - n_{1C}) - (n_{2F} - n_{2C})$$

[0069] 该紧密贴合多层型衍射光学元件能够在从 g 线包含 C 线的宽波长区域中使衍射效率提高。由此,在本实施方式的显微镜光学系统 MS 中使用的物镜 OL 能够在宽波长区域中利用。此外,当在透过型的衍射光学元件中利用一次衍射光的情况下,衍射效率表示入射强度 I<sub>0</sub> 与一次衍射光的强度 I<sub>1</sub> 的比例 η (= I<sub>1</sub>/I<sub>0</sub> × 100 (%))。另外,与将形成有衍射格栅图案的两个衍射元件要素以使该衍射格栅图案彼此相对的方式接近配置的、所谓的分离多层型衍射光学元件相比,紧密贴合多层型衍射光学元件的制造工序能够简化,因此具有量产效率高、且对光线的入射角的衍射效率好的优点。因此,在利用了紧密贴合多层型衍射光学元件 GD 的本实施方式的物镜 OL 中,使制造变得容易,而且还使衍射效率变好。

[0070] 另外,该紧密贴合多层型衍射光学元件 GD 的衍射格栅的衍射格栅图案形成在配置于平面基板上的衍射光学要素的接合面上。即使这样地将衍射元件要素配置在平面基板上形成衍射格栅图案,与形成在球面等上的情况相比,衍射格栅图案的形成也变得非常容易,易于得到正确的衍射格栅图案。

[0071] 上述那样的本实施方式的显微镜光学系统 MS 被用于图 3 所示的显微镜系统 1 中。在图 3 中,显微镜系统 1 是对包含试样 S 的显微镜标本 2 进行观察的系统,包括由第一光源装置 6、第二光源装置 7、物镜 8(OL)、第二物镜 9(IL) 组成的显微镜光学系统 MS、将通过该显微镜光学系统 MS 所成的像发出的光束向使用者的眼球引导的目镜光学系统 11、和能够一边支承显微镜标本 2 一边移动的载物台 10。通过将载物台 10 在物镜 8 的光轴方向上移动而能够进行对焦动作。当然,也可以为,另外设置焦点检测机构,基于来自该焦点检测机构的输出而控制载物台 10 的移动量。另外,该显微镜系统 1 具有主体 15。第一光源装置 6、第二光源装置 7、物镜 8、第二物镜 9 以及载物台 10 分别支承在该主体 15 上。

[0072] 此外,该显微镜系统 1 具有:使用从第一光源装置 6 射出的光来对显微镜标本 2 进行照明的第一照明光学系统(透过照明光学系统)17;和使用从第二光源装置 7 射出的光来对显微镜标本 2 进行照明的第二照明光学系统(落射照明光学系统)18。在此,关于从第二光源装置 7 射出的光连同物镜 8 都是第二照明光学系统 18 的一部分,通过光路合成部件 16 将来自第二光源装置 7 的光向物镜 8 引导。该光路合成部件 16 可以采用使与物镜 8 的光轴及其附近对应的部分为透明而在外周部分上形成有反射膜的反射镜,也可以采用半反射镜。在前者的情况下,能够进行暗视野观察。在后者的情况下,能够通过落射照明而进行亮视野观察。

[0073] 另外,也可以在由物镜 8 及第二物镜 9 所成的像的位置上搭载摄像机构。当然,也可以通过未图示的光路划分机构将来自物镜 8 的光束划分,并另外设置第二物镜,在由该第二物镜形成像的位置上搭载摄像机构。另外,该显微镜系统 1 可以为正立显微镜、也可以为倒立显微镜。而且,第一光源装置 6 与第二光源装置 7 可以是任意的。

[0074] 实施例

[0075] 以下,示出本实施方式的显微镜光学系统 MS 的六个实施例,但在各实施例中,在衍射光学元件 GD 上形成的衍射光学面的相位差通过使用通常的折射率和后述的非球面式 (d) 进行的超高折射率法来计算。所谓超高折射率法是指利用了非球面形状与衍射光学面的格栅间距之间的一定的等效关系的方法,在本实施例中,将衍射光学面作为超高折射率法的数据,即通过后述的非球面式 (d) 及其系数示出。另外,在本实施例中,作为像差特性的计算对象,选择了 d 线、C 线、F 线以及 g 线。在本实施例中使用的这些 d 线、C 线、F 线以及 g 线的波长和对各光谱线设定的用于在超高折射率法的计算中使用的折射率的值,在下表 1 中示出。

[0076] (表 1)

[0077]

	波长	折射率 (基于超高折射率法)
d 线	587.562nm	10001.0000
C 线	656.273nm	11170.4255
F 线	486.133nm	8274.7311
g 线	435.835nm	7418.6853

[0078] 在各实施例中,关于非球面,在使与光轴垂直方向的高度为  $y$ ,使从高度  $y$  中的各非球面的顶点的切平面到各非球面的、沿光轴的距离 (sag 量;下陷量) 为  $S(y)$ ,使基准球面的曲率半径 (顶点曲率半径) 为  $r$ ,使圆锥常数为  $\kappa$ ,使  $n$  阶的非球面系数为  $A_n$  时,非球面用下式 (d) 表示。此外,在以下的实施例中,“E-n”表示“ $\times 10^{-n}$ ”。

$$[0079] \quad S(y) = (y^2/r) / \{1 + (1 - \kappa \times y^2/r^2)^{1/2}\}$$

$$[0080] \quad +A_2 \times y^2 + A_4 \times y^4 + A_6 \times y^6 + A_8 \times y^8 \quad (d)$$

[0081] 此外,在各实施例中,对于形成有衍射光学面的透镜面,在表中的面编号的右侧标记\*,非球面式 (d) 表示该衍射光学面的性能规格。

[0082] (第一实施例)

[0083] 首先,作为第一实施例来说明图 4 所示的显微镜光学系统 MS1。该显微镜光学系统 MS1 从物体侧依次由物镜 OL、第二物镜 IL、棱镜 PR 构成。另外,物镜 OL 从物体侧依次由第一透镜组 G1、衍射光学元件 GD 和第二透镜组 G2 构成。而且,第一透镜组 G1 从物体侧依次由将凹面朝向物体侧的正弯月形透镜 L1、将凹面朝向物体侧的正弯月形透镜 L2、将凸面朝向物体侧的负弯月形透镜 L3 和双凸透镜 L4 接合而成的接合透镜、以及将双凸透镜 L5、双凹透镜 L6 和双凸透镜 L7 接合而成的接合透镜构成。另外,衍射光学元件 GD 从物体侧依次由平板状的光学玻璃 L8、分别由不同的树脂材料形成的 2 个光学部件 L9、L10、以及平板状的光学玻璃 L11 以该顺序接合而成,并且,在光学部件 L9、L10 的接合面上形成有衍射格栅图案 (衍射光学面)。即,该衍射光学元件 GD 是紧密贴合多层型的衍射光学元件。另外,第二透镜组 G2 由从物体侧依次接合了双凹透镜 L12、双凸透镜 L13 和双凹透镜 L14 而成的接合透镜构成。另外,第二物镜 IL 从物体侧依次由接合了双凸透镜 L15 和将凹面朝向物体侧的负弯月形透镜 L16 而成的接合透镜、以及将双凸透镜 L17 和双凹透镜 L18 接合而成的接合透镜构成。此外,棱镜 PR 由两端为平面的光学玻璃构成。另外,棱镜 PR 仅考虑光路长度,并没有表示实际形状 (在以后的实施例中也是相同的)。

[0084] 在表 2 中表示该图 4 所示的第一实施例的显微镜光学系统 MS1 的各规格。此外，在该表 2 中， $f$  表示物镜 OL 的整个系统的焦距， $f_1$  表示构成物镜 OL 的第二透镜组 G2 的焦距， $f_2$  表示第二物镜 IL 的整个系统的焦距， $\beta$  表示倍率，NA 表示由物镜 OL 和第二物镜 IL 组合而成的光学系统的物体侧和像侧的开口数， $d_0$  表示从物体面到最开始的透镜（正弯月形透镜 L1）的物体侧的面（第一面）的顶点为止的光轴上的距离， $D$  表示向第二物镜 IL 的入射光瞳的直径， $h_{doe}$  表示从轴上物体射出的最大 NA 的光线从衍射光学元件 GD 射出的高度， $\theta_{doe}$  表示从轴上物体射出的最大 NA 的光线从衍射光学元件 GD 射出的角度（用来成像的一次衍射光所射出的角度）。另外，第一栏  $m$  表示从物体侧起的各光学面的编号，第二栏  $r$  表示各光学面的曲率半径，第三栏  $d$  表示从各光学面到下一光学面的光轴上的距离（面间隔），第四栏  $nd$  表示相对于  $d$  线的折射率，第五栏  $\nu_d$  表示相对于  $d$  线的色散系数。此处，第一栏  $m$  所示的各光学面的编号（右边的 \* 表示作为衍射光学面形成的透镜面）对应于图 4 所示的面编号 1 ~ 29。另外，第二栏  $r$  中，曲面半径 0.000 表示平面。在衍射光学面的情况下，在第二栏  $r$  表示作为基础的、作为非球面的基准的球面的曲率半径，在超高折射率法中使用的数据作为非球面数据而在规格表内示出。此外，在第四栏  $nd$  中，空气折射率 1.000 省略。此外，使相对于 F 线的折射率为  $n_F$ ，相对于 C 线的折射率为  $n_C$ ，第五栏  $\nu_d$  通过  $\nu_d = (n_d - 1) / (n_F - n_C)$  来表示。再有，在该表 2 中还示出了与上述条件式 (1) 及 (2) 对应的值、即条件对应值。以上规格表的说明在后面的实施例中也是同样的。

[0085] 此外，在以下所有的规格中记载的曲率半径  $r$ 、面间隔  $d$ 、物镜的焦距  $f$ 、以及其他长度的单位在没有特别说明的情况下一般使用“mm”，但由于光学系统进行等比例放大或等比例缩小也能够得到同等的光学性能，所以单位不限定于“mm”，也能够使用其他合适的单位。

[0086] (表 2)

[0087]

$$f = 4$$

$$f_1 = -22.4$$

$$f_2 = 200$$

$$\beta = 50x$$

$$NA(\text{物体侧}) = 0.8$$

$$NA(\text{像侧}) = 0.016$$

$$d_0 = 3.38$$

$$D = 6.4$$

$$h_{doe} = 6.1$$

$$\theta_{doe} = 8.0 [^\circ]$$

$m$	$r$	$d$	$nd$	$\nu_d$
1	-4.220	4.00	1.903	35.7
2	-5.421	0.20		

[0088]

3	-47.354	4.00	1.603	65.5
4	-12.900	0.20		
5	85.133	1.10	1.517	52.4
6	12.610	8.00	1.498	82.5
7	-16.869	0.20		
8	30.992	5.35	1.640	60.1
9	-17.900	1.20	1.738	32.3
10	9.973	5.60	1.498	82.5
11	-32.895	3.00		
12	0.000	2.50	1.517	64.1
13	0.000	0.06	1.528	34.7
14	0.000	0.00	10001.000	-3.5
15*	0.000	0.06	1.557	50.2
16	0.000	3.00	1.517	64.1
17	0.000	16.10		
18	-67.221	1.70	1.652	58.5
19	12.651	2.70	1.717	29.5
20	-9.076	1.25	1.517	52.3
21	8.270	91.00		
22	75.043	5.10	1.623	57.0
23	-75.043	2.00	1.750	35.2
24	1600.580	7.50		
25	50.256	5.10	1.668	42.0
26	-84.541	1.80	1.613	44.4
27	36.911	5.50		
28	0.000	30.00	1.569	56.0
29	0.000	143.81		

