

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02B 5/18 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510062860.9

[45] 授权公告日 2008年5月28日

[11] 授权公告号 CN 100390572C

[22] 申请日 2005.4.1

[21] 申请号 200510062860.9

[30] 优先权

[32] 2004.4.1 [33] JP [31] 2004-109091

[73] 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 中井武彦

[56] 参考文献

US 6157488 A 2000.12.5

US 5790321 A 1998.8.4

JP 9-171097 A 1997.6.30

JP2001-42112A 2001.2.16

US 5044706 A 1991.9.3

审查员 殷玲

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 付建军

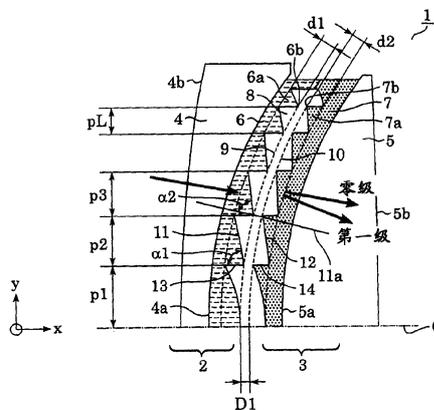
权利要求书2页 说明书18页 附图9页

[54] 发明名称

衍射光学元件和包括所述衍射光学元件的光学系统

[57] 摘要

衍射光学元件包括多个衍射光栅。多个衍射光栅中的一个衍射光栅包括具有弯曲光栅表面和光栅尖端的多个光栅部分，所述光栅尖端相连接以限定弯曲的包络面。所述光栅表面具有大于所述包络面的曲率半径的曲率半径。另外，多个衍射光栅中的两个衍射光栅由具有不同色散的不同材料制成。因此，甚至当包络面的曲率半径较小时，也能抑制衍射效率中的降级。



1. 一种衍射光学元件，具有

层叠的并且由具有不同色散的至少两种材料构成的多个透射衍射光栅，其中，所述透射衍射光栅中的每一个包括具有弯曲光栅表面和光栅尖端的多个光栅部分，所述光栅尖端连接以限定弯曲的包络面，

其中，所述光栅表面具有大于所述包络面的曲率半径的曲率半径。

2. 依照权利要求1所述的衍射光学元件，其特征在于，所述光栅部分具有光栅侧部，并且其中，光栅表面和光栅侧部限定了大于光栅表面与包络面的法线之间所限定的第二角度的第一角度，包络面的法线被限定在其中一个光栅尖端位于包络面上的位置处。

3. 依照权利要求1所述的衍射光学元件，其中透射衍射光栅的光栅部分相对于彼此被同心地布置，并且光栅部分的光栅侧部基本平行于光轴。

4. 依照权利要求1所述的衍射光学元件，其特征在于，多个透射衍射光栅在未形成有光栅部分的区域处被粘结在一起。

5. 依照权利要求1所述的衍射光学元件，其特征在于，多个透射衍射光栅包括第一和第二衍射光栅，并且第一衍射光栅具有沿第一方向改变的第一光栅厚度，而第二衍射光栅具有沿不同于第一方向的第二方向改变的第二光栅厚度。

6. 依照权利要求1所述的衍射光学元件，其特征在于，在波长范围内的多个波长下，穿过多个透射衍射光栅的光线的光路长度的最大差异为相应波长的整数倍。

7. 依照权利要求6所述的衍射光学元件，其特征在于，所述波长范围为可见范围。

8. 依照权利要求1所述的衍射光学元件，还包括在多个透射衍射光栅之中两个透射衍射光栅之间限定的气隙。

9. 一种光学系统，包括：

权利要求1到8中任意一项所述的衍射光学元件；以及
折射光学元件。

10. 依照权利要求9所述的光学系统，其特征在于，包络面的曲率半径的绝对值在光学系统的焦距的十五分之一到光学系统的焦距的二分之一之间，且包含焦距的十五分之一和二分之一。

衍射光学元件和包括所述 衍射光学元件的光学系统

技术领域

本发明涉及衍射光学元件，更具体地说，本发明涉及适合于与具有多个波长或带宽的光线结合使用的衍射光学元件以及涉及包括所述衍射光学元件的光学系统。

背景技术

为了减少色差，除了使用不同玻璃材料的透镜的组合的方法之外，使用设置在透镜表面上或布置为光学系统的部分的衍射光学元件的方法也是已知的。在例如1990年的International Lens Design Conference的SPIE的1354卷；日本专利未审定公开No.4-213421（对应于美国专利No.5,044,706）；以及日本专利未审定公开No.6-324262（对应于美国专利No.5,790,321）中披露了该衍射方法。

该方法使用其中在折射面处具有基准波长的光线的色差存在于与光学系统中的衍射面处具有基准波长的光线的色差相反方向的方向上的物理现象。

通过改变衍射光学元件的周期性结构的周期，这样一种衍射光学元件的使用可获得与非球面透镜所获得的相同的效果，从而大大减少色差。

在折射中，单个光线在被折射之后仍然是单个光线。与此相反，在衍射中，单个光线在衍射之后被分成为多个衍射级。因此，在使用衍射光学元件作为透镜系统的情况下，必须确定光栅结构以使得处于使用的波长范围内的光束被集中为一个特定级（在下文中，也称之为“设计级”）。如果光线集中为特定级的话，不同级的衍射射线的强度较低。如果其强度被减小到零的话，所述衍射射线就不存在了。

因此，为了将衍射光学元件应用于使用宽频带的光学器件（诸如用于摄影的摄影机）中，设计级的光线的衍射效率在所使用的波长范围内必须都足够高。

在存在有其衍射级不同于设计级的光线的情况下，所述光线被成像在不同于设计级的光线的位置的位置处，因此导致光斑。因此，在使用衍射效应的光学系统中，在全面考虑设计级下的衍射效率的光谱分布和不同于设计级的级下的光线的性质是重要的。

图14示出了已知衍射光学元件的衍射光栅。图15示出了当图14中所示的衍射光学元件被布置在某个表面上时用于特定衍射级的衍射效率的特征曲线。

在以下的描述中，衍射效率的每个数值都表示每个衍射射线与总传输光束在光通量方面的比率，为了方便起见，所述数值忽略不计光栅表面处的反射线。

在图15中，图表的水平轴表示波长而垂直轴表示衍射效率。该衍射光学元件被如此设计，即，使其在正的第一衍射级下在使用的波长范围内显示出最高的衍射效率，如实线所示的。换句话说，所述设计级为正的第一级。

在图15中，也示出了设计级周围的两个衍射级（即，零级和正的第二级，也就是，分别低于和高于正的第一级的级）的衍射效率。

如图15中所示的，设计级的衍射效率在某一波长（在下文中，称之为“设计波长”）下显示出了最高值并且在其他波长下逐渐降低。

设计级的衍射效率方面的降低产生其他级的衍射射线并且导致光斑。

存在能够降低衍射效率方面的降低的已知结构（见日本专利申请未审定公开号No.9-127322，对应于美国专利No.6,157,488）。如图16中所示的，在该结构中，第一衍射光栅6和第二衍射光栅7的两种材料以及其光栅厚度 d_1 和 d_2 被最优地选择，并且具有相同光栅节距的衍射光栅6和7被彼此相邻地布置，其中它们之间具有空气层8。因此，这种结构在全部可见范围内实现高衍射效率，如图17中所示的。

如图16中所示的,这种结构是两层结构的,并且通过使得衍射光栅6和7的每种材料的色散和折射率以及光栅厚度 d_1 和 d_2 最优化实现了高衍射效率。

如上所述描述已知结构的日本专利申请未审定公开号No.9-127322仅披露了通过连接光栅部分的尖端(端部)所产生的平面是平坦的并且没有提及设置在弯曲表面上的衍射光栅的具体形状。

