



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109416469 B

(45) 授权公告日 2021.06.22

(21) 申请号 201780009430.1

(22) 申请日 2017.03.21

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109416469 A

(43) 申请公布日 2019.03.01

(30) 优先权数据  
62/311,141 2016.03.21 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2018.08.02

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/CA2017/000061 2017.03.21

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02017/161437 EN 2017.09.28

(73) 专利权人 苹果公司  
地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 I·鲍威尔 S·弗丁-德施尼斯

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所  
有限公司 11038  
代理人 宿小猛

(51) Int.Cl.  
G02B 27/01 (2006.01)  
G02B 3/08 (2006.01)

(56) 对比文件  
US 5999147 A, 1999.12.07  
US 2004085517 A1, 2004.05.06  
US 2016011341 A1, 2016.01.14  
US 5999147 A, 1999.12.07  
EP 0949826 A2, 1999.10.13  
JP H07244246 A, 1995.09.19

审查员 刘丹

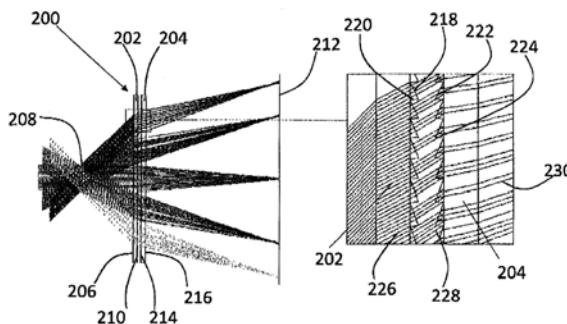
权利要求书2页 说明书10页 附图14页

(54) 发明名称

包括菲涅耳透镜元件的光学装置

(57) 摘要

本发明提供了一种光学透镜装置,所述光学透镜装置包括第一菲涅耳透镜元件和第二透镜元件。所述第一菲涅耳透镜元件限定平坦表面侧和相反的小平面表面侧,所述小平面表面侧限定楔形面和拔模面。所述平坦表面侧面向用户的眼睛,并且所述相反的小平面表面侧背对用户的眼睛。所述第二透镜元件与第一菲涅耳透镜的所述小平面表面侧相交接。所述第二透镜元件选自自由以下项组成的组:第二菲涅耳透镜元件、单片透镜元件、双合透镜元件及它们的任何组合。所述第一菲涅耳透镜相对于用户的眼睛处于近侧,并且所述第二透镜元件相对于用户的眼睛处于远侧。本发明提供了包括这些光学透镜装置的头戴式设备(HMD)。还提供了制造这种光学透镜装置和HMD的方法。



具有朝向彼此的小平面表面的菲涅耳透镜对

1. 一种光学透镜装置,包括:

第一菲涅耳透镜元件,所述第一菲涅耳透镜元件限定平坦表面侧和相反的小平面表面侧,所述相反的小平面表面侧限定楔形面和拔模面,所述平坦表面侧面向用户的眼睛并且所述相反的小平面表面侧背对所述用户的眼睛;和

第二平凸非球面透镜元件,所述第二平凸非球面透镜元件限定平坦表面侧和相反的弯曲表面侧,所述平坦表面侧面向所述第一菲涅耳透镜元件的所述小平面表面侧,所述相反的弯曲表面侧背对所述第一菲涅耳透镜元件。

2. 根据权利要求1所述的光学透镜装置,其中所述第一菲涅耳透镜元件的所述拔模面包括黑色吸收涂层或染料。

3. 根据权利要求1所述的光学透镜装置,其中所述第一菲涅耳透镜元件的所述拔模面包括粗糙漫射饰面。

4. 根据权利要求1所述的光学透镜装置,其中所述第一菲涅耳透镜元件的所述拔模面包括抗反射涂层。

5. 根据权利要求1所述的光学透镜装置,其中所述光学透镜装置限定光轴,在所述光学透镜装置的所述光轴所处的平面中在所述拔模面与所述光轴之间限定拔模角,其中所述拔模角被布置为使穿过所述光学透镜装置的光线设置成针对特定瞳孔位置与拔模面几乎大体上平行。

6. 根据权利要求1所述的光学透镜装置,其中所述第一菲涅耳透镜元件的所述平坦表面侧包括衍射表面。

7. 根据权利要求6所述的光学透镜装置,其中所述衍射表面包括二元表面。

8. 根据权利要求1所述的光学透镜装置,包括与所述第一菲涅耳透镜元件和所述第二平凸非球面透镜元件之间的空间相邻的二元表面。

9. 根据权利要求1所述的光学透镜装置,其中所述第一菲涅耳透镜元件与所述第二平凸非球面透镜元件之间的距离为约0mm至约5mm。

10. 一种头戴式设备,包括:

数据图像处理器;

显示屏,所述显示屏与所述数据图像处理器通信以用于为用户显示视频;和

光学透镜装置,所述光学透镜装置包括:

第一菲涅耳透镜元件,所述第一菲涅耳透镜元件限定平坦表面侧和相反的小平面表面侧,所述相反的小平面表面侧限定楔形面和拔模面,所述平坦表面侧背对显示屏并且所述相反的小平面表面侧面向所述显示屏;和

第二平凸非球面透镜元件,所述第二平凸非球面透镜元件限定平坦表面侧和相反的弯曲表面侧,所述平坦表面侧面向所述第一菲涅耳透镜元件的所述小平面表面侧,所述相反的弯曲表面侧背对所述第一菲涅耳透镜元件。

11. 根据权利要求10所述的头戴式设备,其中所述第一菲涅耳透镜元件的所述拔模面包括以下中的至少一者:黑色吸收涂层或染料、粗糙漫射饰面或抗反射涂层。

12. 根据权利要求10所述的头戴式设备,其中所述光学透镜装置限定光轴,在所述光学透镜装置的所述光轴所处的平面中在所述拔模面与所述光轴之间限定拔模角,其中所述拔模角被布置为使穿过所述光学透镜装置的光线设置成针对特定瞳孔位置与拔模面几乎大

体上平行。

13. 一种制造透镜装置的方法,包括:

提供第一菲涅耳透镜元件,所述第一菲涅耳透镜元件限定平坦表面侧和相反的小平面表面侧,所述相反的小平面表面侧限定楔形面和拔模面,所述平坦表面侧被定位为面向用户的眼睛并且所述相反的小平面表面侧被定位为背对所述用户的眼睛;以及

将第二平凸非球面透镜元件定位在所述第一菲涅耳透镜元件的前方,所述第二平凸非球面透镜元件限定平坦表面侧和相反的弯曲表面侧,所述平坦表面侧面向所述第一菲涅耳透镜元件的所述小平面表面侧,所述相反的弯曲表面侧背对所述第一菲涅耳透镜元件。

## 包括菲涅耳透镜元件的光学装置

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本专利申请要求于2016年3月21日提交的美国临时专利申请No. 62/311,141的优先权,该美国专利申请全文以引用方式并入本文。

### 技术领域

[0003] 本公开涉及光学装置。更具体地但非排他性地,本公开涉及包括至少一个菲涅耳透镜元件的光学装置。

### 背景技术

[0004] 虚拟现实是计算机模拟的环境,可以让用户沉浸在真实或虚拟的世界中。虽然虚拟现实系统已经有数十年了,但随着计算机和显示技术的发展,它才刚刚成熟到足以提供具有宽视场(FOV)、低延迟跟踪和高分辨率显示的立体观看。沉浸在虚拟现实中的目的是说服用户将非物理世界视为现实世界。这里的现实观念更多地指的是感知合理性的概念。有若干重要因素影响沉浸,并且这些因素包括但不限于系统延迟、显示分辨率、失真校正质量和FOV。头戴式显示器(HMD)最初是针对军事和航空应用而采用的头盔显示器甚至飞行模拟器的形式,但现在在游戏、娱乐、培训、模拟、制造/维护、设计和医疗应用中已变得司空见惯。

[0005] 存在于军事和医疗设备中的光学系统通常是复杂的、制造成本昂贵,并且通常提供小FOV(对角线小于 $90^\circ$ ,高分辨率)。军事和医疗设备应用通常可容许小FOV和更多重量,然而,对于企业和消费者应用而言,成本、重量和FOV在决定产品的成功方面起着重要作用。光学系统需要简单、价格便宜、相对容易大批量制造并提供极佳的沉浸感。极佳的沉浸感意味着大FOV。在游戏应用中采用的透镜的功能可以说是不太苛刻,因为它们基本上起到放大电子显示器上呈现的图像的接目镜或目镜的作用。通常采用的透镜类型从单个元件到多达三个。但是,由于重量和尺寸的限制,单个的形式通常是最受欢迎的。允许一个或两个表面被非球面化,从而使单色像差校正相比于球面型透镜可大大改善,但色像差几乎保持不变。由于其比重低和生产成本低,因此所选材料通常是塑料,诸如丙烯酸、聚碳酸酯、环烯烃聚合物或共聚物。然而性能仍然受到影响,这是因为为了允许舒适的观看,透镜的规格要求非常苛刻,其中视场(FOV)通常超过90度,眼量测量高达 $12(W) \times 5(H) \times 5(D)$  mm。由于在单片透镜构造中仅使用一种类型的材料,所以不能实现色像差校正—色像差校正是对不可避免地存在的残余单色像差的补充。随着计算机速度越来越快,软件越来越复杂,由色像差引起的一些彩色边纹可得到补偿。然而,这只能被视为对问题的部分解决方案,因为边纹会随着在窥眼箱(eye-box)内眼睛的位置而发生变化。