衍射光学面数据

第 15 面  $\kappa = 1$  $A2 = -5.9524E-08$  $A4 = 3.8419E-10$ 

[0089]

$$A6 = -4.8802E-12 \quad A8 = 6.5871E-15$$

### 条件对应值

- (1) 左边  $|\theta|$  (0 级) =  $0.74 [^\circ]$   $|\theta|$  (2 级) =  $0.72 [^\circ]$   
 右边 =  $0.54 [^\circ]$
- (2) 左边  $|\delta\theta|$  (0 级-1 级) =  $0.37 [^\circ]$   
 $|\delta\theta|$  (2 级-1 级) =  $0.37 [^\circ]$   
 右边 =  $0.27 [^\circ]$
- (2') 右边 =  $0.25 [^\circ]$

[0090] 此外,表 2 所示的条件对应值是使用一次衍射光来作为成像光且将无用级数的光作为 0 级以及 2 级衍射光来求解。这样可知,在上述第一实施例中,上述条件式 (1) 以及 (2) 全部满足。另外,在以后的实施例中同样地,使用一次衍射光来作为成像光。

[0091] 在图 5 中表示该第一实施例中的、基于 0 级光以及 2 级光 (无用级数的光) 的光斑图。此外,在该图 5 所示的光斑图中, B 表示物体高度 (在以后的实施例中也是一样)。如该图 5 所示,作为无用级数的光的 0 级光以及 2 级光,由于光斑的离光轴的高度为 1.9mm 以上,所以第一实施例的显微镜光学系统 MS1 能够在像面中使该 0 级光以及 2 级光所产生的耀斑变得不明显。

[0092] (第二实施例)

[0093] 作为第二实施例,说明图 6 所示的显微镜光学系统 MS2。该显微镜光学系统 MS2 也是从物体侧依次由物镜 OL、第二物镜 IL、棱镜 PR 构成。另外,物镜 OL 从物体侧依次由第一透镜组 G1、衍射光学元件 GD 和第二透镜组 G2 构成。而且,第一透镜组 G1 从物体侧依次由将凹面朝向物体侧的正弯月形透镜 L1、将凹面朝向物体侧的正弯月形透镜 L2、由双凸透镜 L3 和将凹面朝向物体侧的负弯月形透镜 L4 接合而成的接合透镜、将双凸透镜 L5、双凹透镜 L6 和双凸透镜 L7 接合而成的接合透镜、以及由双凸透镜 L8 和将凹面朝向物体侧的负弯月形透镜 L9 接合而成的接合透镜构成。另外,衍射光学元件 GD 从物体侧依次由平板状的光学玻璃 L10、分别由不同的树脂材料形成的 2 个光学部件 L11、L12、以及平板状的光学玻璃 L13 以该顺序接合而成,并且,在光学部件 L11、L12 的接合面上形成有衍射格栅图案 (衍射光学面)。即,该衍射光学元件 GD 是紧密贴合多层型的衍射光学元件。另外,第二透镜组 G2 由从物体侧依次接合了双凹透镜 L12、双凹透镜 L13 和双凸透镜 L14 而成的接合透镜构成。另外,第二物镜 IL 从物体侧依次由接合了双凸透镜 L15 和双凹透镜 L16 而成的接合透镜、以及将双凸透镜 L17 和双凹透镜 L18 接合而成的接合透镜构成。此外,棱镜 PR 由两端为平面的光学玻璃构成。

[0094] 在表 3 中表示该图 6 所示的第二实施例的显微镜光学系统 MS2 的各规格。此外,表 3 所示的面编号与图 6 所示的面编号 1 ~ 33 一致。

[0095] (表 3)

[0096]

$$f = 1.33$$

$$f1 = -4.83$$

$$f2 = 200$$

$$\beta = 150x$$

$$NA (\text{物体侧}) = 0.9$$

$$NA (\text{像侧}) = 0.006$$

$$d0 = 2.95$$

$$D = 2.387$$

$$hdoe = 4.50$$

$$\theta doe = 15.60 [^\circ]$$

m	r	D	nd	vd
1	-5.290	3.50	1.804	39.6
2	-5.030	0.15		
3	-18.200	2.90	1.603	65.5
4	-9.566	0.15		
5	27.978	6.20	1.498	82.6
6	-12.264	1.30	1.569	56.0

[0097]

7	-19.297	0.20		
8	30.758	5.60	1.498	82.6
9	-13.300	1.00	1.673	38.2
10	12.192	6.70	1.498	82.6
11	-14.331	0.15		
12	21.570	4.70	1.498	82.6
13	-10.130	1.00	1.804	39.6
14	-89.173	0.70		
15	0.000	2.50	1.517	64.1
16	0.000	0.06	1.528	34.7
17	0.000	0.00	10001.000	-3.5
18*	0.000	0.06	1.557	50.2
19	0.000	3.00	1.517	64.1
20	0.000	12.00		
21	-6.151	1.70	1.517	52.4
22	6.151	3.00		
23	-4.178	1.00	1.734	51.5
24	6.681	2.20	1.785	25.6
25	-7.986	121.00		
26	75.043	5.10	1.623	57.0
27	-75.043	2.00	1.750	35.2
28	1600.580	7.50		
29	50.256	5.10	1.668	42.0
30	-84.541	1.80	1.613	44.4
31	36.911	5.50		
32	0.000	30.00	1.569	56.0
33	0.000	143.78		

衍射光学面数据

第 18 面  $\kappa = 1$

$A2 = -7.3529E-08$

$A4 = 1.2704E-09$

[0098]

$$A6 = -3.6213E-11 \quad A8 = 1.4394E-13$$

### 条件对应值

$$(1) \quad \text{左边 } |\theta| \text{ (0级)} = 2.01 [^\circ] \quad |\theta| \text{ (2级)} = 1.75 [^\circ] \\ \text{右边} = 1.43 [^\circ]$$

$$(2) \quad \text{左边 } |\delta\theta| \text{ (0级-1级)} = 0.41 [^\circ] \\ |\delta\theta| \text{ (2级-1级)} = 0.42 [^\circ] \\ \text{右边} = 0.39 [^\circ]$$

$$(2') \quad \text{右边} = 0.35 [^\circ]$$

[0099] 这样可知,在第二实施例中,上述条件式(1)以及(2)全部满足。另外,在图7中表示该第二实施例中的、基于0级光以及2级光(无用级数的光)的光斑图。如该图7所示,作为无用级数的光的0级光以及2级光,由于光斑的离光轴的高度为5.0mm以上,所以第二实施例的显微镜光学系统MS2能够在像面中使该0级光以及2级光所产生的耀斑变得不明显。

[0100] (第三实施例)

[0101] 接下来,作为第三实施例,说明图8所示的显微镜光学系统MS3。该显微镜光学系统MS3也是从物体侧依次由物镜OL、第二物镜IL、棱镜PR构成。另外,物镜OL从物体侧依次由第一透镜组G1、衍射光学元件GD和第二透镜组G2构成。而且,第一透镜组G1从物体侧依次由双凸透镜L1、由双凸透镜L2和将凹面朝向物体侧的负弯月形透镜L3接合而成的接合透镜、以及将凸面朝向物体侧的正弯月形透镜L4构成。另外,衍射光学元件GD从物体侧依次由平板状的光学玻璃L5、由分别不同的树脂材料形成的两个光学部件L6、L7以及平板状的光学玻璃L8以该顺序接合而成,在光学部件L6、L7的接合面上形成有衍射格栅图案(衍射光学面)。也就是说,该衍射光学元件GD为紧密贴合多层型衍射光学元件。另外,第二透镜组G2由从物体侧依次接合了将凹面朝向物体侧的正弯月形透镜L9和双凹透镜L10而成的接合透镜构成。而且,第二物镜IL从物体侧依次由将双凸透镜L11以及双凹透镜L12接合而成的接合透镜、以及将双凸透镜L13和双凹透镜L14接合而成的接合透镜构成。此外,棱镜PR通过两端为平面的光学玻璃而构成。

[0102] 在表4中表示该图8所示的第三实施例的显微镜光学系统MS3的各规格。此外,表4所示的面编号与图8所示的面编号1~24一致。

[0103] (表4)

[0104]



$$f = 20$$

$$f1 = -14.2$$

$$f2 = 200$$

$$\beta = 10x$$

$$NA (\text{物体侧}) = 0.2$$

$$NA (\text{像侧}) = 0.02$$

$$d0 = 38.00$$

$$D = 8$$

$$hdoe = 5.54$$

$$\theta doe = 17.15 [^\circ]$$

m	r	d	nd	vd
1	48.798	3.00	1.697	55.5
2	-34.514	0.20		
3	37.001	3.40	1.603	65.5
4	-26.906	1.10	1.847	23.8
5	-212.805	0.20		
6	24.500	3.30	1.517	64.1
7	116.697	0.70		
8	0.000	2.00	1.517	64.1
9	0.000	0.06	1.528	34.7
10	0.000	0.00	10001.000	-3.5
11*	0.000	0.06	1.557	50.2
12	0.000	3.00	1.517	64.1
13	0.000	3.50		

[0105]

14	-23.277	3.50	1.805	25.4
15	-11.689	1.50	1.620	60.3
16	12.655	136.60		
17	75.043	5.10	1.623	57.0
18	-75.043	2.00	1.750	35.2
19	1600.580	7.50		
20	50.256	5.10	1.668	42.0
21	-84.541	1.80	1.613	44.4
22	36.911	5.50		
23	0.000	30.00	1.569	56.0
24	0.000	143.81		

## 衍射光学面数据

第 11 面  $\kappa = 1$        $A2 = -4.9388E-08$        $A4 = 3.0081E-12$   
 $A6 = -3.3504E-19$        $A8 = -1.6682E-15$

## 条件对应值

- (1) 左边  $|\theta|$  (0 级) =  $0.56 [^\circ]$      $|\theta|$  (2 级) =  $0.56 [^\circ]$   
       右边 =  $0.43 [^\circ]$
- (2) 左边  $|\delta\theta|$  (0 级-1 级) =  $0.36 [^\circ]$   
        $|\delta\theta|$  (2 级-1 级) =  $0.37 [^\circ]$   
       右边 =  $0.31 [^\circ]$
- (2') 右边 =  $0.28 [^\circ]$

[0106] 这样可知,在第三实施例中,上述条件式(1)以及(2)全部满足。另外,在图9中表示该第三实施例中的、基于0级光以及2级光(无用级数的光)的光斑图。如该图9所示,作为无用级数的光的0级光以及2级光,由于光斑的离光轴的高度为1.5mm以上,所以第三实施例的显微镜光学系统MS3能够在像面中使该0级光以及2级光所产生的耀斑变得不明显。

[0107] (第四实施例)

[0108] 接下来,作为第四实施例,说明图10所示的显微镜光学系统MS4。该显微镜光学系统MS4也是从物体侧依次由物镜OL、第二物镜IL、棱镜PR构成。另外,物镜OL从物体侧依次由第一透镜组G1、衍射光学元件GD和第二透镜组G2构成。而且,第一透镜组G1从物体侧依次由双凸透镜L1、由将凸面朝向物体侧的负弯月形透镜L2和双凸透镜L3接合而成的接合透镜、以及由将凸面朝向物体侧的负弯月形透镜L4和将凸面朝向物体侧的正弯月形透镜L5接合而成的接合透镜构成。另外,衍射光学元件GD从物体侧依次由平板状的光学玻璃L6、由分别不同的树脂材料形成的两个光学部件L7、L8以及平板状的光学玻璃L9以