存在衍射光学元件的这样一种已知结构,其中设置在弯曲表面上的多个衍射光栅被成层堆积,衍射光学元件实现了高衍射效率(见日本专利申请未审定公开号No.2001-042112,对应于欧洲专利申请公开号No.1 072 906 A2,以及日本专利申请未审定公开号No.2002-107520,对应于美国专利申请公开号No.2002-036827)。

图19是示出了日本专利申请未审定公开号No.2001-042112中披露的衍射光学元件的主要部分的截面图。

如图19中所示的,在衍射光学元件1中,第一衍射部分2和第二衍射部分3被彼此相邻地布置,其中它们之间具有空气层8。第一衍射部分2包括第一衬底4和设置在第一衬底4表面上的第一衍射光栅6。第二衍射部分3包括第二衬底5和设置在第二衬底5表面上的第二衍射光栅7。所有层都用作独立衍射光学元件1。

其上设置有衍射光栅6和7的衬底4和5的表面及其相对表面都是弯曲表面。每个衬底4和5本身都用作折射透镜。包络面9和10是通过分别连接第一衍射光栅6的尖端和第二衍射光栅7的尖端所限定的弯曲表面。

图20是示出了日本专利申请未审定公开号No.2002-107520中披露的衍射光学元件的主要部分的截面图。如图20中所示的,在衍射光学元件1中,第一衍射部分2和第二衍射部分3被彼此相邻地布置,其中它们之间具有空气层8。第一衍射部分2包括第一衬底4和设置在第一衬底4表面上的第一衍射光栅6。第二衍射部分3包括第二衬底5、设置在第二衬底5表面上的第二衍射光栅7以及设置在第二衍射光栅7上的第三衍射光栅16。所有层都用作独立衍射光学元件1。

第三衍射光栅16的与光栅表面12相对的面10是不包括光栅部分的弯曲面,并且具有与第二衬底5中其上形成有光栅部分的面相同的曲率。对于衬底4和5来说,其上设置有衍射光栅6和7的表面以及其相对表面都是弯曲表面。每个衬底4和5本身都用作折射透镜。

其中在弯曲表面上布置有多个衍射光栅的这些成层堆积的衍射光学元件对于某个入射角来说被最优化。具体地,在图19中所示的示例中,衍射光学元件具有被最优调节得用于主要从垂直于包络面9和10的方向入射光束的情况的结构(在下文中,也被称作“弯曲的基准面”),即,通过连接光栅部分6a和光栅部分7a所限定的独立面。

应用于各种光学系统的衍射光学元件接收从各种方向入射的射线,即,可接收从除垂直于衍射光栅的一个包络面(弯曲的基准面)的方向以外的方向入射的笔形光束。例如,在包括具有小曲率半径的包络面的衍射光栅的衍射光学元件的情况下,笔形光束从各种方向入射。

在这种情况下,从垂直于包络面的方向到一个方向的角度相对于光轴明显变大。因此,在衍射光学元件用在光学系统中的情况下,入射角从垂直于包络面的方向分配到平行于光轴的方向。

因此,其中衍射光学元件被最优化以用于从垂直于包络面的方向入射的笔形光束的结构可能具有较低的衍射效率。

发明内容

本发明提供了一种衍射光学元件,甚至在衍射光栅具有小曲率半径的包络面时,所述衍射光学元件也可使得衍射效率中的降低最小化。本发明还涉及包括所述衍射光学元件的光学系统。

依照本发明的一个方面,提供了一种衍射光学元件,所述衍射光学元件具有包括由具有不同色散的不同材料构成的两种光栅的多个衍射光栅。一种衍射光栅包括具有弯曲光栅表面和光栅尖端的多个光栅部分。光栅尖端连接以限定弯曲的包络面。所述光栅表面的曲率半径大于所述包络面的曲率半径。

从参照附图所作出的以下描述中将明白本发明的其他特征和优点。

附图说明

图1是示出了本发明第一实施例所涉及的衍射光学元件的主要部分的平面和侧视图。

图2是本发明第一实施例所涉及的衍射光学元件的主要部分的截面图。

图3是第一实施例所涉及的衍射光学元件的衍射部分的放大截面图。

图4是第一实施例所涉及的衍射光学元件的衍射部分的示意图。

图5是已知多层衍射光学元件的衍射部分的示意图。

图6是第一实施例所涉及的衍射光学元件的衍射效率的图表。

图7是已知多层衍射光学元件的衍射效率的图表。

图8是示出了如何制造第一实施例所涉及的衍射光学元件的示意图。

图9是示出了第一实施例所涉及的衍射光学元件可应用于其上的另一种应用的示意图。

图10是本发明第二实施例所涉及的衍射光学元件的主要部分的截面图。

图11是本发明第三实施例所涉及的衍射光学元件的主要部分的截面图。

图12是本发明第五实施例所涉及的用于拍摄图片的光学系统的主要部分的截面图。

图13是本发明第六实施例所涉及的用于观测的光学系统的主要部分的截面图。

图14是用于示出另一种已知衍射光学元件的衍射光栅的形状(截面为三角形波形)的示意图。

图15是已知衍射光学元件的衍射效率的图表。

图16是另一种已知多层衍射光学元件的截面图。

图17是已知多层衍射光学元件的衍射效率的图表。

图18是另一种已知多层衍射光学元件的衍射效率的图表。

图19是包括设置在弯曲表面上的衍射光栅的另一种已知多层衍射光学元件的截面图。

图20是包括设置在弯曲表面上的衍射光栅的另一种已知多层衍射光学元件的截面图。

具体实施方式

第一实施例

下面将描述本发明第一实施例所涉及的衍射光学元件1。图1是第一实施例所涉及的衍射光学元件1的示意图（包括平面和侧视图）。衍射光学元件1包括以其间具有距离D1的方式彼此相邻（成层堆积）的第一衍射部分2和第二衍射部分3。

在图1中，第一衍射光栅6和第二衍射光栅7具有同心的光栅部分并且具有透镜功能（会聚或发散功能）。第一衍射光栅6和第二衍射光栅7被形成在弯曲面上。

图2以沿图1的线A-A'所截的截面图的方式部分地示出了衍射光学元件1。为了清楚起见，图2不是成比例示出的，尤其是沿光栅的深度方向，并且所示的光栅部分的数量少于实际数量。

在截面图中，衍射光学元件1具有这样一种结构，其中包括第一衬底4和形成在第一衬底4的第一弯曲面4a上的第一衍射光栅6的第一衍射部分2与包括第二衬底5和形成在第二衬底5的第二弯曲面5a上的第二衍射光栅7的第二衍射部分3相邻，其中它们之间具有空气层8，并且第一衍射部分2与第二衍射部分3之间的距离为D1。

所有层都用作独立衍射光学元件。通过连接第一衍射光栅6的第一光栅部分（包括多个光栅组件）6a的尖端6b与其他尖端所限定的第一包络面9是弯曲面，并且具有基本与第一衬底4的其上形成有第一衍射光栅6的第一弯曲面4a相同的曲率半径。

相似地，通过连接第二衍射光栅7的第二光栅部分的尖端7b与其他尖端所限定的第二包络面10也是弯曲面，并且具有基本与第一包络面9相同的曲率半径。

在图2中，第一包络面9为凹形的，而第二包络面10为凸形的。第一包络面9沿光轴与第二包络面10相隔D1。

第一包络面9的曲率半径R9基本与第二包络面10的曲率半径R10相同，更具体地说，这两个曲率半径是这样的，即，使得第一包络面9的曲率中心与第二包络面10的曲率中心相同。

换句话说，由于第一包络面9与第二包络面10之间沿光轴O的距离为D1，因此 $R9 = R10 + D1$ 。

在图2中，第一衍射光栅6的第一光栅部分6a的高度（光栅厚度）为d1，并且第二衍射光栅7的第二光栅部分7a的高度（厚度）为d2。沿垂直于每个第一包络面9和第二包络面10的方向上的每个高度d1和d2的突出部分都是恒定的。