[0006] 目标

[0007] 本公开的目标是提供包括至少一个菲涅耳透镜元件的光学装置。

## 发明内容

[0008] 一种光学透镜装置,包括:第一菲涅耳透镜元件,其限定平坦表面侧和相反的小平面表面侧,该小平表面表面侧限定楔形面和拔模面,该平坦表面侧面向用户的眼睛并且相反的小平面表面侧背对用户的眼睛;以及第二透镜元件,其与第一菲涅耳透镜的小平面表面侧相交并且选自以下项组成的组:第二菲涅耳透镜元件、单片透镜元件、双合透镜元件以及它们的任何组合,其中第一菲涅耳透镜相对于用户的眼睛处于近侧,并且第二透镜元件相对于用户的眼睛处于远侧。

[0009] 在实施方案中,第一菲涅耳元件的拔模面包括黑色吸收涂层或染料。在实施方案中,第一菲涅耳元件的拔模面包括粗糙漫射饰面。在实施方案中,第一菲涅耳元件的拔模面包括抗反射涂层。

[0010] 在实施方案中,透镜装置限定光轴,在光轴所处的平面中在拔模面与透镜装置的光轴之间限定拔模角,其中该拔模角被布置用于使穿过光学透镜装置的光线设置成与针对特定瞳孔位置的拔模面几乎大体上平行。

[0011] 在实施方案中,光学透镜装置还包括由第一菲涅耳透镜元件或第二透镜元件中的任一者限定的至少一个光学表面的衍射结构。

[0012] 在实施方案中,第二透镜元件包括第二菲涅耳透镜,该第二菲涅耳透镜限定平坦表面侧和相反的小平面表面侧,该小平表面表面侧限定楔形面和拔模面。在实施方案中,第二菲涅耳透镜的小平面表面侧面向第一菲涅耳透镜的小平面侧,并且第二菲涅耳透镜的相反的小平面表面侧背对第一菲涅耳透镜。在实施方案中,第二菲涅耳透镜的平坦表面侧面向第一菲涅耳透镜的小平面侧,并且第二菲涅耳透镜的相反的小平面表面侧背对第一菲涅耳透镜。在实施方案中,第二菲涅耳元件的拔模面包括黑色吸收涂层或染料。在实施方案中,第二菲涅耳元件的拔模面包括粗糙漫射饰面。在实施方案中,第二菲涅耳元件的拔模面包括抗反射涂层。在实施方案中,透镜装置限定光轴,在光轴所处的平面中在拔模面与透镜装置的光轴之间限定拔模角,其中该拔模角被布置用于使穿过光学透镜装置的光线设置成与针对特定瞳孔位置的拔模面几乎大体上平行。

[0013] 在实施方案中,第二透镜元件包括单片透镜元件。在实施方案中,单片透镜元件包括非球面透镜。在实施方案中,非球面透镜包括限定平坦表面侧和相反的弯曲表面侧的平凸非球面透镜,该平坦表面侧面向第一菲涅耳透镜元件的小平面侧,该相反的弯曲表面侧背对第一菲涅耳透镜元件。在实施方案中,菲涅耳透镜的平坦表面侧包括衍射表面。在实施方案中,该衍射表面包括二元表面。在实施方案中,单片透镜元件包括面向第一菲涅耳透镜元件的小平面侧的后表面和背对第一菲涅耳透镜的前表面。在实施方案中,单片透镜的后表面包括嵌入的二元表面。在实施方案中,第三透镜元件安装到单片透镜的后表面。在实施方案中,第三透镜元件包括面向第一菲涅耳透镜的小平面表面侧的二元表面。

[0014] 在实施方案中,第二透镜元件包括双合透镜元件。

[0015] 在实施方案中,第一菲涅耳透镜元件与第二透镜元件之间的距离为约0mm至约5mm。

[0016] 在实施方案中,透镜装置可安装到待由用户佩戴以向用户显示视频图像的头戴式设备。

[0017] 根据本公开的另一方面,提供了一种待由用户佩戴以向用户显示视频图像的头戴

式设备,该头戴式设备包括:数据图像处理器;安装到头戴式设备并与数据图像处理器通信以向用户显示视频图像的显示屏;以及根据本文所定义的光学透镜装置,其中当用户佩戴该头戴式设备时,该光学透镜装置定位在显示屏和用户的眼睛之间。

[0018] 根据本公开的另一方面,提供了制造透镜装置的方法,包括:提供限定平坦表面侧和相反的小平面表面侧的第一菲涅耳透镜元件,该小平表面表面侧限定楔形面和拔模面,平坦表面侧被定位用于面向用户的眼睛并且相反的小平面表面侧被定位用于背对用户的眼睛;将第二透镜元件定位在第一菲涅耳元件的前方,以用于与第一菲涅耳透镜的小平面侧相交接,该第二透镜元件由以下项组成的组:第二菲涅耳透镜元件、单片透镜元件、双合透镜元件以及它们的任何组合。

[0019] 在实施方案中,该方法还包括将黑色吸收涂层或染料施加到第一菲涅耳元件的拔模面上。在实施方案中,该方法还包括为拔模面提供粗糙饰面。在实施方案中,该方法还包括将抗反射涂层施加到拔模面。

[0020] 在该方法的实施方案中,透镜装置限定光轴,在光轴所处的平面中在拔模面与透镜装置的光轴之间限定拔模角,该方法还包括将拔模角布置成用于使穿过光学透镜装置的光线设置成与拔模面几乎大体上平行。

[0021] 在该方法的实施方案中,该方法还包括将衍射结构提供给由第一菲涅耳透镜元件或第二透镜元件中的任一者限定的至少一个光学表面。

[0022] 在该方法的一个实施方案中,第二透镜元件包括第二菲涅耳透镜,该第二菲涅耳透镜限定平坦表面侧和相反的小平面表面侧,该小平表面表面侧限定楔形面和拔模面。在实施方案中,该方法还包括将第二菲涅耳透镜元件定位成使得其小平表面表面侧面向第一菲涅耳透镜的小平面侧。在实施方案中,该方法还包括将第二菲涅耳透镜元件定位成使得其平坦表面侧面向第一菲涅耳透镜的小平面侧。在实施方案中,该方法还包括将黑色吸收涂层或染料施加到第二菲涅耳元件的拔模面上。在实施方案中,该方法还包括为第二菲涅耳元件的拔模面提供粗糙漫射饰面。在实施方案中,该方法还包括将抗反射涂层施加到第二菲涅耳元件的拔模面。

[0023] 在该方法的实施方案中,透镜装置限定光轴,在光轴所处的平面中在拔模面与透镜装置的光轴之间限定拔模角,该方法还包括将第二菲涅耳透镜元件的拔模角布置成使提供穿过光学透镜装置的光线设置成与第二菲涅耳透镜元件的拔模面几乎大体上平行。

[0024] 在实施方案中,该方法还包括将第三透镜元件安装到第二透镜元件,该第三透镜元件被插入第一菲涅耳透镜元件和第二透镜元件之间。

[0025] 在实施方案中,该方法还包括将第二透镜元件定位在与第一菲涅耳透镜元件相距约0mm至约5mm的距离处。

[0026] 根据本公开的一个方面,提供了一种制造待由用户佩戴以向用户显示视频图像的头戴式设备的方法,该头戴式设备包括数据图像处理器以及安装到头戴式设备并与数据图像处理器通信以向用户显示视频图像的显示屏;该方法包括:当用户佩戴该头戴式设备时,将如本文所定义的光学透镜装置安装到头戴式设备以定位在显示屏和用户的眼睛之间。

[0027] 光学装置也被称为接目镜装置,还被称为目镜、组件、构造、系统或配置。

[0028] 通过参考附图,阅读以下仅以举例方式给出的本发明的示例性实施方案的非限制性描述,本公开的其他目标、优点和特征将变得更加明显。

**附图说明**

[0029] 在附图中：

[0030] 图1A是在90度FOV以上使用的现有技术接目镜的示意图；

[0031] 图1B描绘了与图1的透镜相关联的点列图，其为场位置和波长的函数 ( $\tau$ 是分数布朗随机场 (fractional field) 坐标，因此 $\tau=1$ 表示FOV的边缘)；