该顺序接合而成,在光学部件 L7、L8 的接合面上形成有衍射格栅图案(衍射光学面)。也就是说,该衍射光学元件 GD 为紧密贴合多层型衍射光学元件。另外,第二透镜组 G2 从物体侧依次由将双凸透镜 L10 和双凹透镜 L11 接合而成的接合透镜、以及接合了将凹面朝向物体侧的正弯月形透镜 L12 和双凹透镜 L13 而成的接合透镜构成。而且,第二物镜 IL 从物体侧依次由将双凸透镜 L14 以及双凹透镜 L15 接合而成的接合透镜、以及将双凸透镜 L16 和双凹透镜 L17 接合而成的接合透镜构成。此外,棱镜 PR 通过两端为平面的光学玻璃构成。

[0109] 在表 5 中表示该图 10 所示的第四实施例的显微镜光学系统 MS4 的各规格。此外,表 5 所示的面编号与图 10 所示的面编号 1 ~ 28 一致。

[0110] (表 5)

[0111]

$$f = 10$$

$$f1 = -7.60$$

$$f2 = 200$$

$$\beta = 20x$$

$$NA(\text{物体侧}) = 0.3$$

$$NA(\text{像侧}) = 0.015$$

$$d0 = 30.60$$

$$D = 6$$

[0112]

hdoe = 6.22

$\theta_{doe} = 23.83 [^\circ]$

m	r	d	nd	vd
1	234.314	3.50	1.589	61.2
2	-25.703	0.15		
3	28.645	1.00	1.785	25.7
4	16.720	5.20	1.498	82.5
5	-66.437	0.15		
6	15.752	1.00	1.835	42.7
7	11.342	5.00	1.589	61.2
8	121.523	0.95		
9	0.000	2.50	1.517	64.1
10	0.000	0.06	1.557	50.2
11	0.000	0.00	10001.000	-3.5
12*	0.000	0.06	1.528	34.7
13	0.000	3.00	1.517	64.1
14	0.000	0.50		
15	9.002	3.35	1.564	60.7
16	-39.060	1.00	1.804	39.6
17	5.900	2.90		
18	-13.735	1.90	1.785	25.7
19	-5.202	1.00	1.640	60.1
20	15.201	136.30		
21	75.043	5.10	1.623	57.0
22	-75.043	2.00	1.750	35.2
23	1600.580	7.50		
24	50.256	5.10	1.668	42.0
25	-84.541	1.80	1.613	44.4
26	36.911	5.50		

[0113]

27	0.000	30.00	1.569	56.0
28	0.000	143.82		

## 衍射光学面数据

第 12 面 $\kappa = 1$	$A2 = -5.6000E-08$	$A4 = 3.2897E-10$
	$A6 = -4.1539E-12$	$A8 = 2.0125E-14$

## 条件对应值

- (1) 左边  $|\theta|$  (0 级) = 0.91 [°]  $|\theta|$  (2 级) = 0.90 [°]  
 右边 = 0.57 [°]
- (2) 左边  $|\delta\theta|$  (0 级 - 1 级) = 0.39 [°]  
 $|\delta\theta|$  (2 级 - 1 级) = 0.39 [°]  
 右边 = 0.26 [°]
- (2') 右边 = 0.23 [°]

[0114] 这样可知,在第四实施例中,上述条件式 (1) 以及 (2) 全部满足。另外,在图 11 中表示该第四实施例中的、基于 0 级光以及 2 级光 (无用级数的光) 的光斑图。此外,如该图 11 所示,作为无用级数的光的 0 级光以及 2 级光,由于光斑的离光轴的高度为 2.0mm 以上,所以第四实施例的显微镜光学系统 MS4 能够在像面中使该 0 级光以及 2 级光所产生的耀斑变得不明显。

[0115] (第五实施例)

[0116] 接下来,作为第五实施例,说明图 12 所示的显微镜光学系统 MS5。该显微镜光学系统 MS5 也是从物体侧依次由物镜 OL、第二物镜 IL、棱镜 PR 构成。另外,物镜 OL 从物体侧依次由第一透镜组 G1、衍射光学元件 GD 和第二透镜组 G2 构成。而且,第一透镜组 G1 从物体侧依次由将凹面朝向物体侧的正弯月形透镜 L1、接合了双凸透镜 L2 和将凹面朝向物体侧的负弯月形透镜 L3 而成的接合透镜、双凸透镜 L4、以及将双凸透镜 L5、双凹透镜 L6 和凸面朝向物体侧的正弯月形透镜 L7 接合而成的接合透镜构成。另外,衍射光学元件 GD 从物体侧依次由平板状的光学玻璃 L8、由分别不同的树脂材料形成的两个光学部件 L9、L10 以及平板状的光学玻璃 L11 以该顺序接合而成,在光学部件 L9、L10 的接合面上形成有衍射格栅图案 (衍射光学面)。也就是说,该衍射光学元件 GD 为紧密贴合多层型衍射光学元件。另外,第二透镜组 G2 从物体侧依次由将双凸透镜 L12 和双凹透镜 L13 接合而成的接合透镜、以及将双凹透镜 L14、双凸透镜 L15 和双凹透镜 L16 接合而成的接合透镜构成。而且,第二物镜 IL 从物体侧依次由将双凸透镜 L17 以及双凹透镜 18 接合而成的接合透镜、以及将双凸透镜 L19 和双凹透镜 L20 接合而成的接合透镜构成。此外,棱镜 PR 通过两端为平面的光学玻璃而构成。

[0117] 在表 6 中表示该图 12 所示的第五实施例的显微镜光学系统 MS5 的各规格。此外,表 6 所示的面编号与图 12 所示的面编号 1 ~ 32 一致。

[0118] (表 6)

[0119]

$$f = 4$$

$$f1 = -5.09$$

$$f2 = 200$$

$$\beta = 50x$$

$$NA (\text{物体侧}) = 0.4$$

$$NA (\text{像侧}) = 0.008$$

$$d0 = 22.51$$

$$D = 3.2$$

$$hdoe = 4.56$$

$$\theta doe = 19.10 [^\circ]$$

M	r	d	nd	vd
1	-120.028	3.40	1.697	55.5
2	-20.743	0.15		
3	37.941	5.35	1.498	82.5
4	-21.400	1.00	1.720	34.7
5	-39.959	0.15		
6	24.558	3.70	1.603	65.5

[0120]

7	-143.315	0.15		
8	16.120	4.35	1.498	82.5
9	-47.354	1.00	1.804	39.6
10	9.766	3.20	1.498	82.5
11	38.999	1.20		
12	0.000	2.50	1.517	64.1
13	0.000	0.06	1.528	34.7
14	0.000	0.00	10001.000	-3.5
15*	0.000	0.06	1.557	50.2
16	0.000	3.00	1.517	64.1
17	0.000	0.20		
18	7.350	2.80	1.498	82.5
19	-42.071	1.00	1.804	39.6
20	7.151	3.90		
21	-10.484	0.90	1.729	54.7
22	5.488	2.40	1.741	27.8
23	-3.461	0.90	1.624	47.0
24	5.396	100.00		
25	75.043	5.10	1.623	57.0
26	-75.043	2.00	1.750	35.2
27	1600.580	7.50		
28	50.256	5.10	1.668	42.0
29	-84.541	1.80	1.613	44.4
30	36.911	5.50		
31	0.000	30.00	1.569	56.0
32	0.000	143.82		

衍射光学面数据

第 15 面  $\kappa = 1$

$A2 = -5.5556 \text{ E } -08$

$A4 = -9.0940 \text{ E } -14$

$A6 = -3.0689\text{E}-12$

$A8 = 1.7287\text{E}-15$

[0121]

## 条件对应值

$$(1) \quad \text{左边 } |\theta| (0 \text{ 级}) = 1.20 [^\circ] \quad |\theta| (2 \text{ 级}) = 1.23 [^\circ] \\ \text{右边} = 1.07 [^\circ]$$

$$(2) \quad \text{左边 } |\delta\theta| (0 \text{ 级} - 1 \text{ 级}) = 0.39 [^\circ] \\ |\delta\theta| (2 \text{ 级} - 1 \text{ 级}) = 0.39 [^\circ] \\ \text{右边} = 0.37 [^\circ]$$

$$(2') \quad \text{右边} = 0.33 [^\circ]$$

[0122] 这样可知,在第五实施例中,上述条件式(1)以及(2)全部满足。另外,在图13中表示该第五实施例中的、基于0级光以及2级光(无用级数的光)的光斑图。此外,如该图13所示,作为无用级数的光的0级光以及2级光,由于光斑的离光轴的高度为3.75mm以上,所以第五实施例的显微镜光学系统MS5能够在像面中使该0级光以及2级光所产生的耀斑变得不明显。

[0123] (第六实施例)

[0124] 最后,作为第六实施例,说明图14所示的显微镜光学系统MS6。该显微镜光学系统MS6也是从物体侧依次由物镜OL、第二物镜IL、棱镜PR构成。另外,物镜OL从物体侧依次由第一透镜组G1、衍射光学元件GD和第二透镜组G2构成。而且,第一透镜组G1从物体侧依次由将凹面朝向物体侧的正弯月形透镜L1、将平面朝向物体侧的平凸透镜L2、由双凸透镜L3和将凹面朝向物体侧的负弯月形透镜L4接合而成的接合透镜、将双凸透镜L5、双凹透镜L6和双凸透镜L7接合而成的接合透镜、以及将双凸透镜L8和双凹透镜L9接合而成的接合透镜构成。另外,衍射光学元件GD从物体侧依次由平板状的光学玻璃L10、由分别不同的树脂材料形成的两个光学部件L11、L12以及平板状的光学玻璃L13以该顺序接合而成,在光学部件L11、L12的接合面上形成有衍射格栅图案(衍射光学面)。也就是说,该衍射光学元件GD为紧密贴合多层型衍射光学元件。另外,第二透镜组G2从物体侧依次由接合了将凸面朝向物体侧的负弯月形透镜L14、双凸透镜L15和双凹透镜L16而成的接合透镜、以及接合了双凹透镜L17、双凸透镜L18和双凹透镜L19而成的接合透镜构成。另外,第二物镜IL从物体侧依次由将双凸透镜L20以及双凹透镜L21接合而成的接合透镜、以及将双凸透镜L22和双凹透镜L23接合而成的接合透镜构成。此外,棱镜PR通过两端为平面的光学玻璃而构成。

[0125] 在表7中表示该图14所示的第六实施例的显微镜光学系统MS6的各规格。此外,表7所示的面编号与图14所示的面编号1~36一致。

[0126] (表7)

[0127]



$$f = 2$$

$$f1 = -3.54$$

$$f2 = 200$$

$$\beta = 100x$$

$$NA (\text{物体侧}) = 0.6$$

$$NA (\text{像侧}) = 0.006$$

$$d0 = 12.18$$

$$D = 2.4$$

$$hdoe = 4.90$$

$$\theta doe = 20.34 [^\circ]$$

M	r	d	nd	vd
1	-17.818	3.20	1.729	54.6
2	-11.600	0.10		
3	0.000	4.00	1.569	71.3
4	-20.743	0.10		
5	45.256	5.90	1.498	82.6
6	-19.170	1.20	1.613	44.3
7	-39.808	0.10		
8	29.510	4.60	1.498	82.6
9	-33.847	1.20	1.613	44.3

[0128]