关于由于第一衍射光栅6和第二衍射光栅7形成的衍射所导致的衍射光功率，即，不包括由于第一包络面（弯曲基准面）9和第二包络面（弯曲基准面）10形成的折射所导致的折射光功率的衍射光功率，第一衍射光栅6具有正的光功率而第二衍射光栅7具有负的光功率。

在图2中，由于光栅高度d1和d2未成比例示出，因此第一光栅表面11被表示为凸形形状。然而，实际上，光栅高度大约为 $10\mu\text{m}$ ，因此，第一衍射光栅6的第一光栅表面11实际上具有凹形形状，如图3的放大图中所示的。

具体地，由于弯曲基准面9的凹度所造成的折射效应（负的光功率）被衍射透镜（第一衍射光栅6）所形成的正的光功率降低，因此第一光栅表面11为具有曲率半径R11的凹形形状的，曲率半径R11在绝对项上大于第一包络面9的曲率半径R9。

相似地，由于弯曲基准面10的凸度所造成的折射效应（正的光功率）被衍射透镜（第二衍射光栅7）所形成的负的光功率降低，因此第二光栅表面12为具有曲率半径R12的凸形形状的，曲率半径R12在绝对

项上大于第二包络面10的曲率半径R10。

第一光栅表面11（第二光栅表面12）与第一光栅侧部13（第二光栅侧部14）之间所限定的角度 α_1 大于第一光栅表面11（第二光栅表面12）与通过在一个光栅尖端的位置处连接第一光栅部分6a（第二光栅部分7a）的光栅尖端所限定的第一包络面9（第二包络面10）的法线11a之间所限定的角度 α_2 ；即， $\alpha_1 > \alpha_2$ 。

图2中所示的每个第一光栅侧部13和第二光栅侧部14都是基本平行于光轴O的圆柱面。

具体地，R9约为44.0015mm，R11约为46.7597mm，因此， $R_9 < R_{11}$ 。R10约为44mm，R12约为45.7186mm，因此， $R_{10} < R_{12}$ 。

第一衬底4中的第一弯曲面4a和相对第一面4b和第二衬底5中的第二弯曲面5a和相对第二面5b都是弯曲面，并且每个衬底4和5都用作折射透镜。

下面将描述衍射光学元件1的衍射效率。

图14示出了包括衬底142和设置在衬底142上的透射光栅144的普通单层衍射光学元件141。在衍射光学元件141中，在设计波长 λ_0 下衍射效率为最大的一种状态是这样的，即，在垂直于光栅144入射的笔形光束的情况下，光栅部分144a的峰值与谷值之间的光路长度中的差异为波长的整数倍。因此，所述状态由以下等式（1）表示：

$$(n_{01}-1)d = m\lambda_0 \quad (1)$$

其中 n_{01} 是波长 λ_0 下的光栅部分144a的材料的折射率、 d 为光栅部分144a的光栅厚度、以及 m 为衍射级。

不满足等式（1）的用于另一个波长的第 m 级下的衍射效率由以下等式（2）表示：

$$\eta_m(\lambda) = [\sin\{\pi(\phi(\lambda)-m)\} / \{\pi(\phi(\lambda)-m)\}]^2 \quad (2)$$

其中 $\phi(\lambda)$ 由

$$\phi(\lambda) = \{n_1(\lambda)-1\}d/\lambda \text{ 给出,}$$

其中 $n_1(\lambda)$ 是波长 λ 下的光栅144的材料的折射率。

包括两个或多个衍射光栅的成层堆积的衍射光学元件显示出相

同的基本特征。为了使得所有层都用作独立衍射光栅，确定用于所有层的光路长度中的差异之和为波长的整数倍，每个差异被限定在形成于单个材料的每个边界面上的衍射部分的峰值与谷值之间。

因此，对于图2中所示的成层堆积的衍射光学元件1来说，在垂直于第一包络面9和第二包络面10入射的笔形光束的情况下，在设计波长 λ_0 下衍射效率为最大的一种状态由以下等式(3)表示：

$$\pm (n_{01}-1) d_1 \pm (n_{02}-1) d_2 = m\lambda_0 \quad (3)$$

其中 n_{01} 是波长 λ_0 下的第一衍射光栅6的第一光栅部分6a的材料折射率、 n_{02} 是波长 λ_0 下的第二衍射光栅7的第二光栅部分7a的材料折射率、 d_1 是第一衍射光栅6的第一光栅部分6a的光栅厚度、以及 d_2 是第二衍射光栅7的第二光栅部分7a的光栅厚度。

假定沿低于图2中所示的零级光线的一个方向衍射的光线衍射级为正的，以以下方式确定等式(3)中附于每层的光栅厚度的符号：图2中从顶部到底部在厚度方面增加的光栅（第一衍射光栅6）具有正号（即， $0 < d_1$ ）；相反，图2中从顶部到底部在厚度方面减小的光栅（第二衍射光栅7）具有负号（即， $d_2 < 0$ ）。

因此，图2中所示的结构中的等式(3)由以下等式(4)表示：

$$(n_{01}-1) d_1 - (n_{02}-1) d_2 = m\lambda_0 \quad (4)$$

如同单层衍射光学元件一样，不满足等式(3)的用于另一个波长下的衍射效率由以下等式(5)表示：

$$\eta_m(\lambda) = [\sin\{\pi(\phi(\lambda)-m)\} / \{\pi(\phi(\lambda)-m)\}]^2 \quad (5)$$

其中 $\phi(\lambda)$ 由

$$\phi(\lambda) = [\{n_1(\lambda)-1\}d_1 - \{n_2(\lambda)-1\}d_2] / \lambda \text{ 给出,}$$

其中 $n_1(\lambda)$ 是波长 λ 下的第一衍射光栅6的第一光栅部分6a的材料折射率、 $n_2(\lambda)$ 是波长 λ 下的第二衍射光栅7的第二光栅部分7a的材料折射率。

下面将使用特定示例进行描述。

第一衍射光栅6具有以下结构。第一光栅部分6a由可从Dainippon Ink and Chemicals, Inc购买到的紫外线固化树脂RC-C001（商品名）

($nd = 1.524$ 、 $vd = 50.8$) 制成并具有约 $7.5\mu\text{m}$ 的光栅厚度 $d1$ 。

相似地，第二衍射光栅7具有以下结构。第二光栅部分7a由紫外线固化树脂($nd = 1.696$ 、 $vd = 17.7$)制成并具有约 $4.78\mu\text{m}$ 的光栅厚度 $d2$ 。

以上所述的光栅高度(厚度) $d1$ 和 $d2$ 被最优化以便于如等式(4)和(5)所示的那样法向入射。图18示出了在该结构中第一级的衍射光线的衍射效率。如图18中明白示出的，适当地确定两个衍射光栅中每个的材料和光栅高度在多个波长(图18中的 440nm 和 620nm)下实现了100%的衍射效率并且还在所有可见范围内保持高衍射效率。具有100%的衍射效率的每个波长满足等式(3)。换句话说，在多个波长下，穿过多个衍射光栅的光线的光路长度中的最大差异(衍射部分的峰值和谷值之间的光路长度中的差异的最大值)为相应波长的整数倍。

接下来，将描述其中从垂直于第一包络面9和第二包络面10处在角度 $\theta(\lambda)$ 下倾斜的方向入射的笔形光束进入到第一衍射光栅6的情况。

在这种情况下，由以下等式(6)表示衍射效率：

$$\eta_m(\lambda) = [\sin\{\pi(\phi(\lambda) - m)\} / \{\pi(\phi(\lambda) - m)\}]^2 \quad (5)$$

其中 $\phi(\lambda)$ 由

$$\phi(\lambda) = [\{n1(\lambda) \cos\theta(\lambda) - \cos\theta_a(\lambda)\}d1 - \{n2(\lambda) \cos\theta_2(\lambda) - \cos\theta_a(\lambda)\}d2] / \lambda \text{ 给出,}$$