[0032] 图2A是作为具有朝向瞳孔 (窥眼箱) 的小平面表面的接目镜操作的菲涅耳透镜的示意图；

[0033] 图2b描绘了与图2A的透镜装置相关联的点列图；

[0034] 图2C描绘了与图2A的透镜装置相关联的整个FOV上的照明下降；

[0035] 图3A是作为具有背离瞳孔 (窥眼箱) 的小平面表面的接目镜操作的典型菲涅耳透镜的示意图；

[0036] 图3B描绘了与图3a的透镜装置相关联的点列图；

[0037] 图3C描绘了与图3A的透镜装置相关联的整个FOV上的照明下降 (由来自拔模面的阻挡所致)；

[0038] 图4是通过 (a)、(b) 和 (c) 中所示的各种菲涅耳表面的显示光束轨迹的示意图 (展开图)；

[0039] 图5A是根据本公开的透镜装置的非限制性示例性实施方案的示意图，该透镜装置包括具有面向彼此的小平面表面的一对菲涅耳透镜；

[0040] 图5B描绘了与图5A的透镜装置相关联的点列图；

[0041] 图5C描绘了与图5A的透镜装置相关联的整个FOV上的照明下降；

[0042] 图6A是根据本公开的透镜装置的另一非限制性示例性实施方案，该透镜装置包括一对菲涅耳透镜，其具有背对瞳孔 (窥眼箱) 的两个小平面表面；

[0043] 图6B描绘了与图6A的透镜装置相关联的点列图；

[0044] 图6C描绘了与图6A的透镜装置相关联的整个FOV上的照明下降；

[0045] 图7A示出了根据本公开的透镜装置的又一个非限制性示例性实施方案，该透镜装置包括菲涅耳透镜和单片透镜组合；

[0046] 图7B描绘了与图7A的透镜装置相关联的点列图；

[0047] 图7C描绘了与图7A的透镜装置相关联的整个FOV上的照明下降；

[0048] 图8A示出了根据本公开的透镜装置的另一非限制性示例性实施方案，该透镜装置包括具有二元表面的菲涅耳透镜和单片透镜组合；

[0049] 图8B描绘了与图8a的透镜装置相关联的点列图；

[0050] 图8C描绘了与图8A的透镜装置相关联的整个FOV上的照明下降；

[0051] 图9A示出了根据本公开的透镜装置的又一个非限制性示例性实施方案，该透镜装置包括具有嵌入实际材料内的二元表面的菲涅耳透镜和单片透镜组合；

[0052] 图9B描绘了与图9A的透镜装置相关联的点列图；

[0053] 图9C描绘了与图9a的透镜装置相关联的整个FOV上的照明下降；

[0054] 图10A示出了根据本公开的透镜装置的另一非限制性示例性实施方案，该透镜装置包括具有嵌入块状材料内的二元表面的有倾斜拔模面的菲涅耳透镜和单片透镜组合；

[0055] 图10B描绘了与图10A的透镜装置相关联的点列图；

[0056] 图10C描绘了与图10A的透镜装置相关联的整个FOV上的照明下降;并且

[0057] 图11是根据其非限制性示例性实施方案的包括本公开的光学透镜装置的头戴式设备的示意图。

### 具体实施方式

[0058] 一般说来并且根据非限制性示例性实施方案,提供了一种光学透镜装置,其包括第一菲涅耳透镜元件和第二透镜元件。第一菲涅耳透镜元件限定平坦表面侧和相反的小平面表面侧,该小平面表面侧限定楔形面和拔模面。平坦表面侧面向用户的眼睛,并且相反的小平面表面侧背对用户的眼睛。第二透镜元件与第一菲涅耳透镜的小平面表面侧相交接。第二透镜元件选自由以下项组成的组:第二菲涅耳透镜元件、单片透镜元件、双合透镜元件以及它们的任何组合。第一菲涅耳透镜相对于用户的眼睛处于近侧,并且第二透镜元件相对于用户的眼睛处于远侧。提供包括这些光学透镜装置的头戴式设备(HMD)。还提供了制造这种光学透镜装置和HMD的方法。

[0059] 根据非限制性示例性实施方案,提供了光学透镜或接目镜、透镜装置、透镜组件、透镜构造、透镜系统或透镜配置,该透镜配置为大瞳孔提供大视场范围内的优良图像质量,且总重量低。该透镜装置包括至少一个菲涅耳透镜元件和第二菲涅耳透镜或更传统的透镜,诸如单片透镜或双合透镜或每一者的组合,其中在光学表面之一处可能包括诸如二元或基诺全息表面的衍射表面,并且在菲涅耳透镜和/或漫射拔模(diffusive draft)的拔模面上可能包括黑色吸收涂层。该装置作为用于放大成像显示的接目镜而应用于虚拟和增强现实领域。

[0060] 根据本公开的一个方面,光学装置具有如下可能:在光学表面之一处可能包括诸如二元或基诺全息表面的衍射表面,并且在菲涅耳透镜和/或漫射拔模和/或抗反射涂层的拔模面上可能包括黑色吸收涂层。

[0061] 与各种透镜组相关联的光焦度可实现良好的像差校正。除了包括一对菲涅耳透镜的装置之外,通过采用包括平坦菲涅耳透镜的相对简单的装置也可获得良好的性能,该平坦菲涅耳透镜的小平面侧朝向为平凸透镜的常规透镜,该平凸透镜的弯曲表面可为非球面的,而其平表面紧邻菲涅耳透镜的所述小平面表面。如所提及的,本装置的另一个示例是在元件之一上包括衍射表面;其存在主要是为了消除菲涅耳/单片透镜组合的色像差。可在菲涅耳透镜的拔模面上施加黑色吸收涂层,以有效消除由这些拔模面引起的附加重影和杂散光。拔模面可提供有粗糙漫射饰面并且/或者具有多孔的抗反射涂层以进一步减少重影和杂散光。

[0062] 在HMD目镜中,使用菲涅耳透镜代替传统透镜减少了目镜的重量和光学系统的长度,并为像差校正提供了更多的自由度。这允许更高的FOV和更好的沉浸感。

[0063] 透镜装置的所述至少一个菲涅耳透镜元件和第二菲涅耳透镜或者更传统的透镜诸如单片透镜或双合透镜或者每一者的组合在它们之间适当地共用光焦度,以产生具有良好图像质量的放大图像。

[0064] 通过在该组件内的一个表面上引入衍射表面可以有效地消除该菲涅耳/单片透镜组合中存在的残余色像差,并且可通过在可为漫射的以获得最佳性能的拔模面上添加黑色吸收层来消除由菲涅耳透镜的拔模面引起的额外重影图像。在光学透镜装置内的一个表面



处包括衍射表面允许实质性消除残余色像差。菲涅耳透镜包括一系列称为楔形面的同心透镜。每个楔形面与下一个楔形面由不影响成像的拔模面分开。为了减少由于拔模面引起的对穿过系统的光线的不希望的阻挡(并且因此降低通过量),这些面被取向成减小在那些所述元件处的光线的入射角。而且,通过允许拔模面适当地倾斜,可以将阻挡最小化。此外,通过在拔模面上施加黑色吸收涂层,可以减少重影图像。另外,通过为拔模面提供粗糙饰面可以减少重影,导致一般的对比度损失,这对用户来说不太令人反感。

[0065] 在非限制性示例性实施方案中,提供了菲涅耳透镜-单片透镜组合,其中单片透镜是两个元件中较靠近显示器的那个,并且菲涅耳透镜的小平面侧朝向单片透镜,而单片透镜的表面在与菲涅耳透镜相反的一侧上具有大部分光焦度。更有针对性地,沿着相同线条的甚至更简单的配置是在菲涅耳透镜的两个表面上的平坦表面(除了实际的小平面结构)以及单片透镜的在另一个表面上具有非球面表面的相邻表面。在观察者的眼睛旁边具有平坦表面的配置允许针对相同的良视距和透镜直径有更高的FOV。在其中一个部件上包括衍射表面有效地消除了由折射元件所引入的横向色像差引起的彩色边纹。在菲涅耳透镜的拔模面上包括黑色吸收涂层和/或粗糙饰面,并且可能在拔模面上包括防反射涂层将有效地消除由菲涅耳透镜的拔模面造成的附加重影。

[0066] 参考附图,非限制性示例性实施方案将在本文中进行描述,以仅进一步举例说明本公开,而决不限其范围。

[0067] 图1A示出了使用非球面单片透镜12放大显示器14上的图像的现有技术接目镜10。绘制针对各种场位置的光束轨迹16。为了获得最佳性能,在大视场和大窥眼箱两者范围内,透镜12的靠近显示器14的那个前表面18具有比后表面20大得多的光焦度。虽然两个表面18和20可以是非球面的以挤出最大性能,但更重要的是前表面18被非球面化。

[0068] 尽管使用本公开的接目镜装置产生了具有高于 $120^\circ$ 的FOV的目镜,但是FOV和窥眼箱的典型数字将分别为约 $90^\circ$ 和 $12\text{mm (H)} \times 5\text{mm (V)} \times 5\text{mm (D)}$ 。这些数字将为视觉单元的用户提供可接受大小的FOV和合理的眼球运动适用性(forgiveness)。

[0069] 图1B描绘了与如图1A所示的典型现有技术接目镜10相关联的点列图。它们被绘制为场位置和波长两者的函数,并且表现出单色像差和色像差,后者本身主要表现为随着视场大致线性增加的彩色边纹。虽然有可能通过允许光学器件变得更复杂来减少这些像差,但这种方法有其自身的缺点。引入第二元件使得单片透镜现在被双合透镜代替,同时可能减少色像差,当然假设双合透镜包括冠型和硬粒型材料两者时,则会得到显著更大的装置。这种尺寸的增加和相应地重量的增加将对这种设备的佩戴者的舒适度产生负面影响。

[0070] 菲涅耳透镜长期以来一直用于光学设备,其中透镜直径与焦距的比例很大,同时图像质量不那么重要。这就是它们在冷凝器装置中应用于照明目的(诸如灯塔、复印机等)的原因。