10	13.735	4.70	1.498	82.6
11	-80.931	0.20		
12	15.883	3.90	1.498	82.6
13	-38.548	1.00	1.723	38.0
14	38.548	1.20		
15	0.000	2.50	1.517	63.9
16	0.000	0.06	1.528	34.7
17	0.000	0.00	10001.000	-3.5
18*	0.000	0.06	1.557	50.2
19	0.000	3.00	1.517	63.9
20	0.000	0.20		
21	8.410	1.30	1.694	53.2
22	4.811	3.50	1.434	95.0
23	-20.594	1.00	1.673	32.2
24	6.950	5.20		
25	-10.080	1.00	1.788	47.4
26	11.276	1.80	1.847	23.8
27	-3.092	0.70	1.694	53.2
28	4.719	140.50		
29	75.043	5.10	1.623	57.0
30	-75.043	2.00	1.750	35.2
31	1600.580	7.50		
32	50.256	5.10	1.668	42.0
33	-84.541	1.80	1.613	44.4
34	36.911	5.50		
35	0.000	30.00	1.569	56.0
36	0.000	143.82		

衍射光学面数据

第 18 面  $\kappa = 1$

$A2 = -4.1167E-08$

$A4 = -8.5221E-09$

[0129]

$$A6 = -7.6001E-14 \quad A8 = -3.0526E-17$$

条件对应值

$$(1) \quad \text{左边 } |\theta| (0 \text{ 级}) = 1.54 [^\circ] \quad |\theta| (2 \text{ 级}) = 1.48 [^\circ] \\ \text{右边} = 1.43 [^\circ]$$

$$(2) \quad \text{左边 } |\delta\theta| (0 \text{ 级} - 1 \text{ 级}) = 0.32 [^\circ] \\ \quad \quad \quad |\delta\theta| (2 \text{ 级} - 1 \text{ 级}) = 0.32 [^\circ] \\ \text{右边} = 0.34 [^\circ]$$

$$(2') \quad \text{右边} = 0.30 [^\circ]$$

[0130] 这样可知,在第六实施例中满足上述条件式(1)以及(2')。但是不满足式子(2)。这是因像差的原因。另外,在图15中表示该第六实施例中的、基于0级光以及2级光(无用级数的光)的光斑图。如该图15所示,作为无用级数的光的0级光以及2级光,由于光斑的离光轴的高度为5.0mm以上,所以第六实施例的显微镜光学系统MS6能够在像面中使该0级光以及2级光所产生的耀斑变得不明显。