其中 $\theta_2(\lambda)$ 为在波长 λ 下离开第二衍射光栅7的一束笔形光束中第 m 级的衍射角，而 $\theta_a(\lambda)$ 为在波长 λ 下通过位于第一衍射光栅6和第二衍射光栅7之间的空气层8传播的笔形光束的角度。入射的笔形光束在 $\theta_a(\lambda)$ 角度下在仅包括第一衍射光栅6的结构中行进的方向通过以下等式(7)计算：

$$P \times (\sin\theta_a(\lambda) - n1(\lambda)\sin\theta(\lambda)) = ma \times \lambda \quad (7)$$

其中 P 为沿第一包络面9的正切方向投射的第一衍射光栅6的第一光栅部分6a的光栅节距， ma 为仅包括第一衍射光栅6的结构中的衍射级。在仅包括第一衍射光栅6的结构中， ma 为整数。

在本实施例所涉及的分层堆积的衍射光学元件中， ma 为实数。

这是由于第一衍射光栅6所衍射的光波相互干扰，光波在对应于第一衍射光栅6的第一光栅部分6a的光栅节距的衍射级中传播之前到达第二衍射光栅7，之后光波在第二衍射光栅7中相互干扰，最后，离开第二衍射光栅7的光波在特定衍射级中传播。

接下来，将描述本实施例所涉及的衍射光学元件的衍射效率与已知衍射光学元件的衍射效率之间的比较。图4示意性地示出了本实施例所涉及的衍射光学元件，而图5示意性地示出了已知衍射光学元件。在图4中，示出了远离光轴O并且邻近于圆周的衍射部分的截面。由于仅描述衍射效率，因此第一包络面9、第二包络面10、第一光栅表面11以及第二光栅表面12在图4中都表示为平面。第一包络面9和第二包络面10在一个与从垂直于光轴O的平面Oa处的面的切线相对应的倾斜角 δ 下倾斜。对于法线入射来说，在本实施例与已知结构之间衍射光学元件的衍射效率基本是相同的。

然而当第一包络面9和第二包络面10为倾斜时，光栅的不同级和定向大大改变了其特征。

图6和图7分别示出了在笔形光束从光轴O的方向入射的情况下图4和图5中所示的衍射光学元件中的衍射效率。在图6和图7中，三条线表示沿光轴O的入射线的衍射效率以及沿光轴 $O\pm 5^\circ$ 方向的入射线的衍射效率。

由于在图6中所示的本实施例所涉及的衍射光学元件与图7中所示的已知衍射光学元件之间，第一衍射光栅6的第一光栅部分6a的材料是不同的，因此入射角是指第一衬底4中的角度。

另外，具有正光功率的衍射透镜的光栅(图2中的第一衍射光栅6)的光栅高度 d_1 从先前所述的用于法线入射而最优化的光栅高度下改变，以使得衍射光学元件被最优化以便于用于从光轴O方向入射的光束的衍射效率。

下面将使用特定数值描述其详细内容。

第一包络面9和第二包络面10的倾斜角 δ 大约为 15° ，并且第一光

栅部分6a和第二光栅部分7a的光栅节距P为约160 μm 。

第一衬底4使用可从Ohara Inc购买到的S-NBH51（商品名）（ $n_d = 1.7495$ 、 $v_d = 35.3$ ）。如同先前所述的结构的情况一样，第一衍射光栅6的第一光栅部分6a由可从Dainippon Ink and Chemicals, Inc购买到的紫外线固化树脂RC-C001（商品名）（ $n_d = 1.524$ 、 $v_d = 50.8$ ）制成，第二衍射光栅7的第二光栅部分7a由紫外线固化树脂（ $n_d = 1.696$ 、 $v_d = 17.7$ ）制成。

来自于光轴方向的入射笔形光束La等于从法线9a处的角 δ 倾斜的入射光束，其中法线9a垂直于包络面。如果光栅高度d被最优化以用于从光轴方向入射的入射笔形光束La的衍射效率的话，那么第一衍射光栅6具有正的光功率并且光栅高度d1约为7.441 μm ，而第二衍射光栅7具有负的光功率并且光栅高度d2约为4.78 μm 。

如作为本实施例所涉及的衍射光学元件的衍射效率的图表的图6中所示的，由实线示出的用于从光轴方向入射的光束的最优衍射效率实现了与用于从垂直于包络面的方向入射的笔形光束最优化的衍射效率等效的功能，如图18中所示的。

接下来，将描述图5中所示的已知衍射光学元件。每个第一包络面9和第二包络面10的倾斜角以及每个第一衬底4和第二衬底5的材料都与第一实施例中相同。与第一实施例相比较，第一衍射光栅6和第二衍射光栅7的材料是相反的。如果光栅高度d被最优化以用于从光轴方向入射的入射光束La的衍射效率的话，那么第一衍射光栅6具有负的光功率并且光栅高度d1约为4.78 μm ，而第二衍射光栅7具有正的光功率并且光栅高度d2约为7.316 μm 。

如作为已知衍射光学元件的衍射效率的图表的图7中所示的，由实线示出的用于从光轴方向入射的光束的最优衍射效率也实现了与用于从垂直于包络面的方向入射的光束最优化的衍射效率等效的功能，如图18中所示的。

然而，如从图6和图7中可明白的，与已知衍射光学元件相比较，第一实施例所涉及的衍射光学元件具有用于从光轴O的 $\pm 5^\circ$ 方向入射

的笔形光束的明显提高的衍射效率。在已知衍射光学元件中，用于从光轴 $\pm 5^\circ$ 的方向入射的笔形光束的衍射效率大大低于从光轴方向入射的光束La的衍射效率，而在第一实施例所涉及的衍射光学元件中，衍射效率中的改变量减小到已知衍射光学元件中的大约一半。

以上所述的衍射效率没有考虑光栅侧部处的笔形光束的渐晕。只示出了由等式(6)和(7)计算的衍射效率中的改变。

接下来，将描述第一光栅侧部13和第二光栅侧部14的形状。在光学性能方面，必须使得第一光栅侧部13和第二光栅侧部14导致的入射笔形光束的渐晕最小化。因此，如果第一光栅侧部13和第二光栅侧部14被布置得平行于与入射线的入射角的分配重心相对应的射线的话，可使得第一光栅侧部13和第二光栅侧部14处的入射笔形光束的渐晕最小化。在与入射射束的重心相对应的射线为从光轴方向入射的射线的情况下，每个第一光栅侧部13和第二光栅侧部14的最佳形状都是图2中所示的与光轴O平行的圆柱面。

接下来，将描述本发明中的衍射光学元件的制造。在大规模生产方面，最好通过用其中形成有光栅形状的模具模制而制造衍射光学元件。在这种情况下，需要从模具中使得模压元件脱离出来。

图8示出了如何将第一衍射光栅6从模具中脱离出来的一个示例，例如，作为一个示例描述如图4中所示的由平行于第一包络面9的法线的平面构成的第一光栅侧部13。在图8中，为了将第一衍射光栅6从模具(模压模具)15中脱离出来，第一衍射光栅6将沿光轴O的方向与模具15相脱离。在这种情况下，由于第一光栅侧部13垂直于包络面，因此第一光栅侧部13被俘获在模具15中。

因此，难于沿光轴O的方向脱离该形状的第一光栅侧部13。

与此相反，当第一衍射光栅6的第一光栅侧部13由平行于光轴O的平面构成时，可沿光轴O的方向将第一光栅侧部13从模具15中脱离出来。在这种情况下，随着从光轴处的距离增加，第一光栅侧部13与在一个光栅尖端和第一包络面9之间的法线之间所限定的角度逐渐增加。

结合考虑所述光学性能和制造要求，确定第一光栅侧部13的形状。

如上所述的，依照本发明的该实施例，在每个第一包络面9和第二包络面10的曲率半径较小的情况下，本发明与已知衍射光学元件之间的差异是显著的。另外，在入射到光栅表面上的笔形光束从第一包络面9和第二包络面10的法线偏离到一侧的情况下，优点是显著的。因此，为了使得本实施例所涉及的衍射光学元件适用于光学系统，必须选择最佳面。例如，衍射光功率最好被施加于具有光学系统的焦距的十五分之一到其二分之一之间的曲率半径的面，并且包含焦距的十五分之一和二分之一。