[0071] 图2A示出了具有小平面表面侧102和平坦表面侧104的菲涅耳透镜100。小平面表面侧102朝向用户的眼睛106定位。平坦表面侧104朝向显示屏108定位。小平面表面侧102包括楔形面110和拔模面112。光线轨迹从左到右,不良光线114示出为击中菲涅耳透镜100的拔模面112,而好的光线116示出为穿过菲涅耳透镜100。图2B示出了与菲涅耳透镜100相关联的点列图。图2C示出了在菲涅耳透镜100的整个视场上的照明下降。

[0072] 图3A示出了具有小平面表面侧102'和平坦表面侧104'的菲涅耳透镜100'。平坦表

面侧104'朝向用户的眼睛106定位。小平面表面侧102'朝向显示屏108定位。小平面表面侧102'包括楔形面110'和拔模面112'。光线轨迹从左到右,不良光线114示出为击中菲涅耳透镜100'的拔模面112,而好的光线116示出为穿过菲涅耳透镜100'。图3B示出了与菲涅耳透镜100'相关联的点列图。图3C示出了在菲涅耳透镜100'的整个视场上的照明下降。

[0073] 如图2A至图2C和图3A至图3C所示,由于菲涅耳透镜的小平面表面在处理具有大入射角的光线方面存在严重问题,因此采用菲涅耳透镜作为接目镜的成功很有限。穿过菲涅耳透镜表面的光线可能因被拔模面折射或反射而失效。虽然允许菲涅耳透镜以其名义上相反的取向使用(图3A至图3C)可看出对情况有所改善,但性能仍远低于本领域技术人员认为可接受的性能。

[0074] 图4描绘了通过各种菲涅耳透镜表面的光线轨迹,其中(a)示出了在各个小平面上的大入射角;(b)示出了在各个小平面上的小入射角;并且(c)与(b)类似,但具有倾斜的拔模面以最小化阴影。本领域技术人员可以理解的是,允许小平面的拔模面适当地倾斜,可以使对光线的阻挡最小化,由此允许光学装置的总体性能显著提高。

[0075] 图5A示出了包括第一或近侧菲涅耳透镜元件202和第二或远侧菲涅耳透镜元件204的透镜装置200。第一菲涅耳透镜元件202包括面向眼睛208的平坦表面侧206和面向显示屏212的相反的小平面表面侧210。第二菲涅耳透镜元件204包括与第一菲涅耳透镜元件202的小平面表面侧210相交接的小平面表面侧214和面向显示屏212的相反的平坦表面侧216。第一菲涅耳透镜元件202的小平面表面侧210限定了楔形面218和拔模面220。第二菲涅耳透镜元件204的小平面表面侧214限定了楔形面222和拔模面224。图5A示出了击中第一菲涅耳透镜元件202的拔模面220的不良光线226,击中第二菲涅耳透镜元件204的拔模面224的不良光线228以及分别成功穿过第一和第二菲涅耳透镜元件202和204两者的好的光线230。图5B示出了与透镜装置200相关联的点列图。图5C示出了在透镜装置200的整个视场上的照明下降。

[0076] 图6A示出了包括第一或近侧菲涅耳透镜元件202'和第二或远侧菲涅耳透镜元件204'的透镜装置200'。第一菲涅耳透镜元件202'包括面向眼睛208的平坦表面侧206'和面向显示屏212的相反的小平面表面侧210'。第二菲涅耳透镜元件204'包括面向显示屏212的小平面表面侧214'和与第一菲涅耳透镜元件202'的小平面表面侧210'相交接的相反的平坦表面侧216'。第一菲涅耳透镜元件202'的小平面表面侧210'限定了楔形面218'和拔模面220'。第二菲涅耳透镜元件204'的小平面表面侧214'限定了楔形面222'和拔模面224'。图6A示出了击中第一菲涅耳透镜元件202'的拔模面220'的不良光线227,击中第二菲涅耳透镜元件204'的拔模面224'的不良光线229以及分别成功穿过第一和第二菲涅耳透镜元件202'和204'两者的好的光线231。图6B示出了与透镜装置200'相关联的点列图。图6C示出了在透镜装置200'的整个视场上的照明下降。

[0077] 在如图5A和图6A所示取向的一对菲涅耳透镜之间共享光焦度,并示出对单个元件的改进(参见图5B和图6B)。

[0078] 除了使用一对菲涅耳透镜之外,现有技术中采用的另选方法是菲涅耳透镜与单片透镜的组合。由于菲涅耳透镜适用于在入射到小平面表面上的光线接近垂直的情况,因此菲涅耳透镜被定位为靠近眼睛的元件,并且其小平面表面背离眼睛。在两种透镜类型之间共享光焦度并且通过允许单片透镜为平凸的,其平坦表面紧邻菲涅耳透镜并且其弯曲表面

为非球面的,得到比与现有技术非球面单片透镜相关联的装置体积更小的装置。图7A中示出了此类装置。

[0079] 图7A示出了包括第一或近侧菲涅耳透镜元件302和第二或远侧平凸非球面透镜元件304的透镜装置300。第一菲涅耳透镜元件302包括面向眼睛308的平坦表面侧306和面向显示屏312的相反的小平面表面侧310。平凸非球面透镜元件304包括与第一菲涅耳透镜元件302的小平面表面侧310相交接的平坦表面侧314和面向显示屏312的相反的弯曲表面316。第一菲涅耳透镜元件302的小平面表面侧310限定了楔形面318和拔模面320。图7A示出了击中第一菲涅耳透镜元件302的拔模面320的不良光线322,以及分别成功穿过第一菲涅耳透镜元件302和第二平凸非球面透镜元件304的好的光线324。图7B示出了与透镜装置300相关联的点列图。图7C示出了在透镜装置300的整个视场上的照明下降。

[0080] 图8A的透镜装置300'类似于图7A的透镜装置,区别在于透镜装置300'包括衍射表面。包括衍射表面可补偿一些色像差,这会导致彩色边纹朝向视场的边缘逐渐变差。图8A示出了包括第一或近侧菲涅耳透镜元件302'和第二或远侧平凸非球面透镜元件304'的透镜装置300'。第一菲涅耳透镜元件302'包括面向眼睛308的平坦表面侧306'和面向显示屏312的相反的小平面表面侧310'。平凸非球面透镜元件304'包括与第一菲涅耳透镜元件302'的小平面表面侧310'相交接的平坦表面侧314'和面向显示屏312的相反的弯曲表面316'。第一菲涅耳透镜元件302'的小平面表面侧310'限定了楔形面318'和拔模面320'。图8A示出了击中第一菲涅耳透镜元件302'的拔模面320'的不良光线323,以及分别成功穿过第一菲涅耳透镜元件302'和第二平凸非球面透镜元件304'的好的光线325。图8B示出了与透镜装置300'相关联的点列图。图8C示出了在透镜装置300'的整个视场上的照明下降。

[0081] 将衍射表面嵌入光学元件内,因为折射率跃变要小得多,所以要求小平面的跃变明显更大,使得所述表面的制造对制造误差较不敏感。然而,如图9A所示,实施嵌入式衍射表面确实意味着接目镜总厚度的略微增加。

[0082] 图9A示出了包括第一或近侧菲涅耳透镜元件402和第二或远侧平凸非球面透镜元件404的透镜装置400。第一菲涅耳透镜元件402包括面向眼睛408的平坦表面侧406和面向显示屏412的相反的小平面表面侧410。平凸非球面透镜元件404包括与第一菲涅耳透镜元件402的小平面表面侧410相交接的平坦表面侧414和面向显示屏412的相反的弯曲表面416。第一菲涅耳透镜元件402的小平面表面侧410限定了楔形面418和拔模面420。二元表面元件422被嵌入到平凸非球面透镜元件404的平坦表面侧414中并且限定其紧邻小平面的表面侧410的平坦表面424。图9A示出了击中第一菲涅耳透镜元件402的拔模面420的不良光线425,以及分别成功穿过第一菲涅耳透镜元件402和第二平凸非球面透镜元件404的好的光线427。如图9B和图9C所示的性能曲线与图8B和图8C中给出的性能曲线相似。

[0083] 在一个实施方案中,元件422可以是包括面向第一菲涅耳透镜402的小平面表面侧的二元表面的第三透镜元件。在一个实施方案中,元件422也可以是多层衍射光学元件,其在技术上不指向任何东西。

[0084] 通过量可通过允许拔模面适当倾斜来改善,特别是在FOV的边缘处改善。在拔模面和目镜的光轴之间且在光轴所处的平面上测量拔模面的拔模角。更具体地讲,拔模角可以布置成使得形成图像的光线尽可能平行于拔模面。这通常在靠近光轴的透镜中心产生接近0°的拔模角。随着视场角朝向透镜的周边增大,拔模角通常成扇形展开。