[0131] 附图标记说明

[0132] MS 显微镜光学系统

[0133] OL 物镜

[0134] IL 第二物镜

[0135] G1 第一透镜组

[0136] GD 衍射光学元件

[0137] G2 第二透镜组

[0138] 1 显微镜系统

[0139] 10 载物台

[0140] 17 第一照明光学系统

[0141] 18 第二照明光学系统

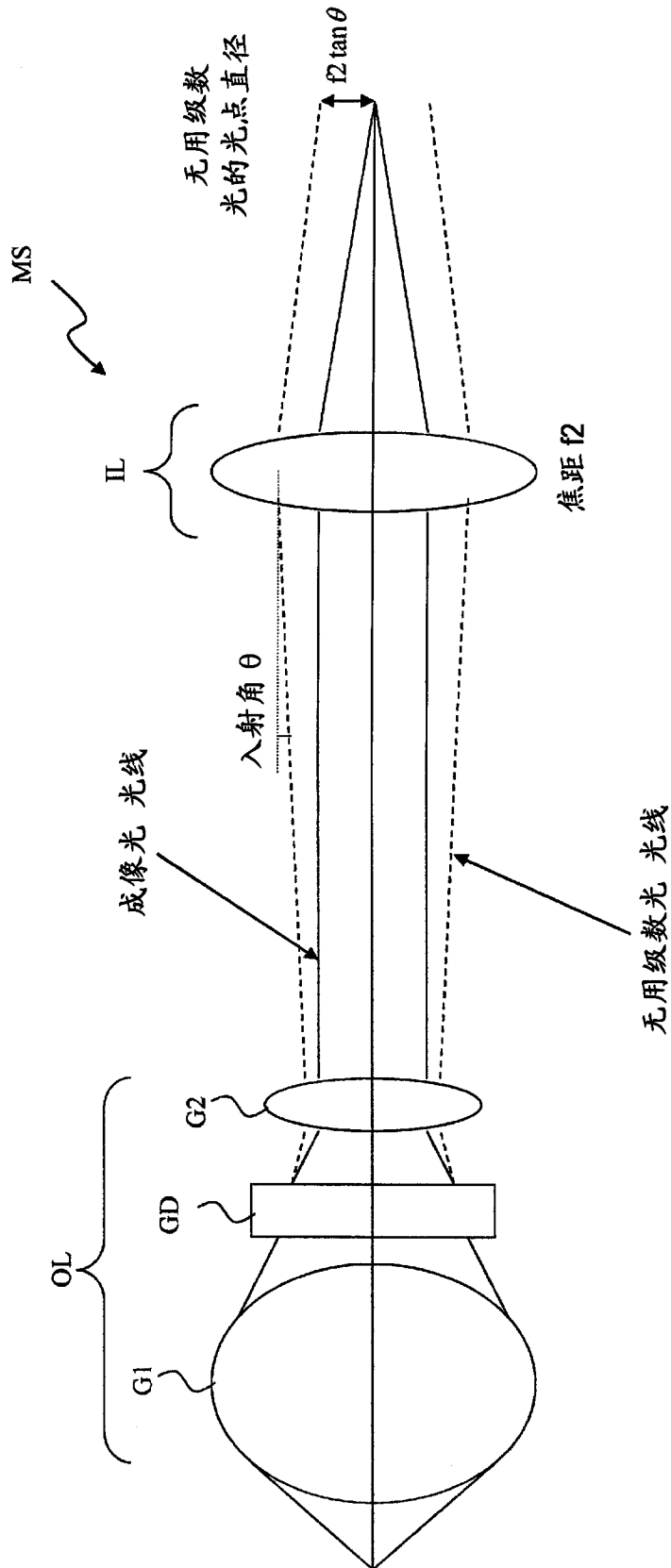


图 1

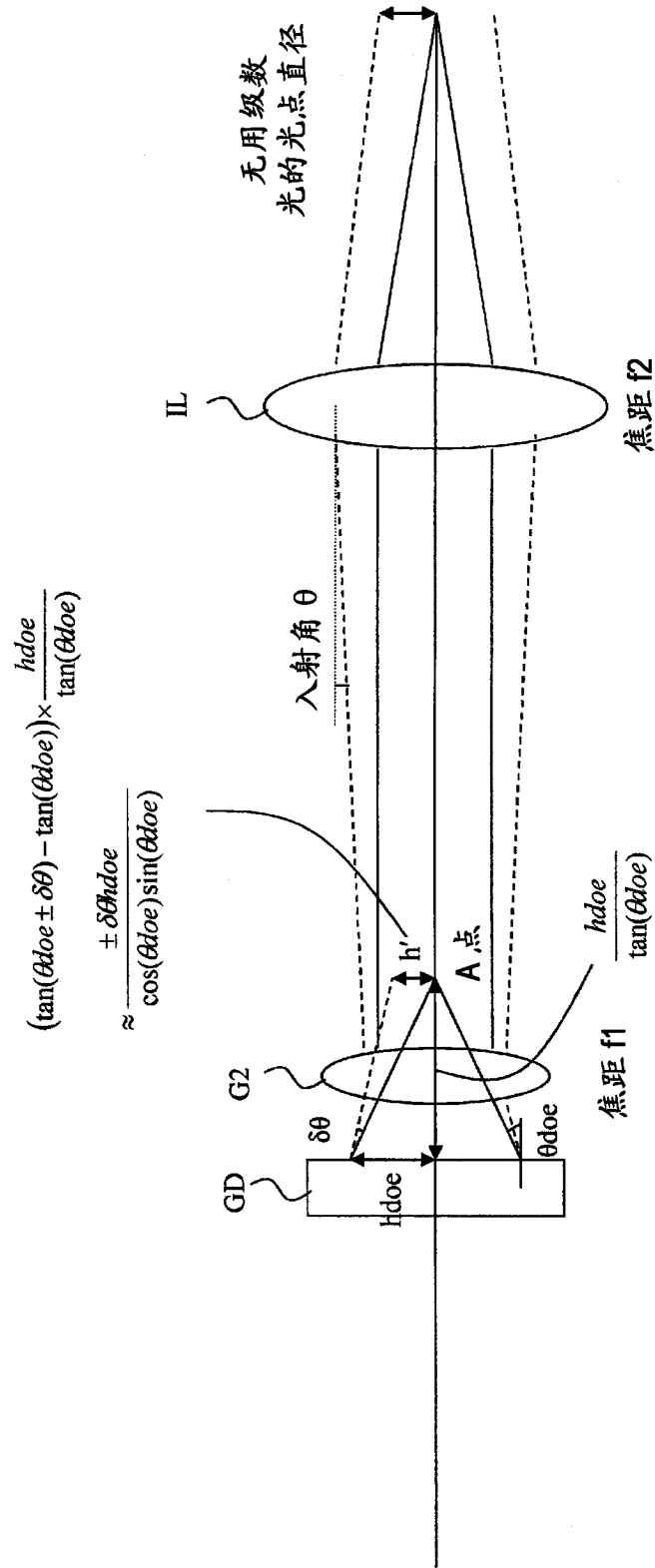


图 2