在前述说明中，衍射光学元件具有球形弯曲基准面。衍射光学元件可具有一维光栅，如图9中所示的，球形弯曲基准面，或者可适用于任何表面，包括圆柱面和复曲面。

该实施例所涉及的衍射光学元件具有包括多个衍射光栅的成层堆积的结构，但是该实施例的优点不受限于成层堆积的衍射光学元件。使得本发明适用于包括单个衍射光栅的单层衍射光学元件可实现相同的优点。

根据上述衍射光学元件，甚至当成层堆积的结构中的衍射光栅被形成在弯曲面上时也可保持高衍射效率。甚至当衍射光学元件被包含于光学系统中时也可有效地抑制光斑。

具体地，该实施例所涉及的衍射光学元件可用于成层堆积的衍射光学元件，所述成层堆积的衍射光学元件易于具有更大厚度（包括由具有不同色散的材料构成的至少两个衍射光栅的成层堆积的衍射光学元件）。通过使用其中通过连接光栅尖端与光栅部分的光栅表面所限定的包络面都是弯曲面的衍射光栅作为成层堆积的衍射光学元件的至少一个衍射光栅，如上所述的优点是显著的。

第二实施例

在第一实施例中，成层堆积的衍射光学元件具有彼此相邻布置的两个衍射光栅，在它们之间形成有空气层。本发明中的衍射光学元件

不局限于这种结构，而是可适用于图10中所示的成层堆积的衍射光学元件1。

在图10中所示的结构中，与第一实施例中一样的第二衍射光栅被如此布置，即，使得第二光栅表面被布置在两种不同材料的分界面上。在第二实施例中，第三衍射光栅16被布置在空气层8的一部分中。因此，与第三衍射光栅16的光栅表面相对的面10a是具有与每个第一包络面9和第二包络面10基本相同曲率的弯曲面。

在这种情况下，与第一实施例的情况一样，第二光栅表面12具有比第二包络面10的曲率半径大的曲率半径。

第三实施例

在第一实施例中，第一衍射光栅6和第二衍射光栅7彼此相邻。这种结构要求精确地确定这两个衍射光栅的相对位置。

在第三实施例中，如图11中所示的，第一衍射光栅6被粘结于第二衍射光栅7，其中粘结层18处于未形成有光栅部分的部分处。如果一直到粘结的装配操作都在净化室中执行的话，就可大大减少尘粒附着于第一光栅表面11和第二光栅表面12。

另外，在将第一光栅表面11和第二光栅表面12粘结在一起之后，操作者等不会接触第一光栅表面11和第二光栅表面12。因此，大大提高了将衍射光学元件1合并于另一个光学系统中的可操作性。

第四实施例

在上述实施例所涉及的衍射光学元件中，第一衬底4和第一光栅表面11是由相互不同的材料制成的。然而本发明不局限于这种结构。光栅表面可由与衬底相同的材料制成并且可与衬底整体形成。

这种结构允许衬底的外径与光栅的中心的精确定位。对于具有透镜形状的衬底来说，衬底透镜的中心与光栅的中心可被精确地定位。

因此，提高了当本发明的衍射光学元件被合并于另一个透镜中时的光轴对准的精确度，因此，可明显减少由于衍射光学元件的偏离中心导致的诸如成像特性的降级等像差降级。

第五实施例

图12示出了第五实施例所涉及的使用本发明衍射光学元件的光学系统，并且示出了用于拍摄图片的光学系统的横截面。所述图片拍摄光学系统的示例包括数字式摄像机和胶片摄影机。在图12中，光学系统包括包含孔102的图片拍摄透镜101和本发明的衍射光学元件1。光学系统还包括用作成像表面的胶片103或电荷耦合器件（CCD）103。

本发明的衍射光学元件的使用显著提高了衍射效率相对波长的相关性，因此，获得了更少光斑并且在低频下实现高分辨率的高性能的图片拍摄透镜。

可通过简单的制造工艺制造本发明的衍射光学元件，因此，可提供具有出色可制造性的便宜的图片拍摄光学系统。

在图12中，本发明的衍射光学元件被布置在前透镜元件所粘结的面上。然而本发明不局限于这种结构。衍射光学元件可被布置在透镜的表面上。或者，可使用多个衍射光学元件。

在该实施例中，衍射光学元件用在摄像机等的图片拍摄透镜中。然而本发明不局限于这种结构。在广波长范围内使用的成像光学系统中所使用的衍射光学元件实现了相同的优点。所述成像光学系统的示例包括摄像机的图片拍摄透镜、图像扫描仪以及数字复印机的读出器透镜。

第六实施例

图13示出了第六实施例所涉及的使用本发明衍射光学元件的光学系统，并且示出了用于观测的光学系统的横截面，诸如双目镜。在图13中，光学系统包括用作衍射光学元件的物镜1、用于树立图像的棱镜104、目镜105以及评价表面（瞳孔表面）。

在图13中，物镜1使用本发明的衍射光学元件。物镜（衍射光学元件）1用于为物镜系统校正成像面上的色差等。

本发明的衍射光学元件的使用显著提高了衍射效率相对波长的相关性，因此，获得了减少光斑并且在低频下实现高分辨率的高性能的物镜。另外，可通过简单的制造工艺制造本发明的衍射光学元件，因此，可提供具有出色可制造性的便宜的图片拍摄光学系统。

在该实施例中，物镜使用衍射光学元件。然而本发明不局限于这种结构。用在棱镜表面中或目镜中的衍射光学元件可实现相同的优点。然而，由于在与物体相邻的侧部处相对于成像面布置衍射光学元件仅减少了物镜的色差，因此在目测系统中，期望将衍射光学元件至少设置在与物镜相邻的侧部处。

在该实施例中，光学系统为双目镜。然而本发明不局限于这种结构。光学系统可为地面望远镜、天文望远镜、或光学取景器，诸如镜头快门摄像机或摄影机。

如上所述的，在每个实施例中，衍射光学元件用在广波长范围内，具有其中由具有不同色散的至少两种材料构成的至少两个衍射光栅被彼此相邻地布置的分层堆积结构，并且在所有使用波长范围内在特定级（设计级）下具有高衍射效率。在连接每个衍射光栅的光栅尖端的包络面为弯曲面的情况下，衍射光学元件具有其曲率半径大于包络面的曲率半径的光栅表面。

因此，即使衍射光栅被布置在具有小曲率半径的弯曲面上，也能提供抑制衍射效率减小的衍射光学元件。

依照一个方面，两个衍射光学元件在其中两个衍射光栅中都未形成有衍射部分的区域处被粘结在一起。这种结构显著提高了处理衍射光学元件的便利性并且减少了尘粒附着于衍射光学元件。

依照一个方面，衍射光学元件包括至少一个衍射光栅并且在使用波长范围内在特定级（设计级）下具有高衍射效率。在连接衍射光栅的光栅尖端的包络面为弯曲面的情况下，衍射光学元件具有其曲率半径大于包络面的曲率半径的光栅表面。

因此，即使衍射光栅被布置在具有小曲率半径的弯曲面上，也能提供抑制衍射效率减小的衍射光学元件。

依照一个方面，衬底和衍射光栅的光栅部分由相同材料制成并且它们被整体形成。因此，可在高精度度下执行衬底的外径与光栅的中心的定位，并且，在衬底为透镜的情况下，可在高精度度下执行衬底的中心与光栅的中心的对准。因此，可显著减少由于偏离中心导致的

成像性能的降级，从而获得高性能透镜系统。

另外，对于用在图像拍摄透镜中的衍射光学元件来说，可获得具有高精确度的便宜图像拍摄透镜。对于用在观测光学系统中的衍射光学元件来说，可获得具有高精确度的便宜观测光学系统。