[0085] 图10A示出了菲涅耳透镜/单片透镜组合,其中拔模面已被成形用于优化光束通道。图10A示出了与透镜装置400类似的透镜装置400',但是如本领域技术人员所理解的,拔模面已经适当地倾斜。图10A示出了包括第一或近侧菲涅耳透镜元件402'和第二或远侧平凸非球面透镜元件404'的透镜装置400'。第一菲涅耳透镜元件402'包括面向眼睛408的平坦表面侧406'和面向显示屏412的相反的小平面表面侧410'。平凸非球面透镜元件404'包括与第一菲涅耳透镜元件402'的小平面表面侧410'相交接的平坦表面侧414'和面向显示屏412的相反的弯曲表面416'。第一菲涅耳透镜元件402'的小平面表面侧410'限定了楔形面418'和拔模面420'。二元表面元件422'被嵌入到平凸非球面透镜元件404'的平坦表面侧414'中并且限定其紧邻小平表面侧410'的平坦表面424'。图10A示出了击中第一菲涅耳透镜元件402'的拔模面420'的不良光线429,以及分别成功穿过第一菲涅耳透镜元件402'和第二平凸非球面透镜元件404'的好的光线431。图10B示出了与透镜装置400'相关联的点列图。图10C示出了在透镜装置400'的整个视场上的照明下降。虽然点列图保持不变,但整个FOV上的照明下降大大减少。通过将黑色吸收涂层施加到拔模面可消除由拔模面反射造成的重影,或者通过为拔模面提供粗糙饰面而转变成一般的对比度损失。

[0086] 选择性地为菲涅耳透镜的拔模面提供粗糙饰面的一种方法是用这种方法来模制它们。通过小心的掩蔽和喷砂,可使模具插入件中的拔模面变粗糙。第二种方法是通过蒸发而在镍模具插入件上的楔形面上定向沉积铝保护层,然后通过喷砂使暴露的镍拔模面变粗糙。最终可通过在KOH溶液中蚀刻去除铝掩模。第三种方法是对模具插入件的表面进行蚀刻或喷砂以在整个表面上生成漫射饰面,然后重新加工楔形面以在之后恢复它们的镜面饰面。通过注射成型、注射压缩成型、压缩成型或真空成型将模具表面饰面转印到菲涅耳透镜上。只要蚀刻剂可以选择性地去除掩模材料而不影响模具插入件,也可使用其他掩模材料、蚀刻剂和模具插入材料。

[0087] 在菲涅耳透镜的拔模面上沉积黑色吸收涂层的方法是通过蒸发而在菲涅耳透镜的楔形面上定向沉积铝保护层,然后通过溅射而在透镜上以非定向方式沉积光吸收材料如锰铁氧体( $MnFe_2O_4$ )。最后,使用KOH溶液,可以使用剥离工艺来从楔形面上去除铝和锰铁氧体层,同时将锰铁氧体留在拔模面上。只要蚀刻剂可以选择性地去除掩模材料而不影响光吸收材料,也可使用其他掩模材料、蚀刻剂和光吸收材料。获得黑色吸收拔模的另一种方法是通过蒸发而在菲涅耳透镜的楔形面上定向沉积铝保护层,然后将该透镜浸泡在黑色染色溶液中,最后使用KOH溶液去除Al掩模。获得这种涂层的甚至更好的方法是通过掠射角沉积在透镜上沉积 $SiO_2$ 保护层。这在拔模面上形成低折射率多孔层,并且在楔形面上形成无孔玻璃层。然后将透镜浸入黑色染色溶液中,该溶液渗透拔模面上的多孔涂层,而非楔形面上的无孔涂层。这种低折射率涂层具有充当抗反射涂层的优点,让更多光穿过黑色染料,进一步减少杂散光和重影图像。从菲涅耳透镜内部进入拔模面的光线被黑色染料吸收,而从菲涅耳透镜外部进入拔模面的光线由于低折射率的GLAD涂层而具有更高的通过拔模面进入菲涅耳透镜的可能性,因此它们被黑色染料吸收的可能性更高。

[0088] 可使用菲涅耳透镜、单片透镜或双合透镜作为第二元件。使用菲涅耳透镜作为第二元件具有进一步减轻目镜重量的优点,但是具有引起更多杂散光和减少的通过量的缺点。而且,两个菲涅耳透镜的组合可引起令观看者反感的云纹图案。使用单片透镜作为第二元件允许最小化菲涅耳伪影,同时仍然允许比使用单个单片元件的设计具有显著更低重量

和更高分辨率的目镜。使用双合透镜作为第二元件允许校正一些色像差,但代价是会大大增加目镜的重量。

[0089] 结合上述附图,当对光学装置进行建模时,光学设计者通常的做法是分别在长共轭和短共轭处定位对象和图像空间,从而有效地使系统反向,并相应地跟踪光线。这是本文所示的示意图的原因。尽管这并不完全表示在接目镜的实际应用中发生的光束轨迹,但是如熟练技术人员所理解的,它仍然清楚地表明涉及系统的这些类型(菲涅耳透镜)的渐晕问题。因此,结合图11,与由于上述原因而提供的图1A至图10A的示意图不同,在用户佩戴的头戴式设备(HMD) 500中(在如本领域已知的虚拟或增强现实领域中),显示屏502被安装到HMD 500并且与数据图像处理器504通信。光学透镜装置506被安装到HMD 500并被插入用户的眼睛508和显示屏502之间。因此,光束510的轨迹从显示屏502通过光学透镜装置506到眼睛508。光学透镜装置506是非限制性的示意性总体表示并且选自本文公开的实施方案,诸如但不限于在本说明书的范围内的透镜装置200、200'、300、300'、400、400'及其组合。

[0090] 在一个实施方案中,如本领域技术人员可以理解的,第一菲涅耳透镜元件与第二透镜元件之间的距离为在约0mm至约5mm之间的任何值。

[0091] 本文所述的各种特征可以在本公开的上下文内以各种方式组合,以便提供其他实施方案。因此,这些实施方案不是互相排斥的。而且,本文所讨论的实施方案不需要包括所示出和/或描述的所有特征和元件,因此也可以设想特征的部分组合。此外,还可以设想具有比所描述的特征更少的特征的实施方案。应当理解,本公开在其应用中不限于附图所示和上文描述的构造和部分的细节。本公开能够具有其他实施方案并且能够以各种方式实践。还应当理解,本文所用的措辞或术语是为了描述而不是限制的目的。因此,尽管上文已经通过其非限制性示例性实施方案的方式提供了本公开,但是可以在不脱离本发明的范围、实质和性质以及所附权利要求的情况下对其进行修改。