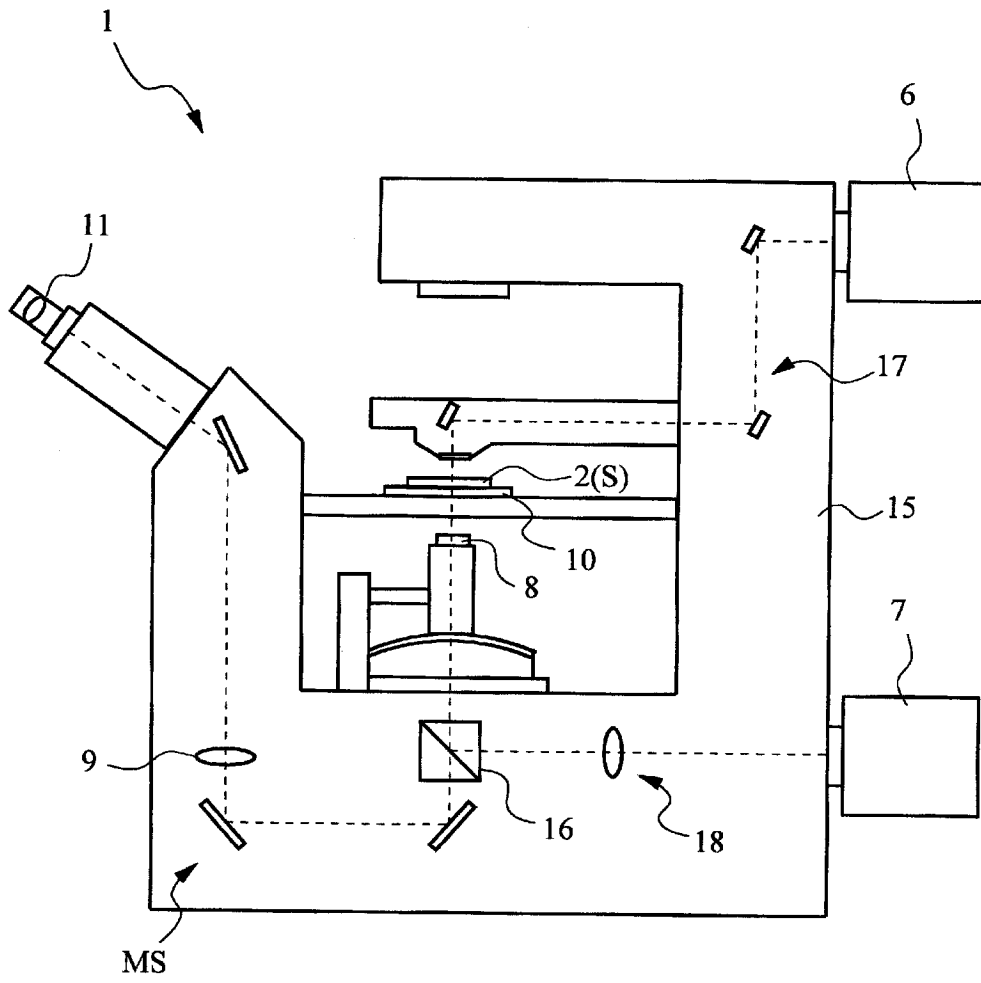


图 3

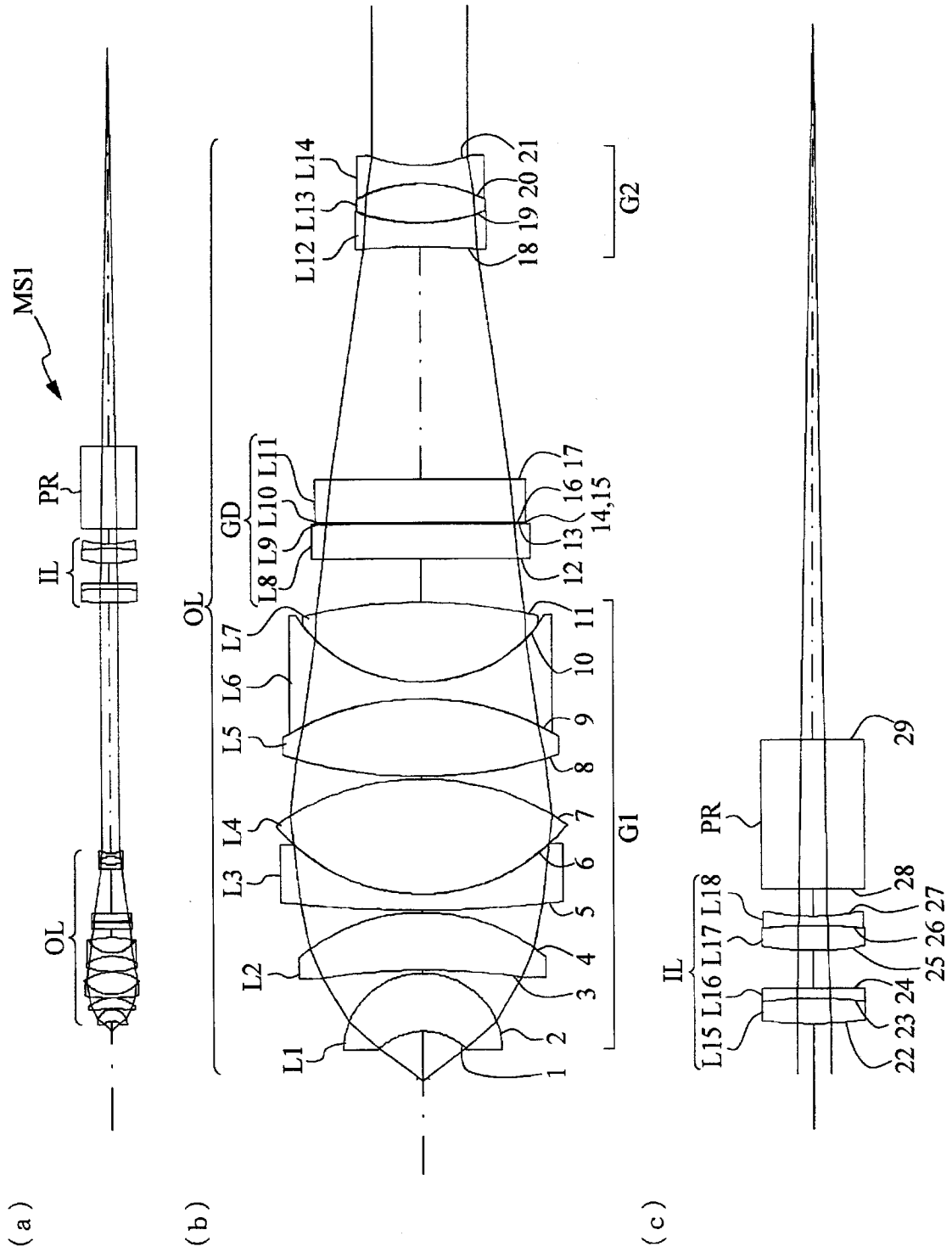


图 4

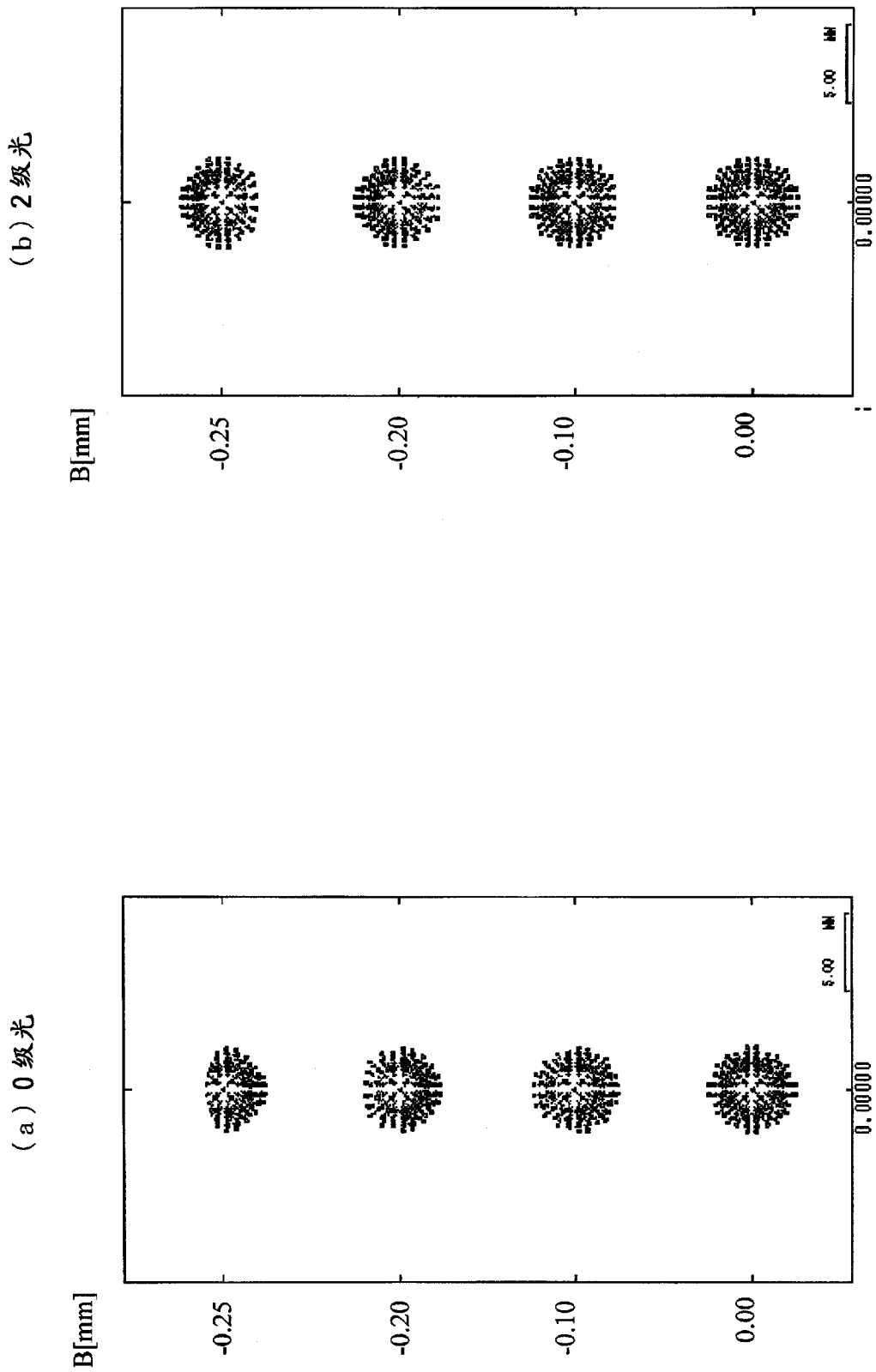


图 5



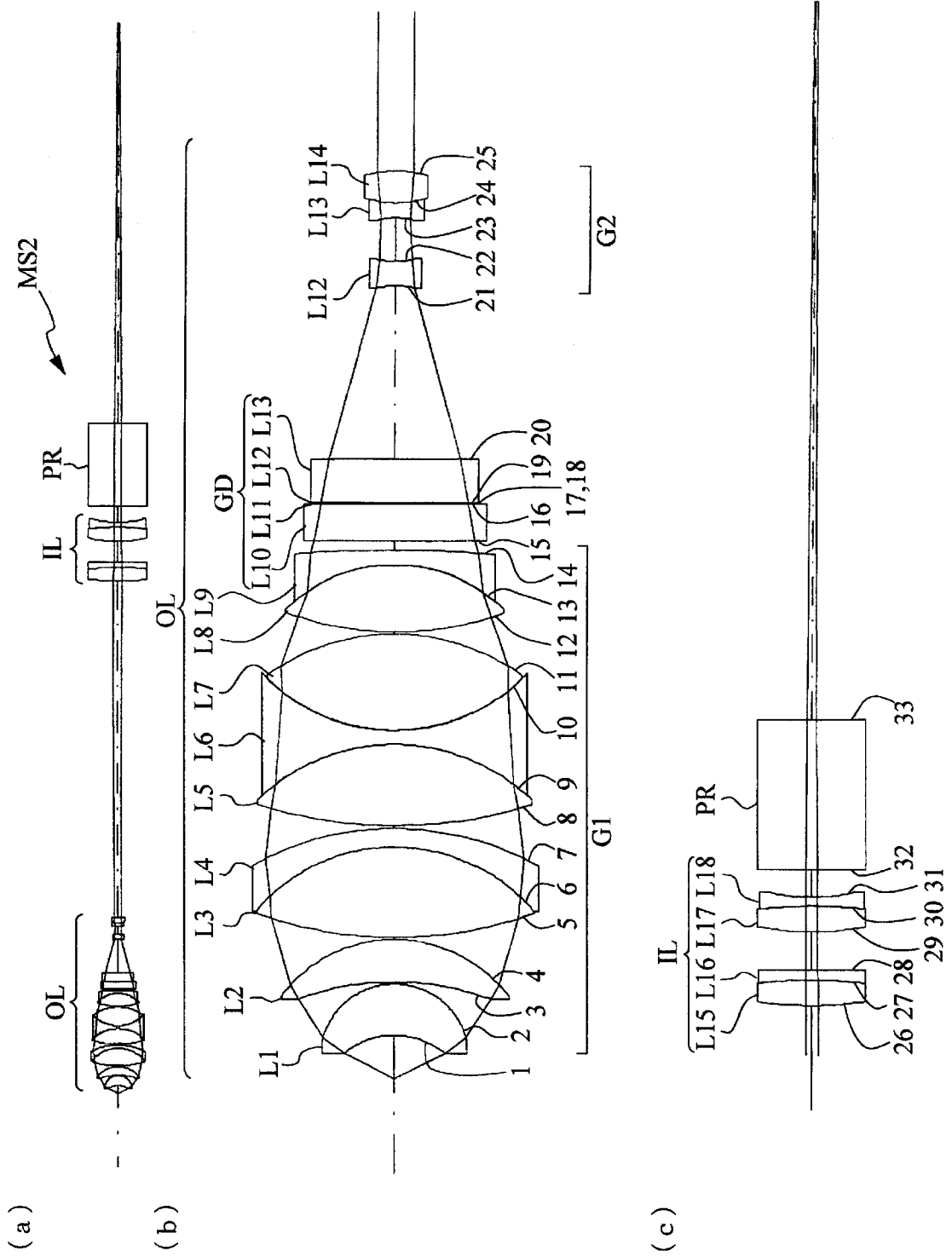


图 6

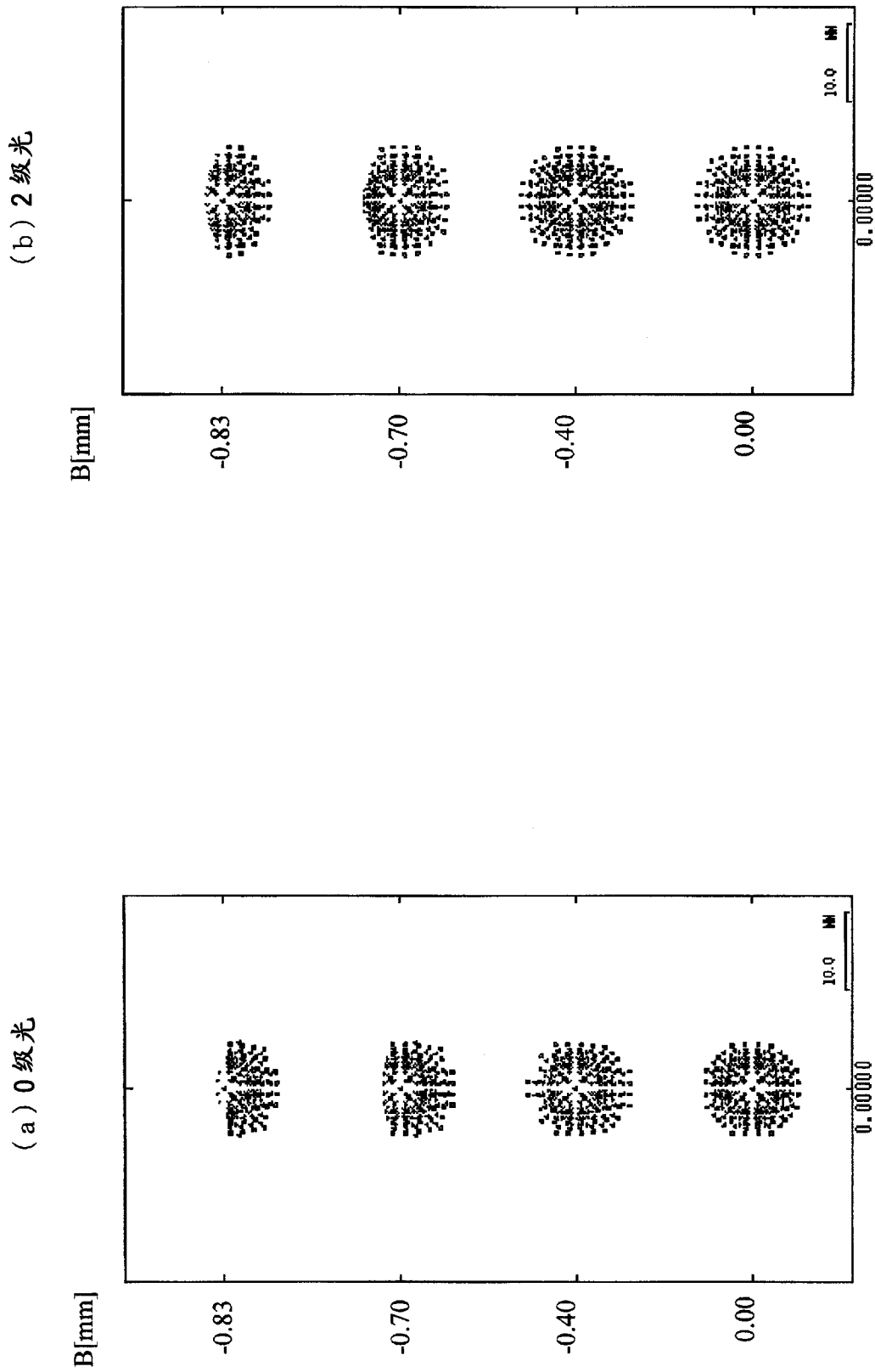


图 7

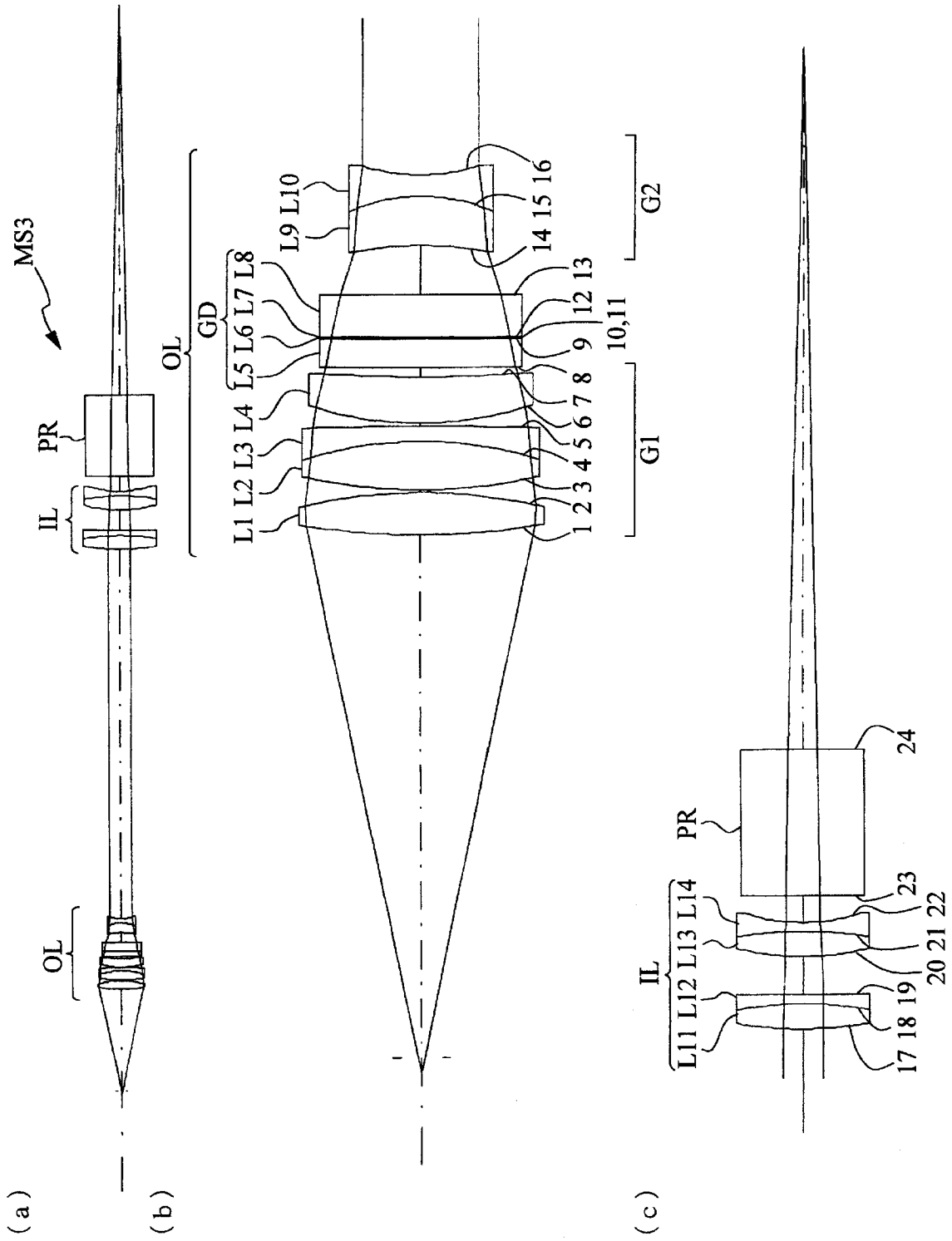


图 8