虽然已参照示范性实施例描述了本发明，但是应该理解的是，本发明不局限于所描述的实施例。相反，本发明趋向于覆盖包含在所附权利要求的精神和保护范围内的各种修正和等效布置。以下权利要求的范围应依照最广义的解释，从而使之包含所有所述修正和等效结构以及功能。

图1

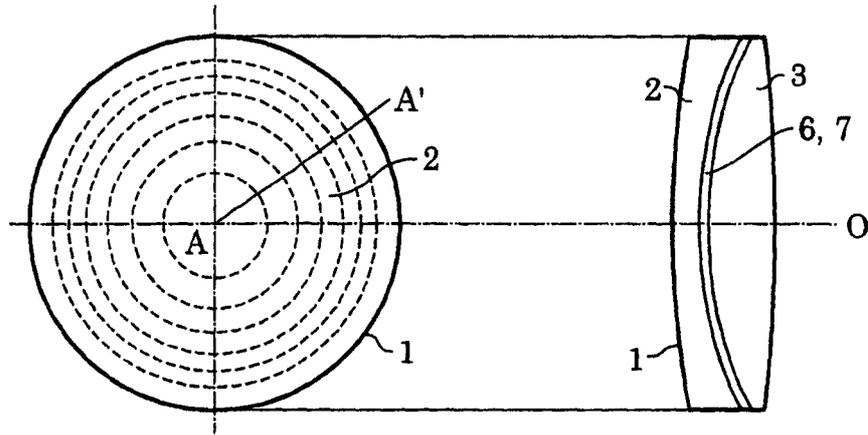


图2

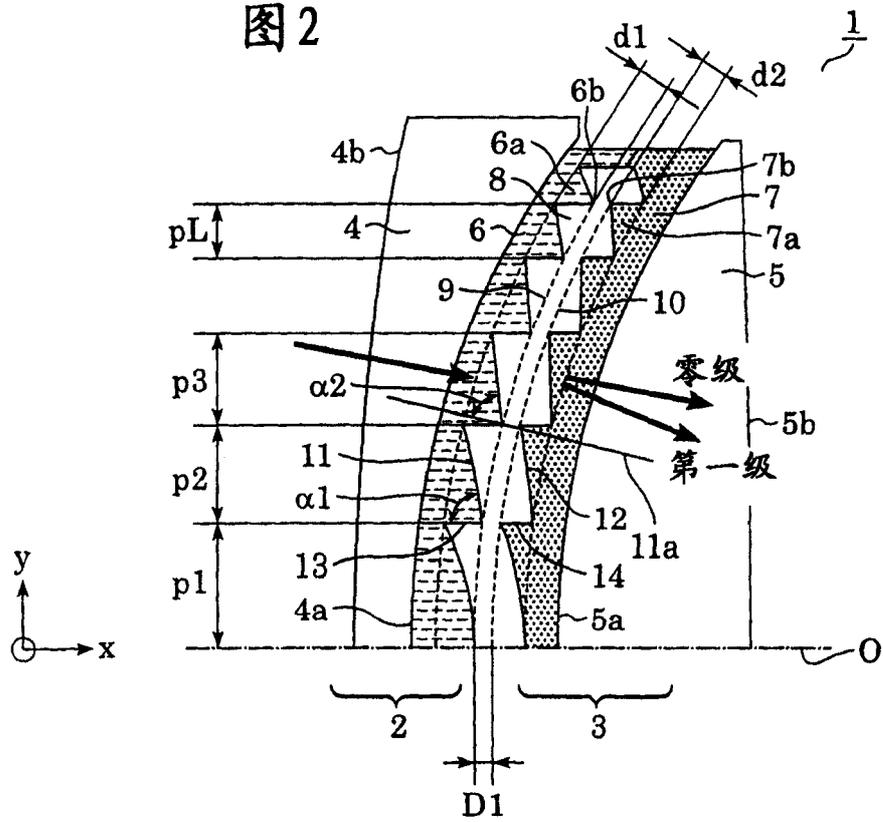


图3

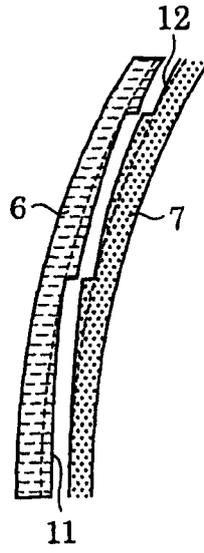


图4

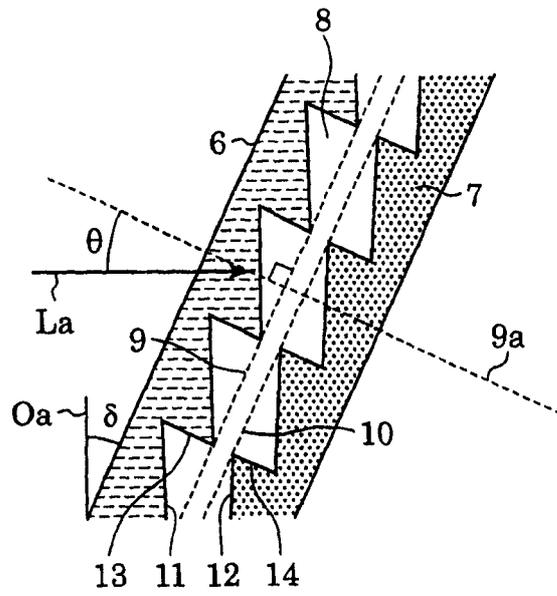


图5
现有技术

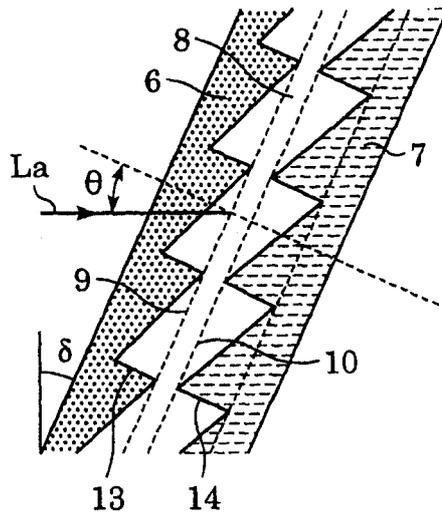