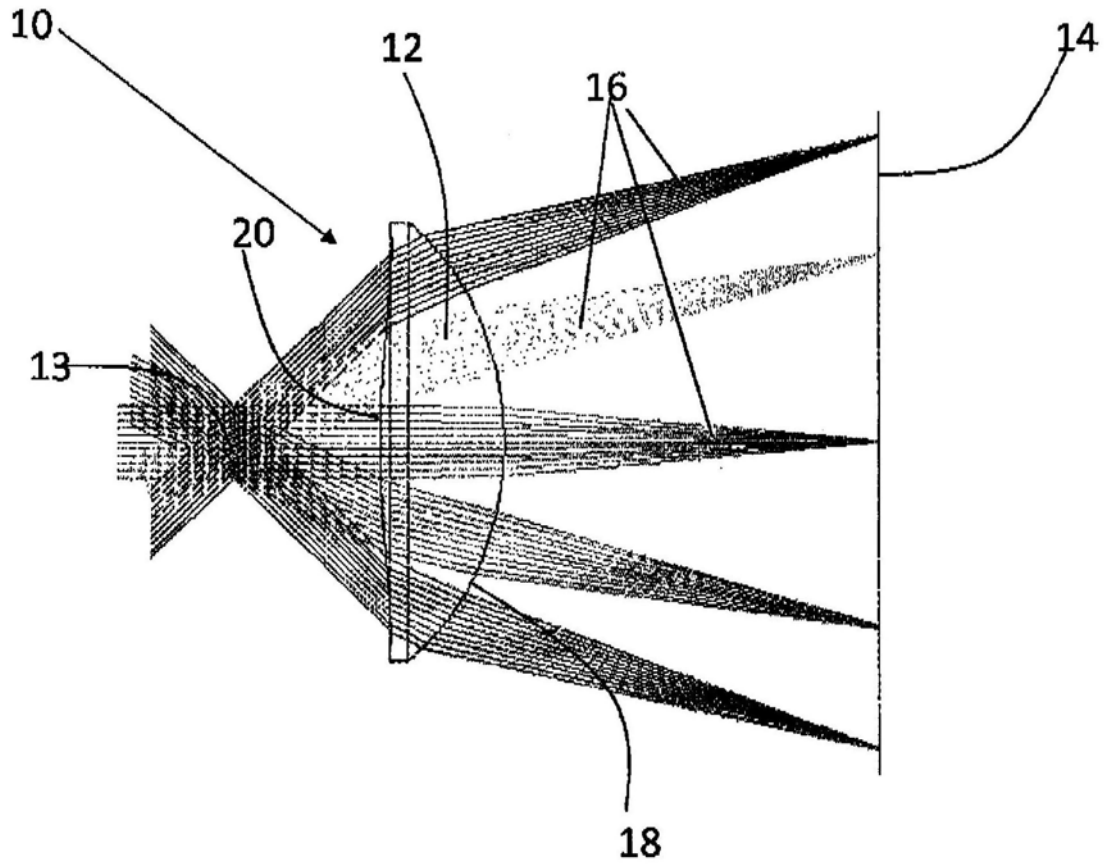


图1A:接目镜非球面单片透镜

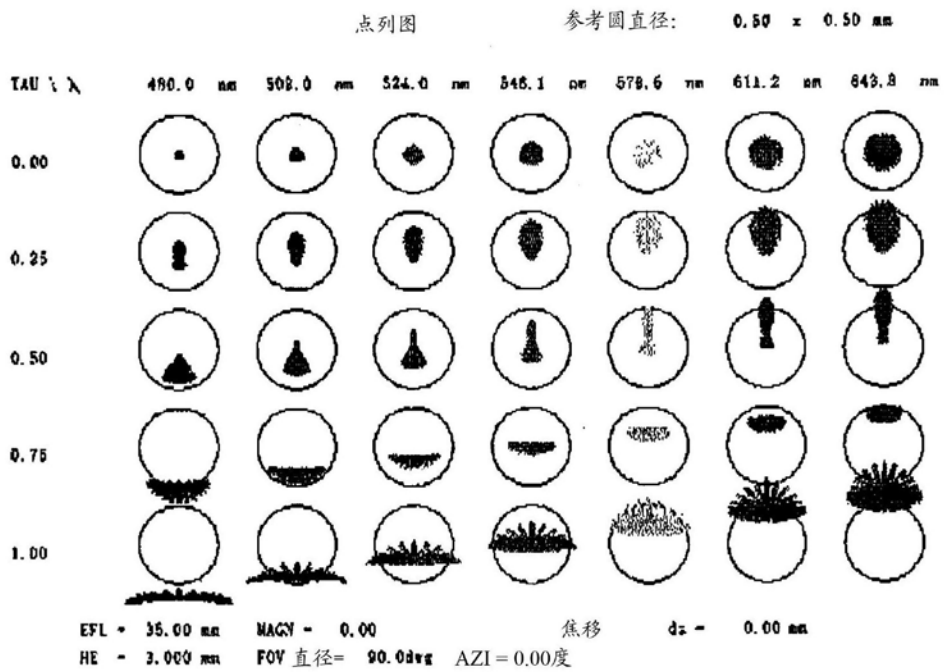


图1B:与图1A中的接目镜非球面透镜相关联的点列图

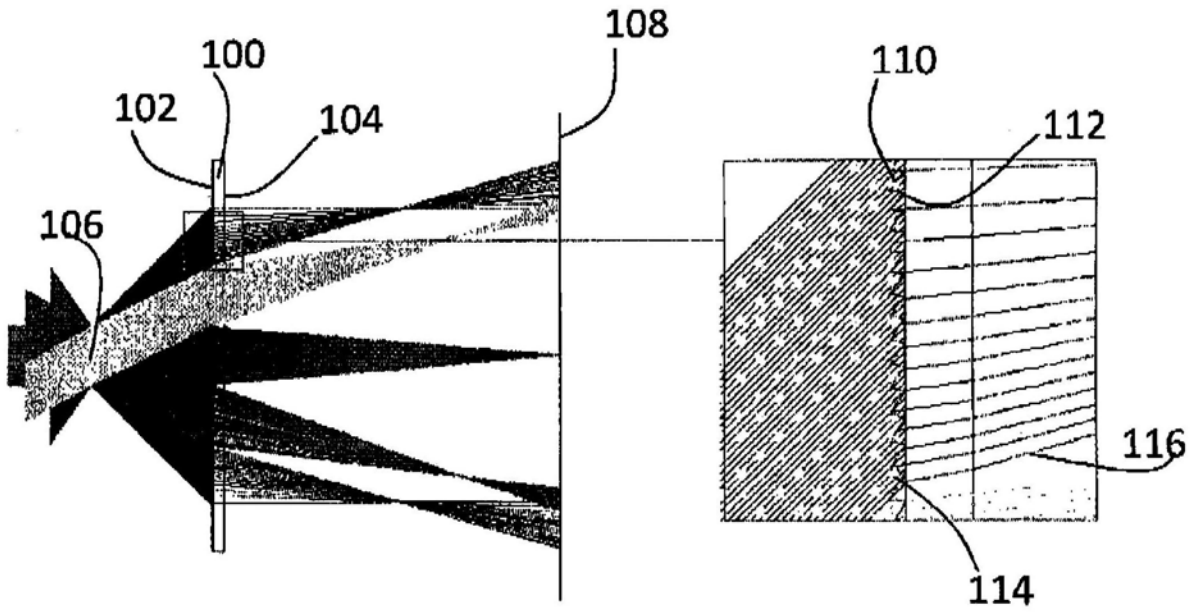


图2A:具有朝向眼睛的小平面表面的菲涅尔透镜

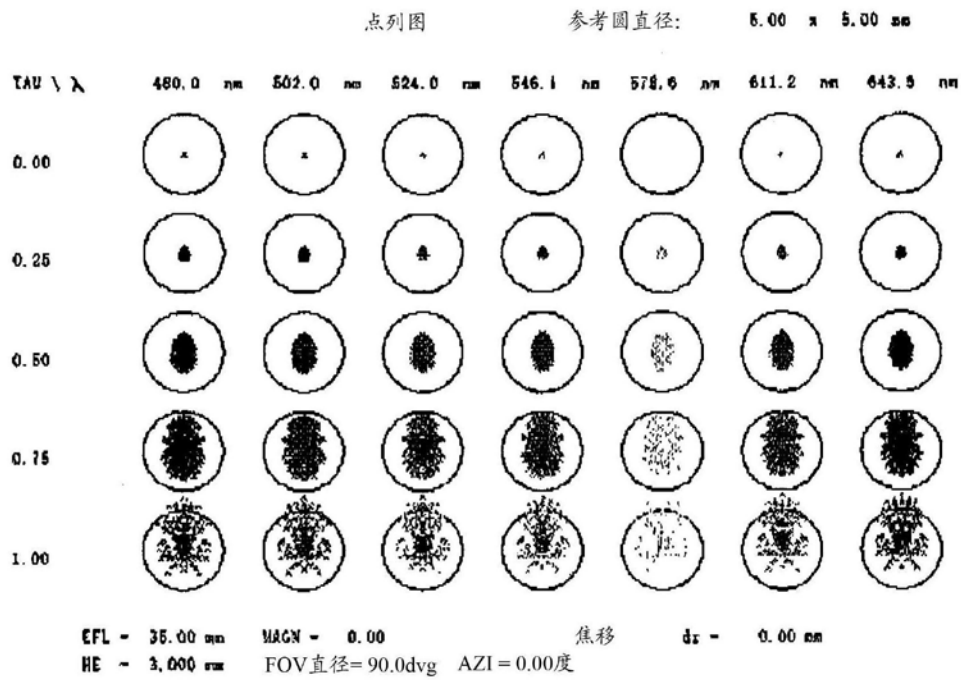


图2B:与图2A的透镜相关联的点列图

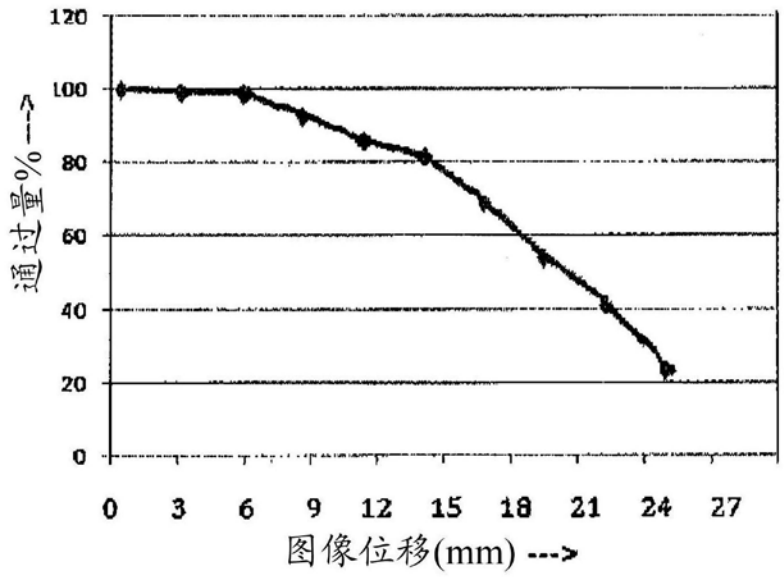


图2C: 在图2A的菲涅耳透镜的整个FOV上的照明下降