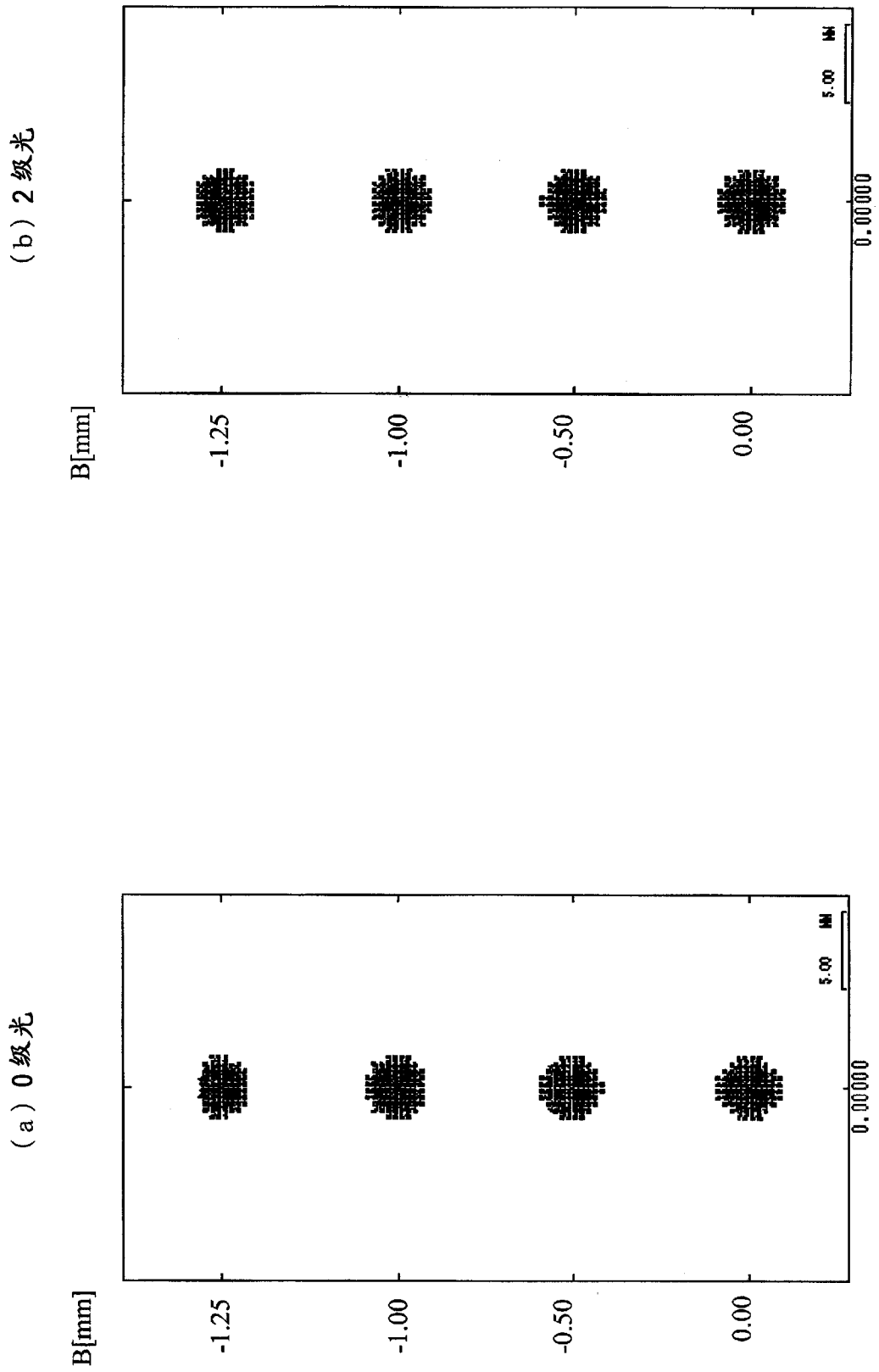


图 9

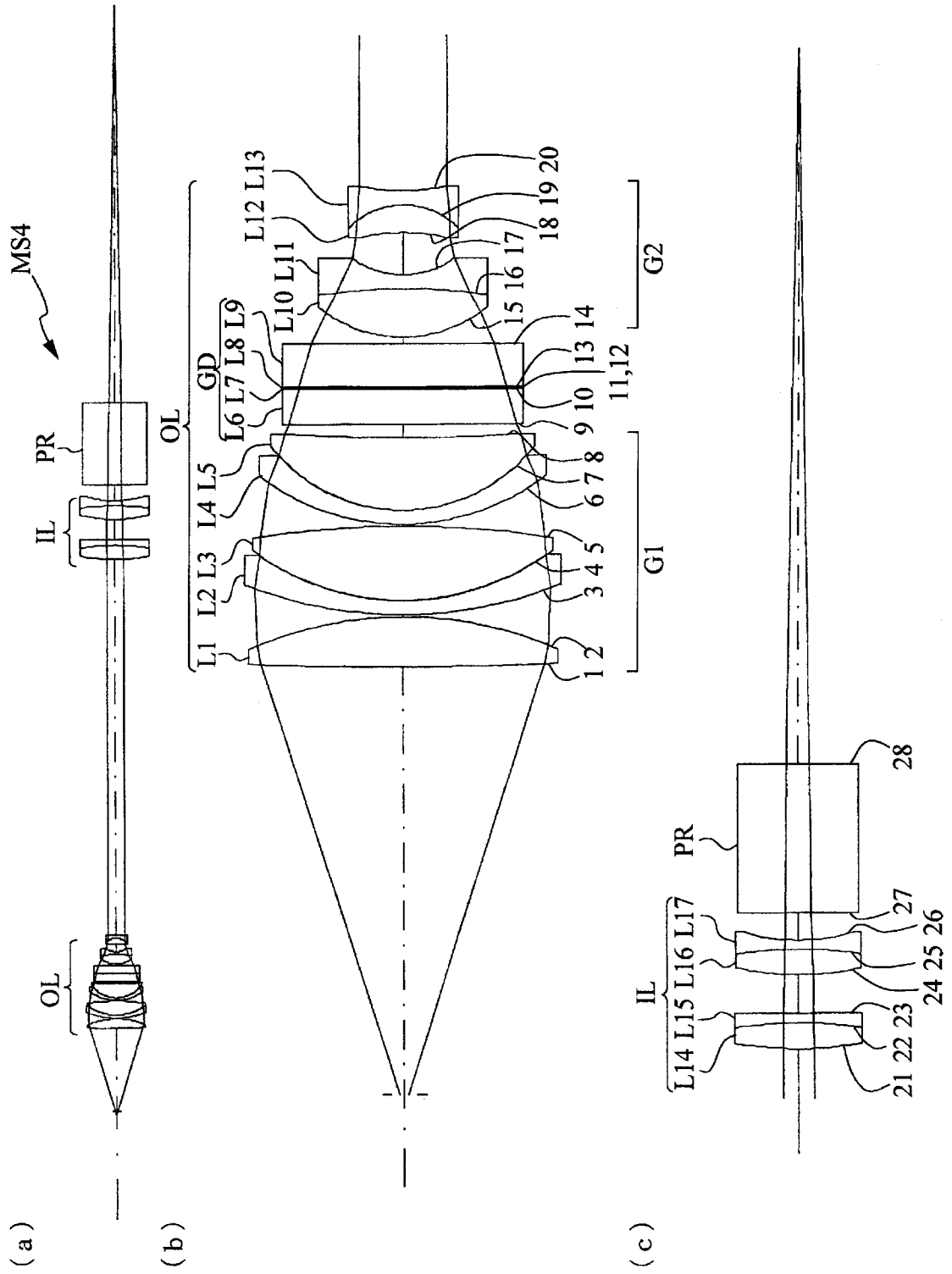
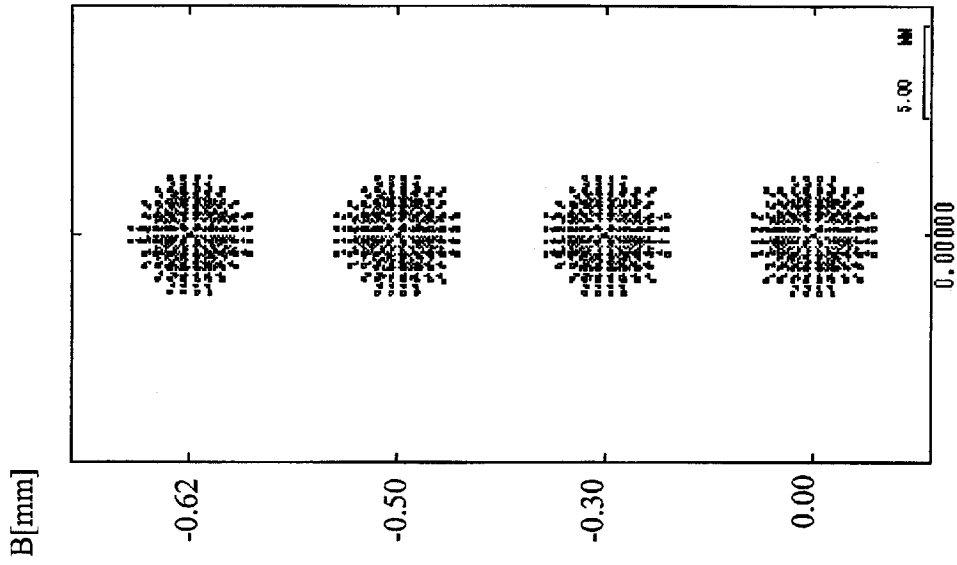


图 10

(b) 2 级光



(a) 0 级光

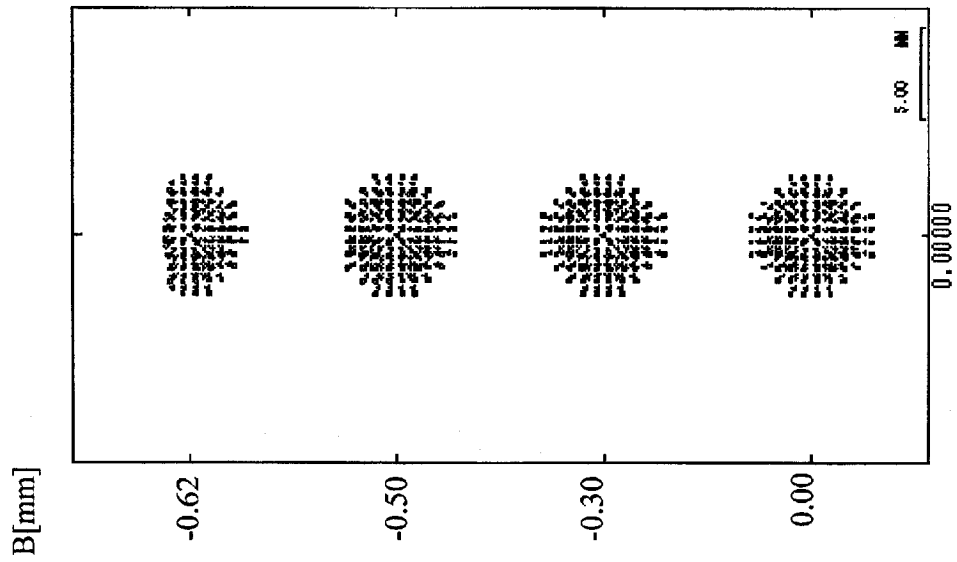


图 11

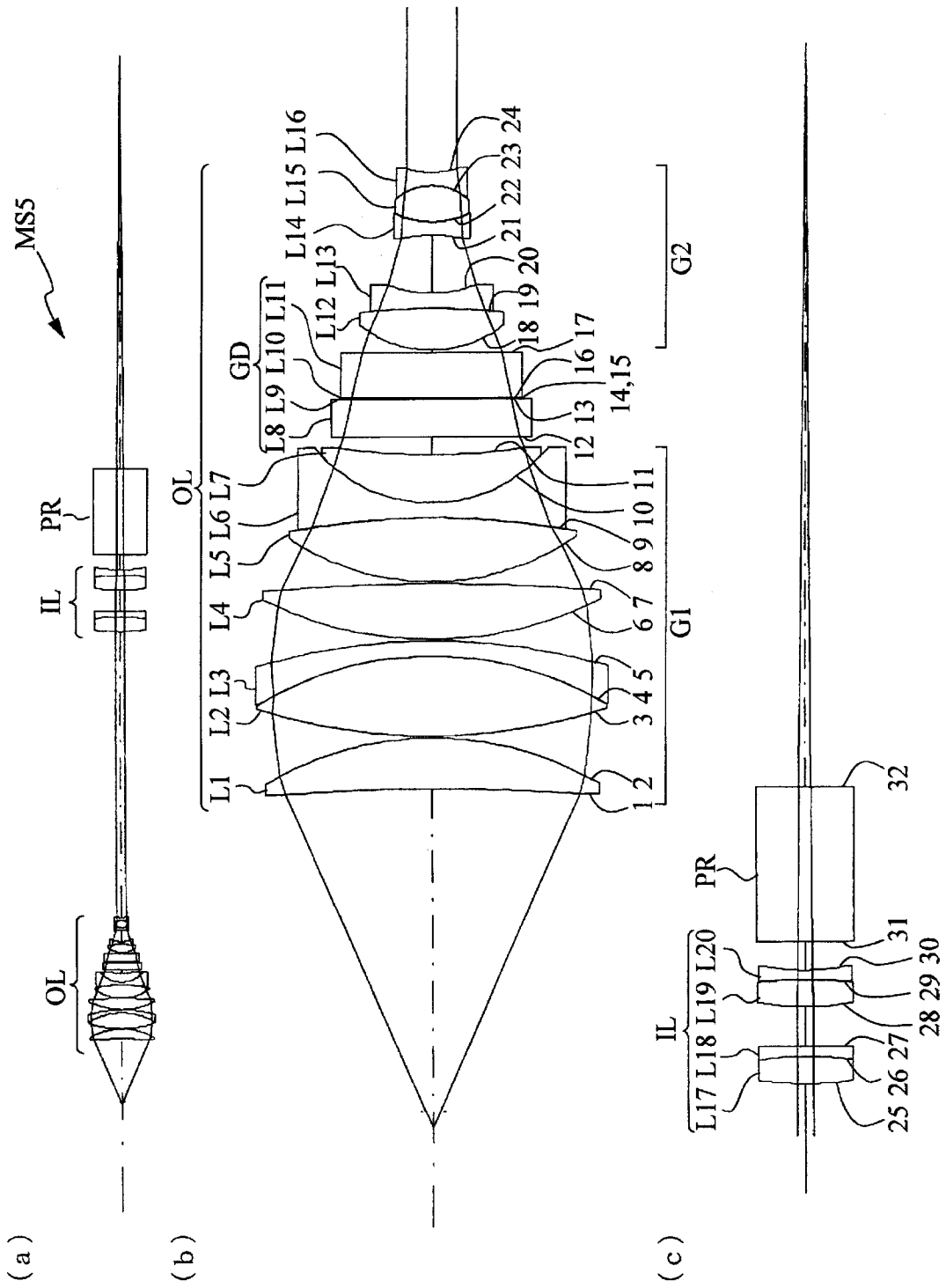
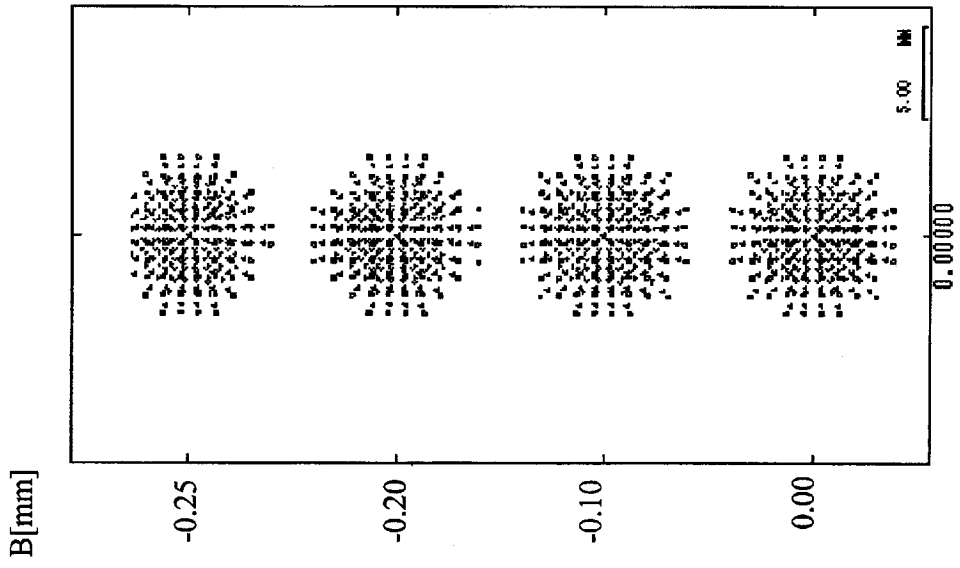