图6

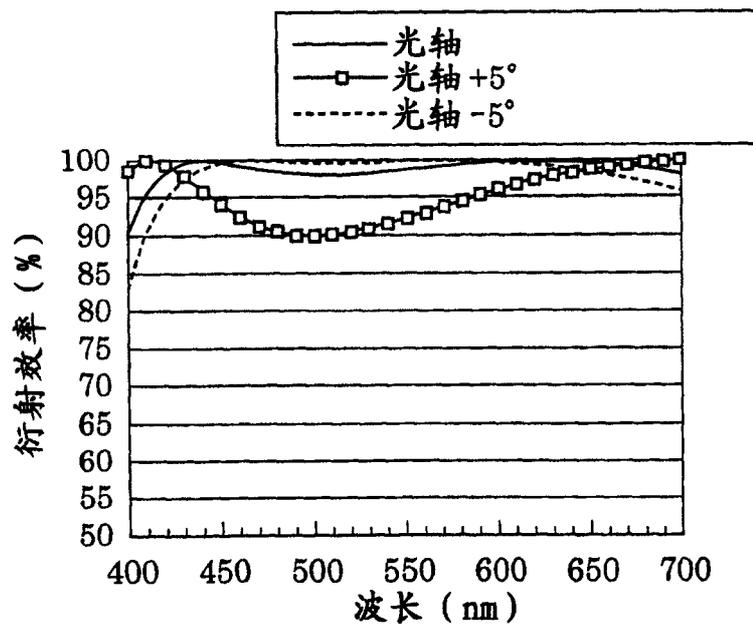


图7
现有技术

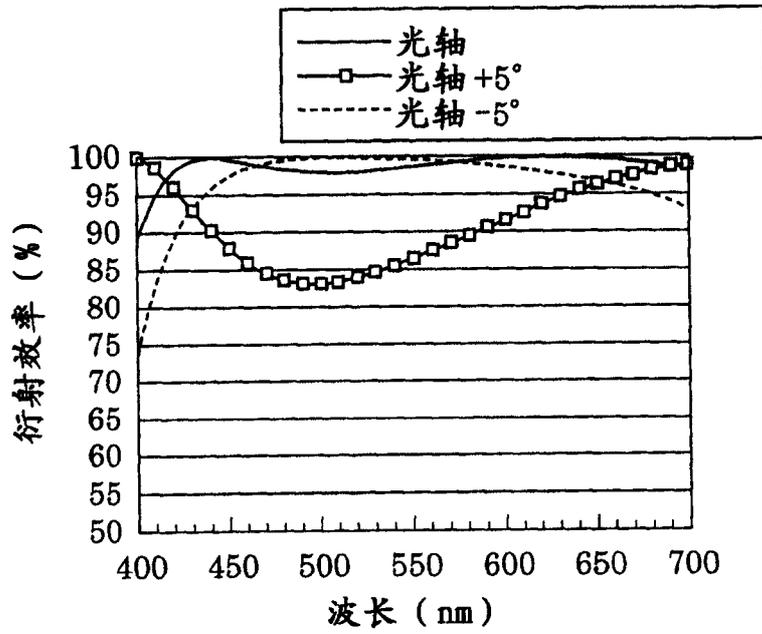


图8

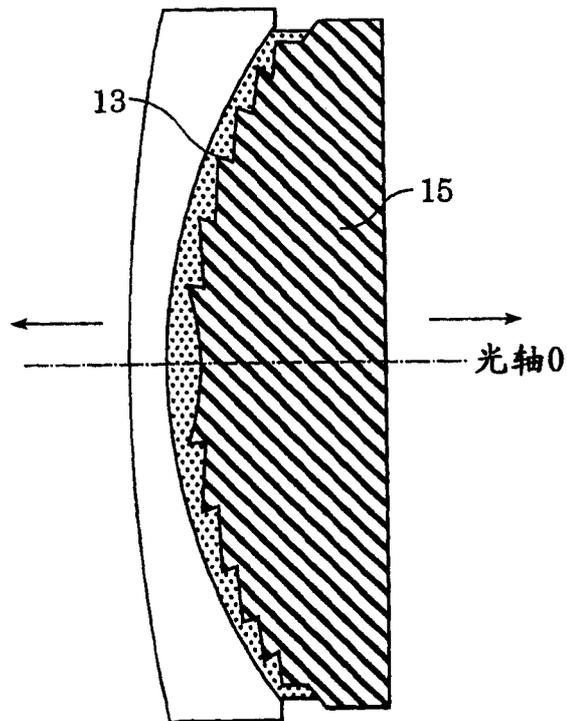


图9

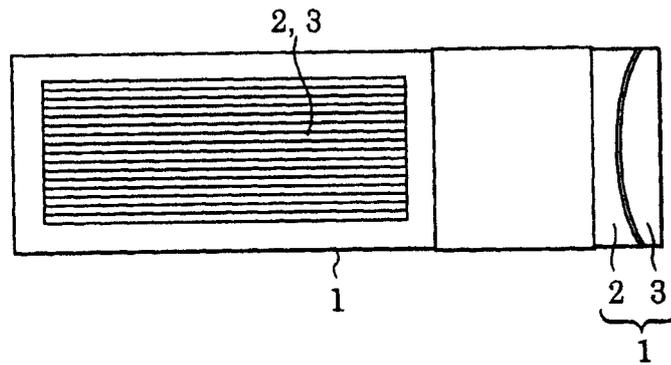


图10

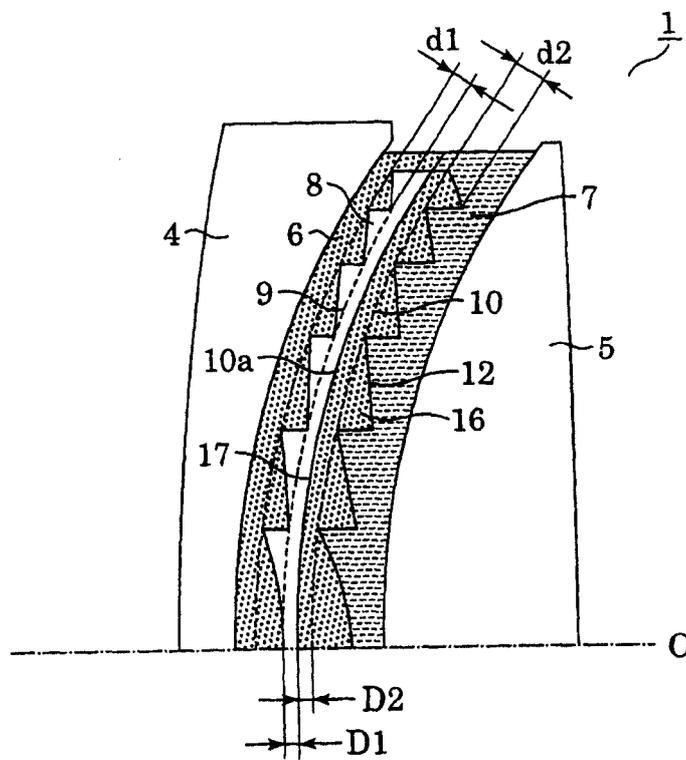


图 11

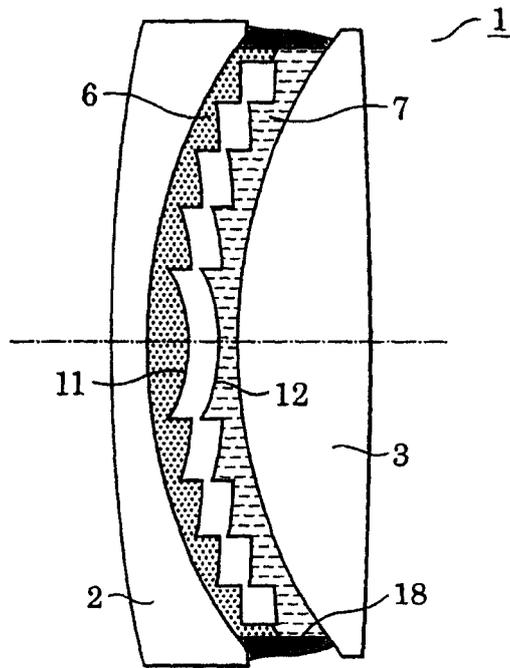


图 12

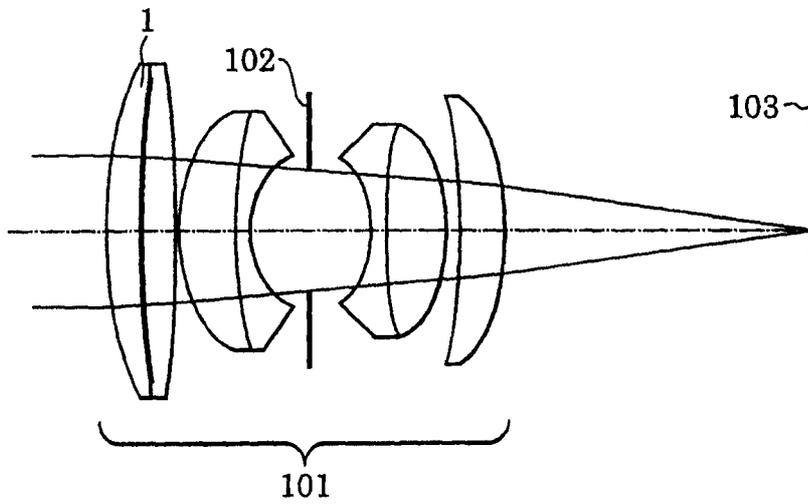


图13