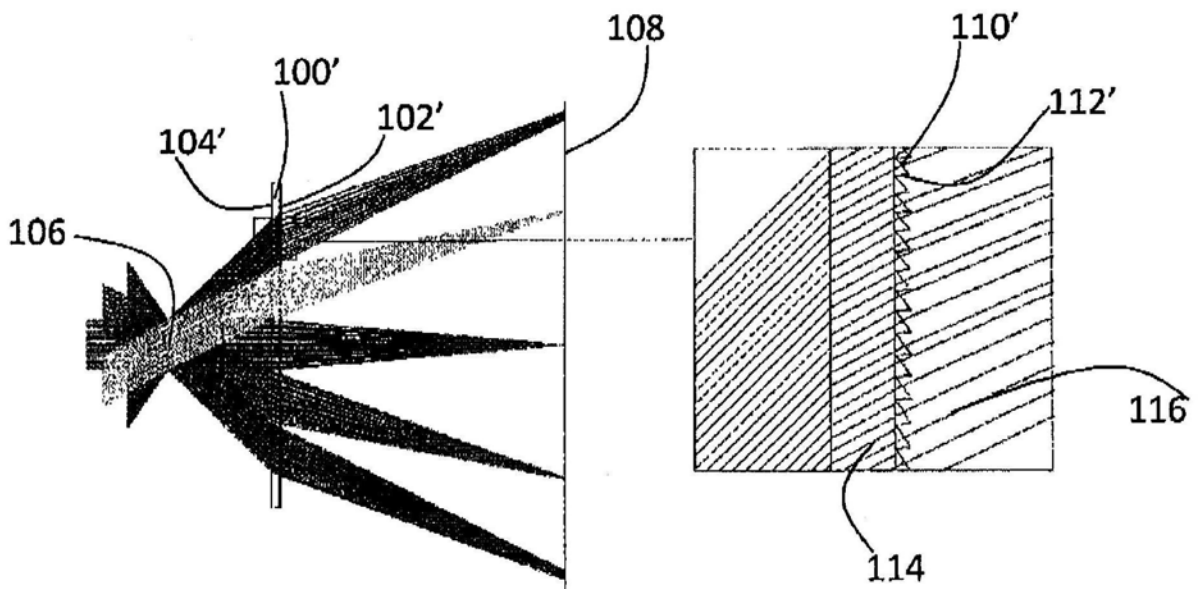


图3A: 具有背对眼睛的小平面表面的菲涅尔透镜



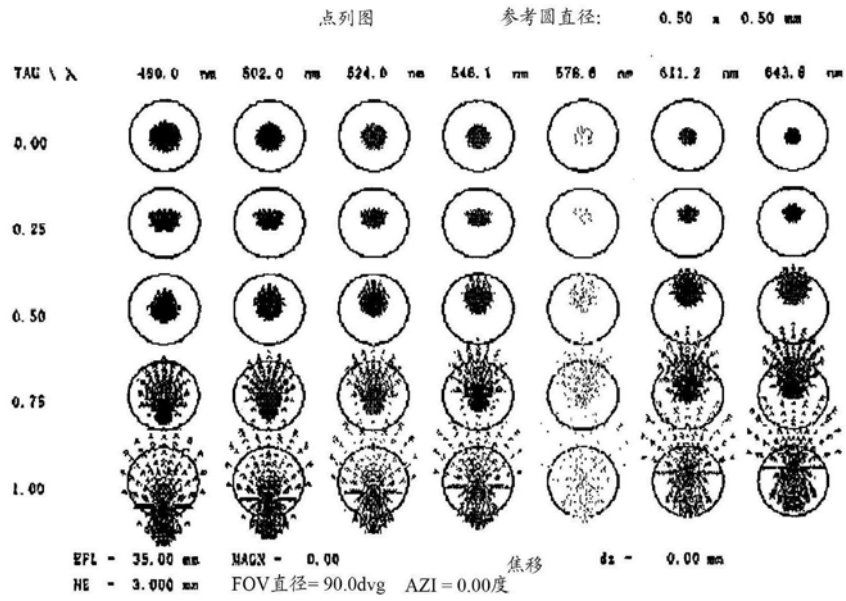


图3B:与图3A的菲涅尔透镜相关联的点列图

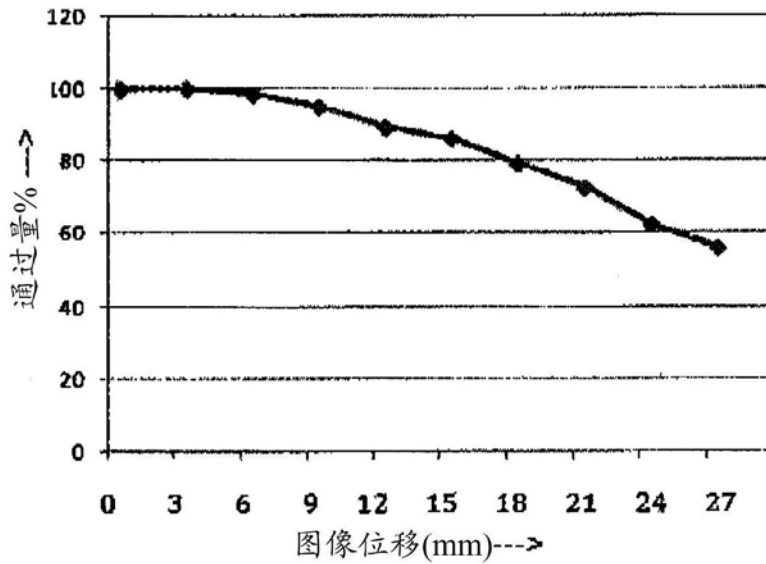


图3C:在图3A的菲涅尔透镜的整个FOV上的照明下降

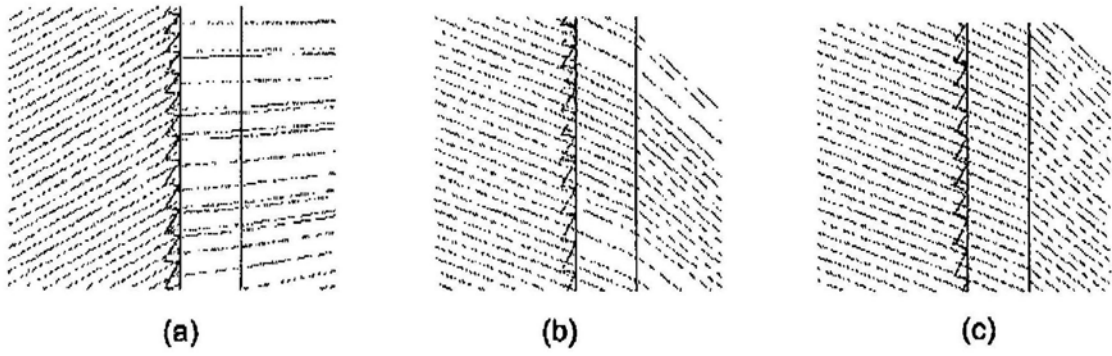


图4:从左到右的通过各种菲涅尔透镜表面的光线轨迹

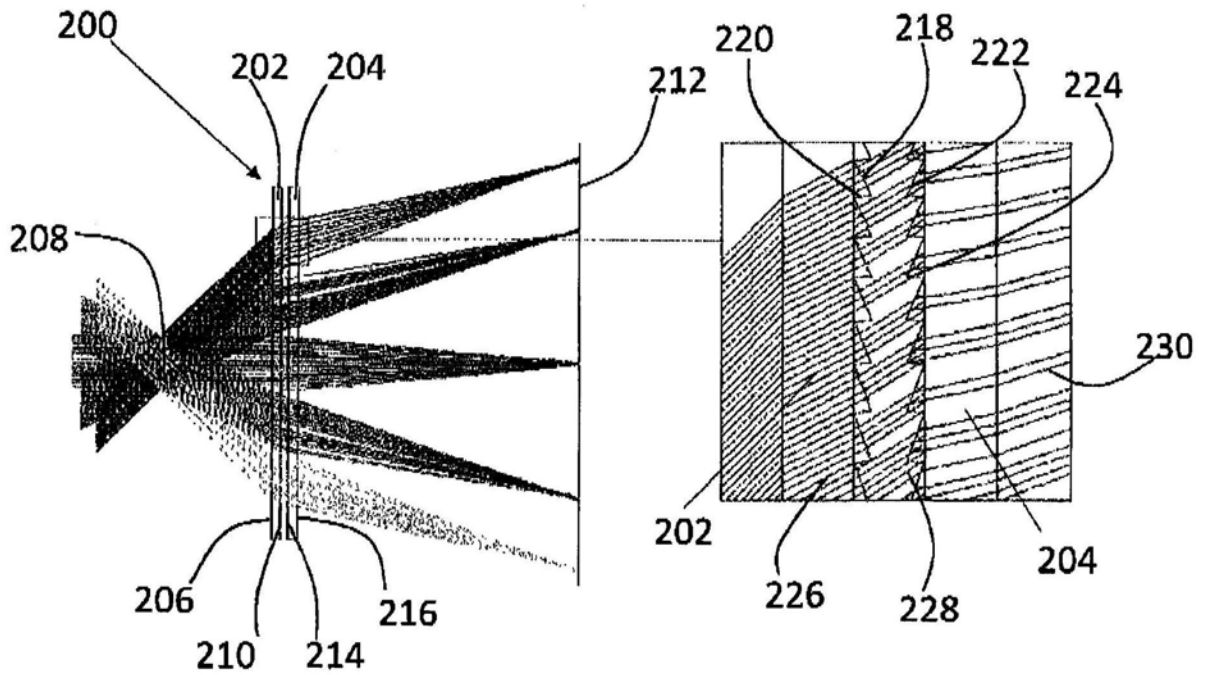


图5A:具有朝向彼此的小平面表面的菲涅尔透镜对