图 12

(b) 2 级光



(a) 0 级光

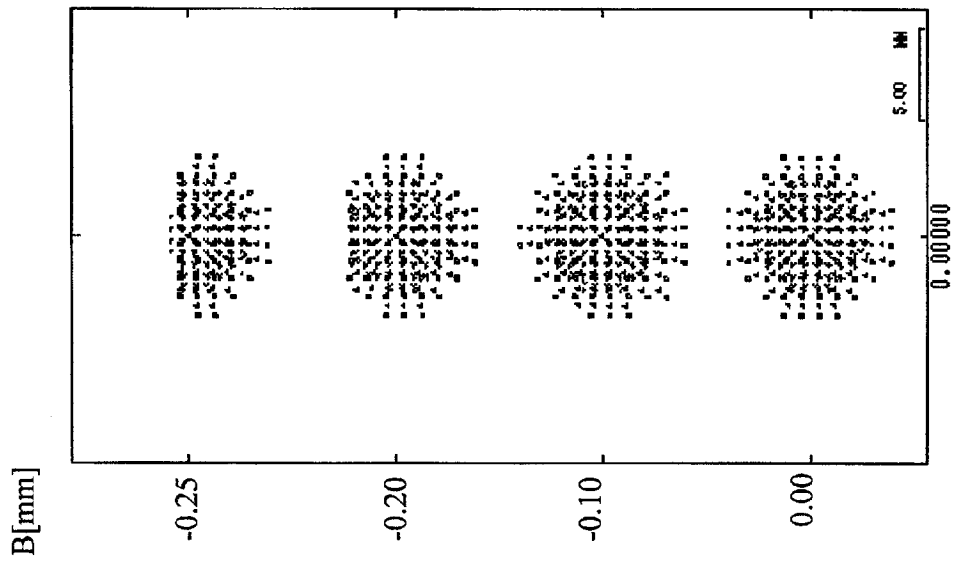


图 13



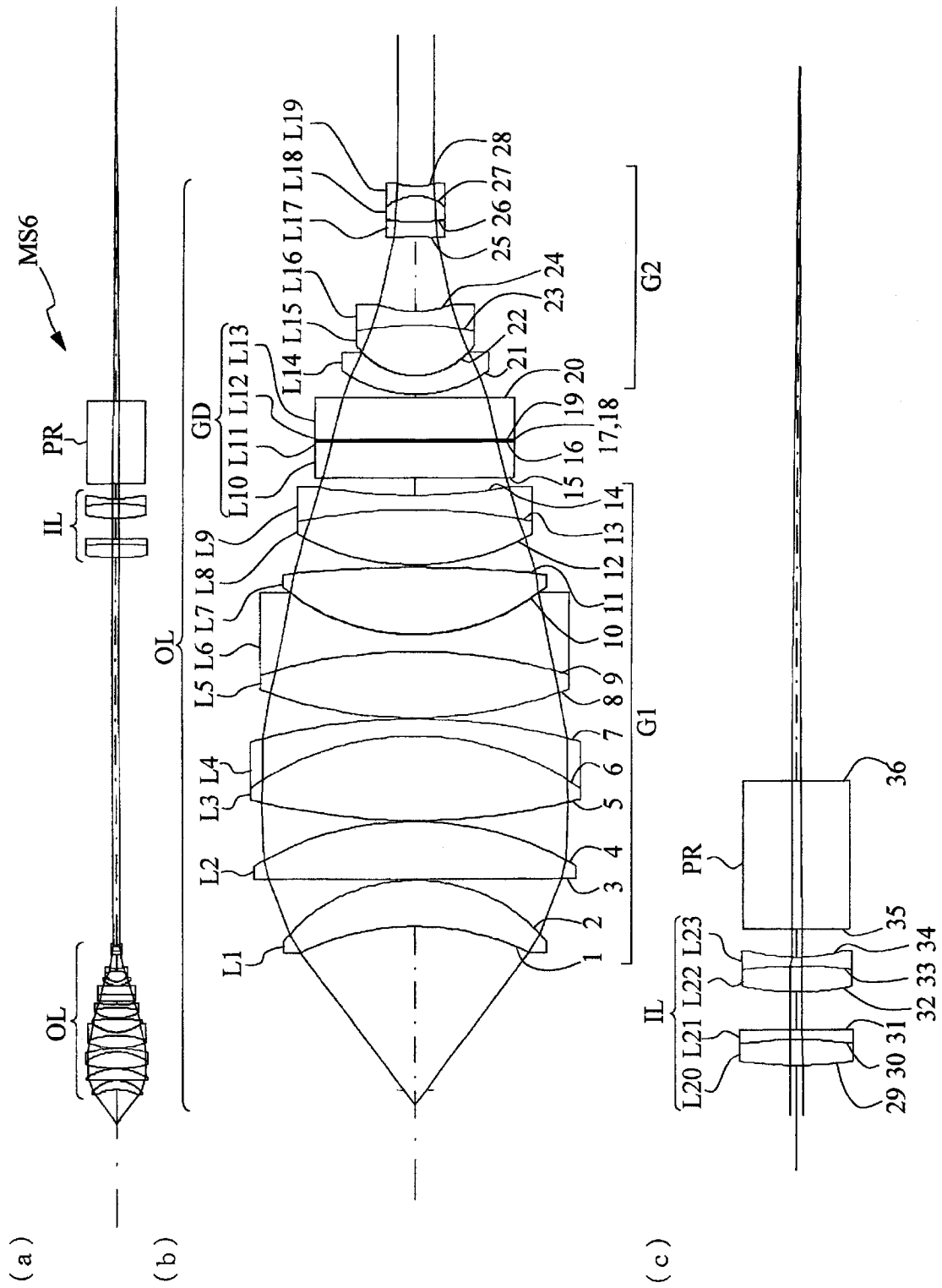
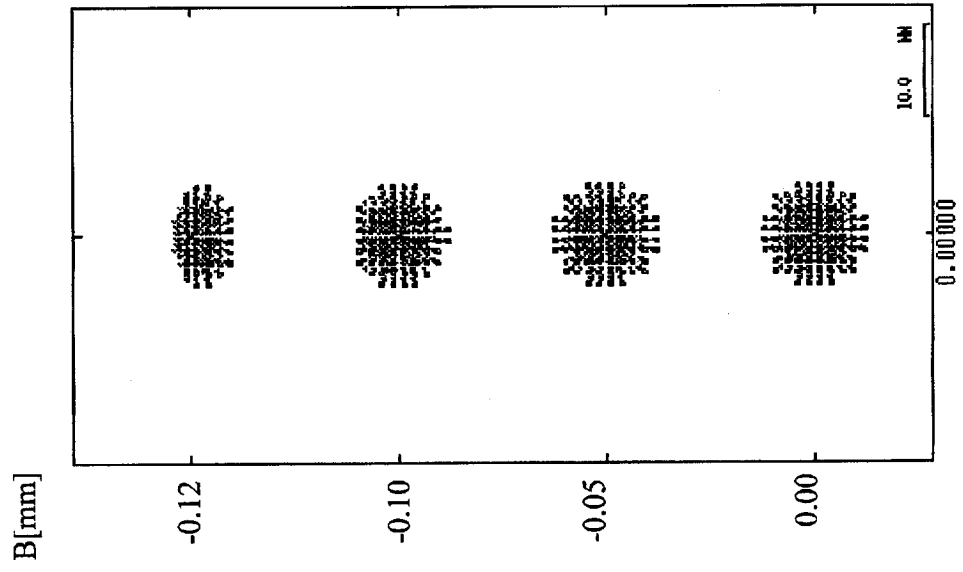


图 14

(b) 2 级光



(a) 0 级光

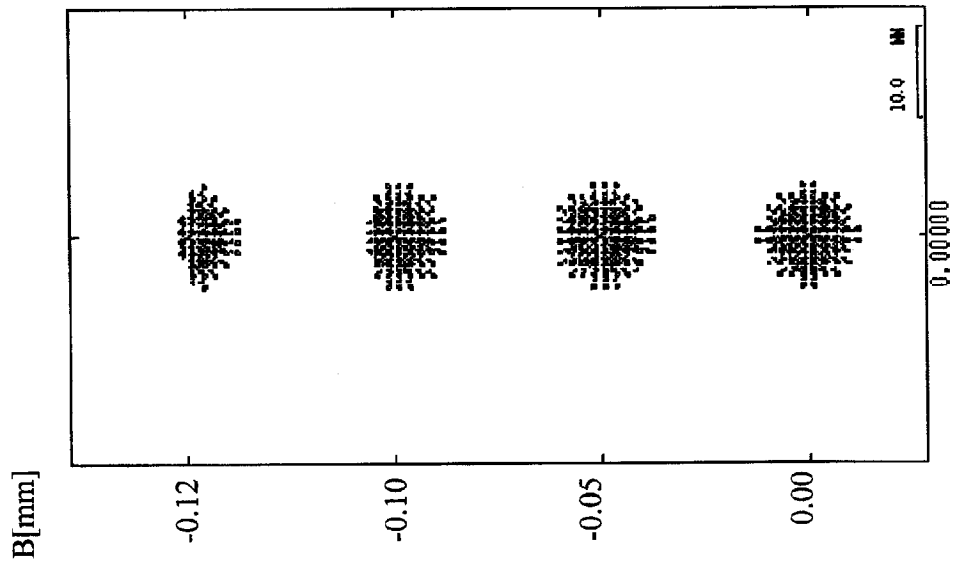


图 15