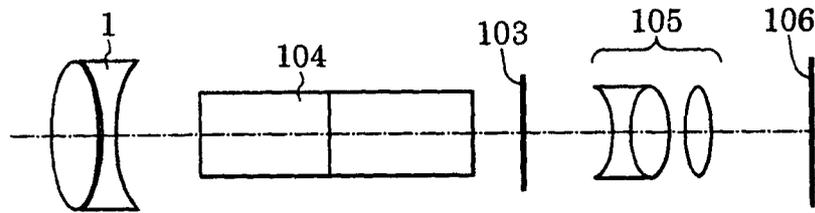


图14 现有技术

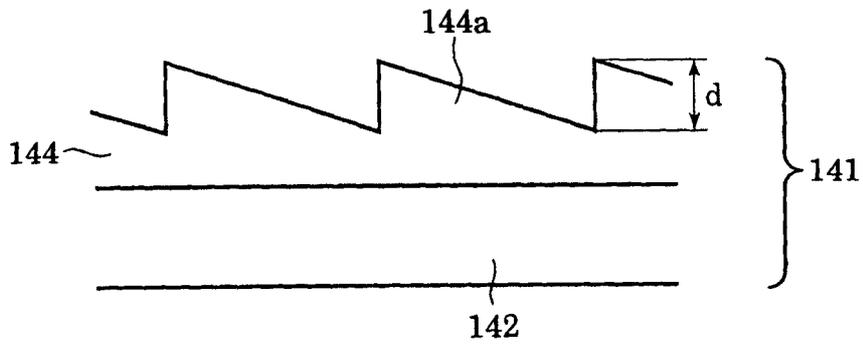


图15 现有技术

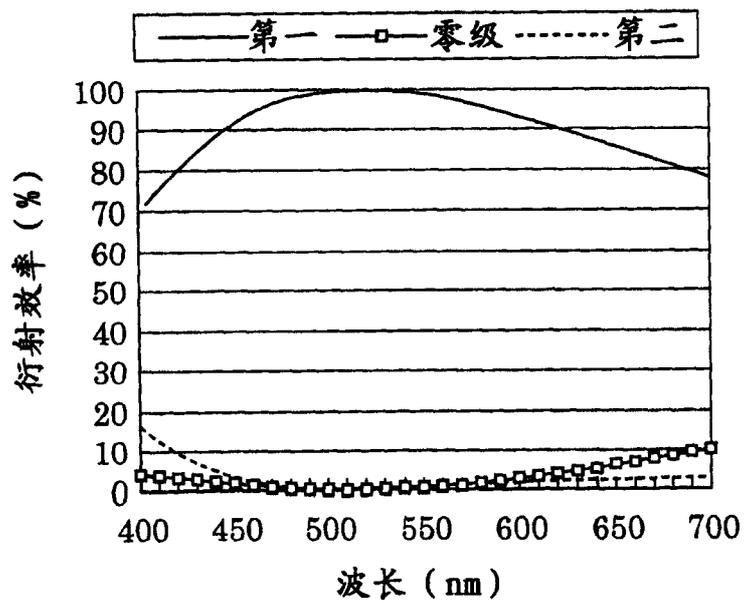


图16 现有技术

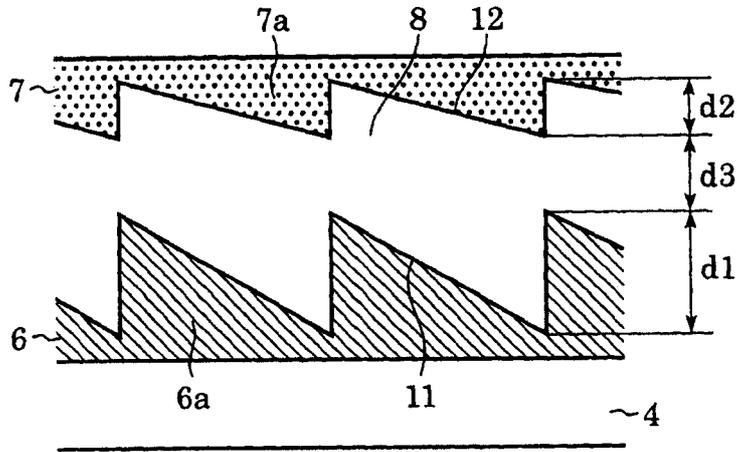


图17 现有技术

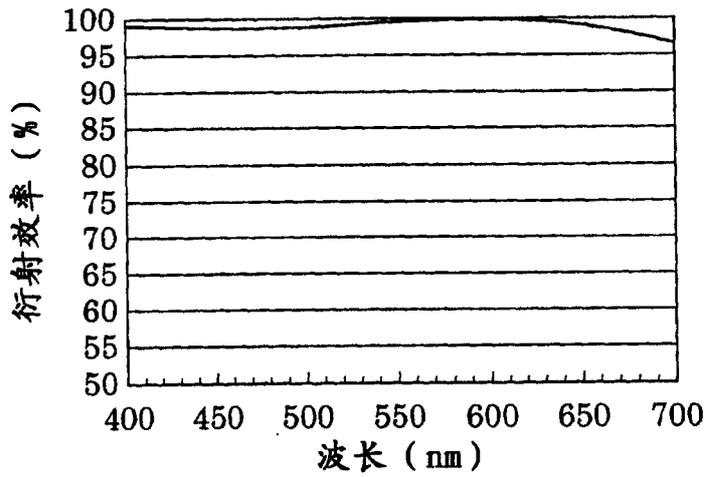


图18 现有技术

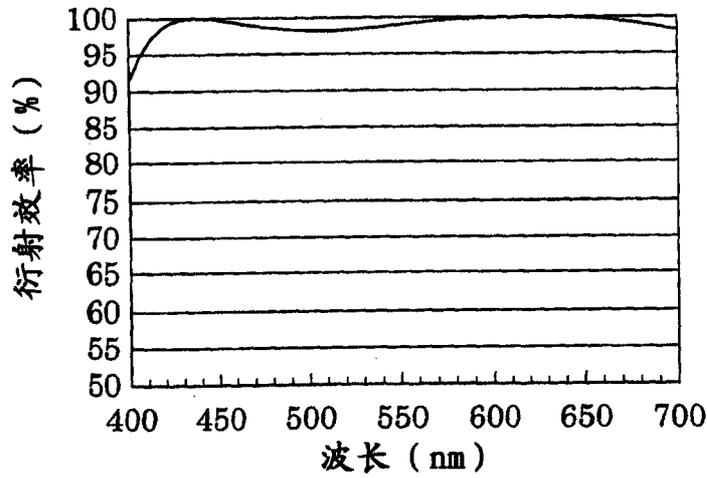


图19 现有技术

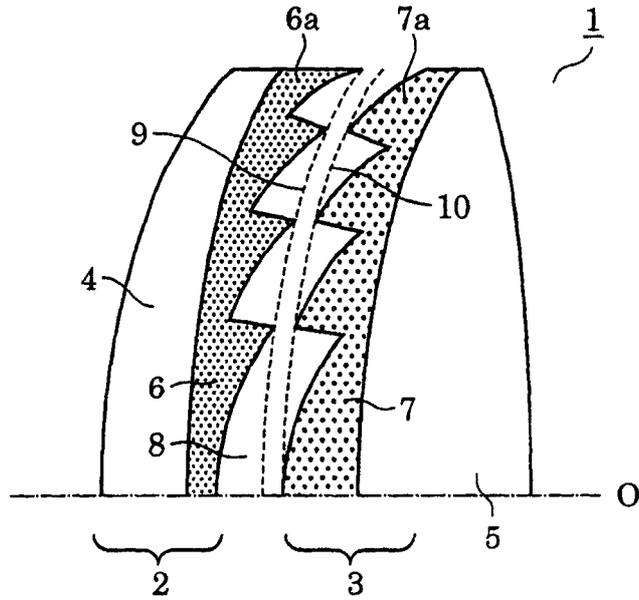


图20 现有技术