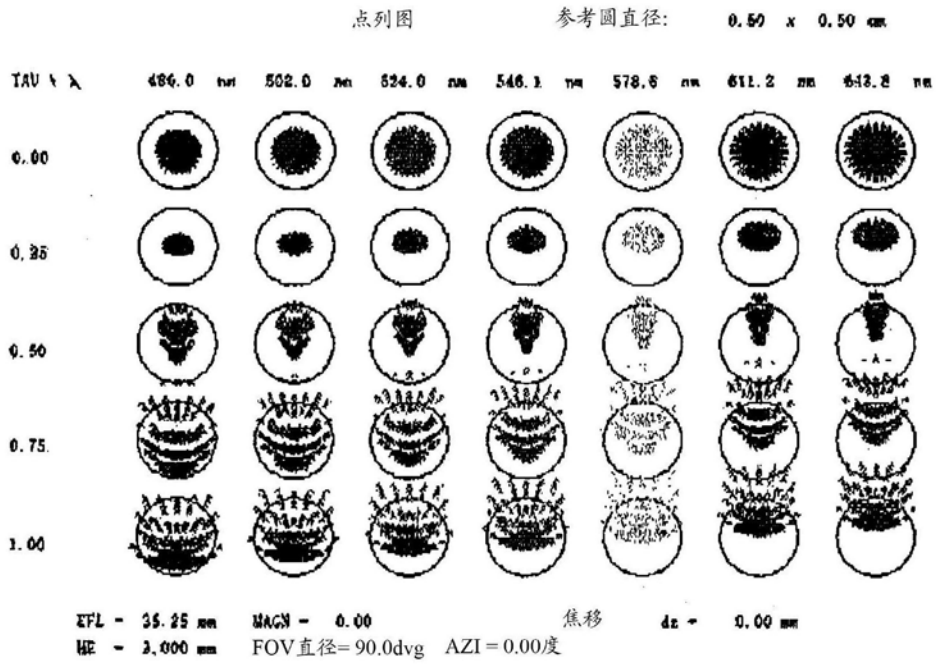


图5B: 与图5A的透镜装置相关联的点列图

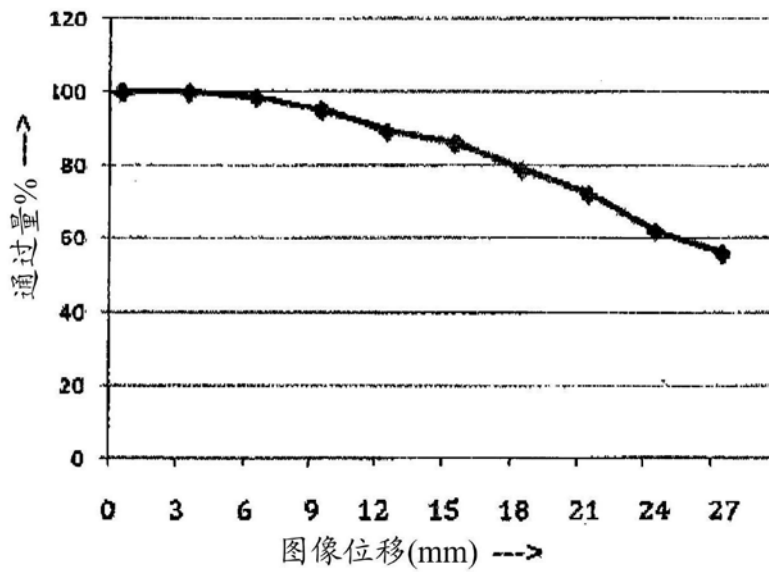


图5C: 在图5A的透镜装置的整个FOV上的照明下降

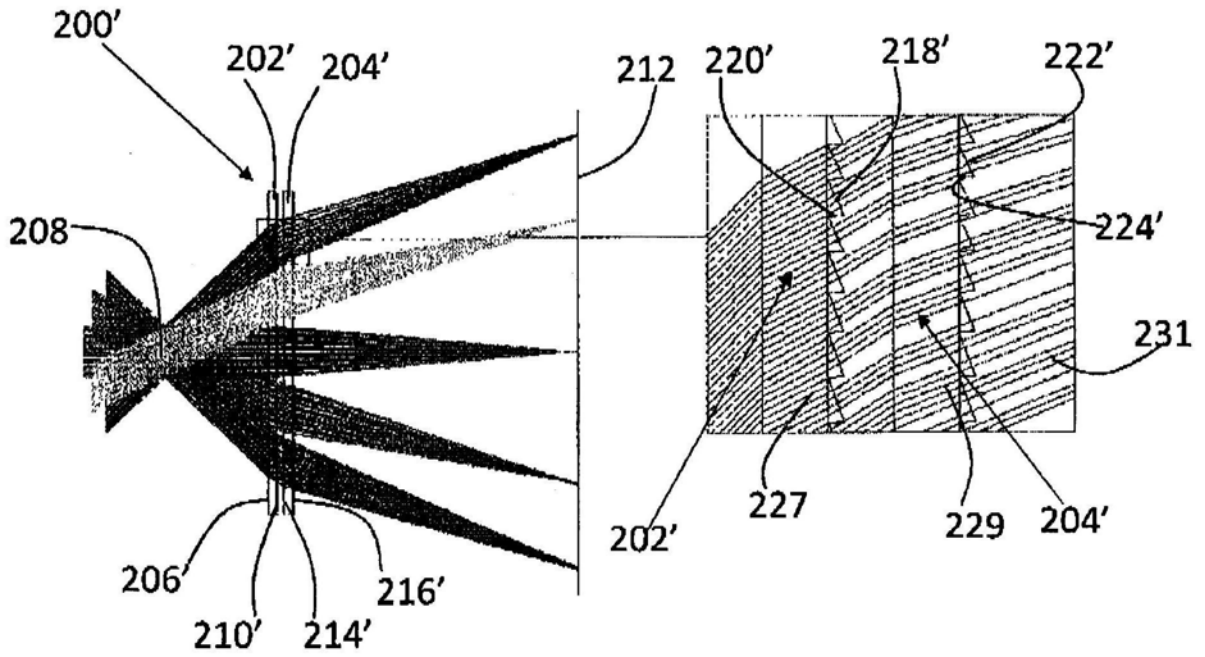


图6A:具有远离眼睛的小平面表面的菲涅尔透镜对

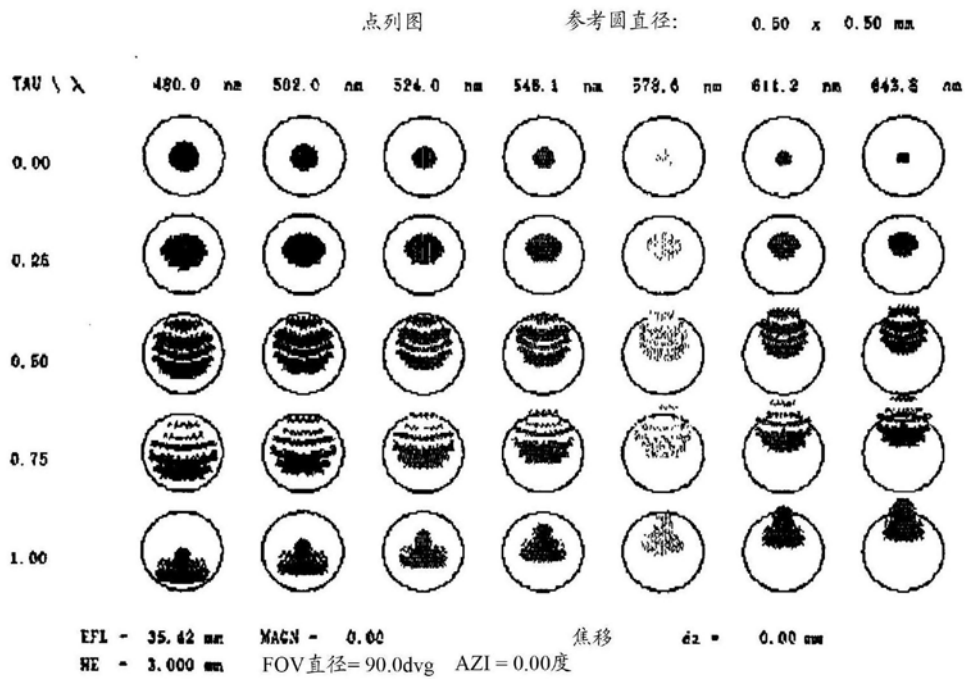


图6B:与图6A的透镜装置相关联的点列图

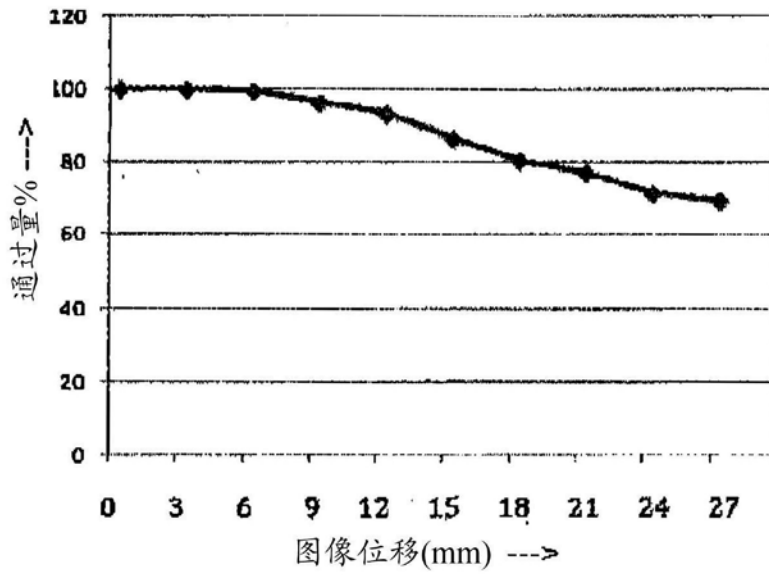


图6C: 在图6A的透镜装置上的整个FOV上的照明下降

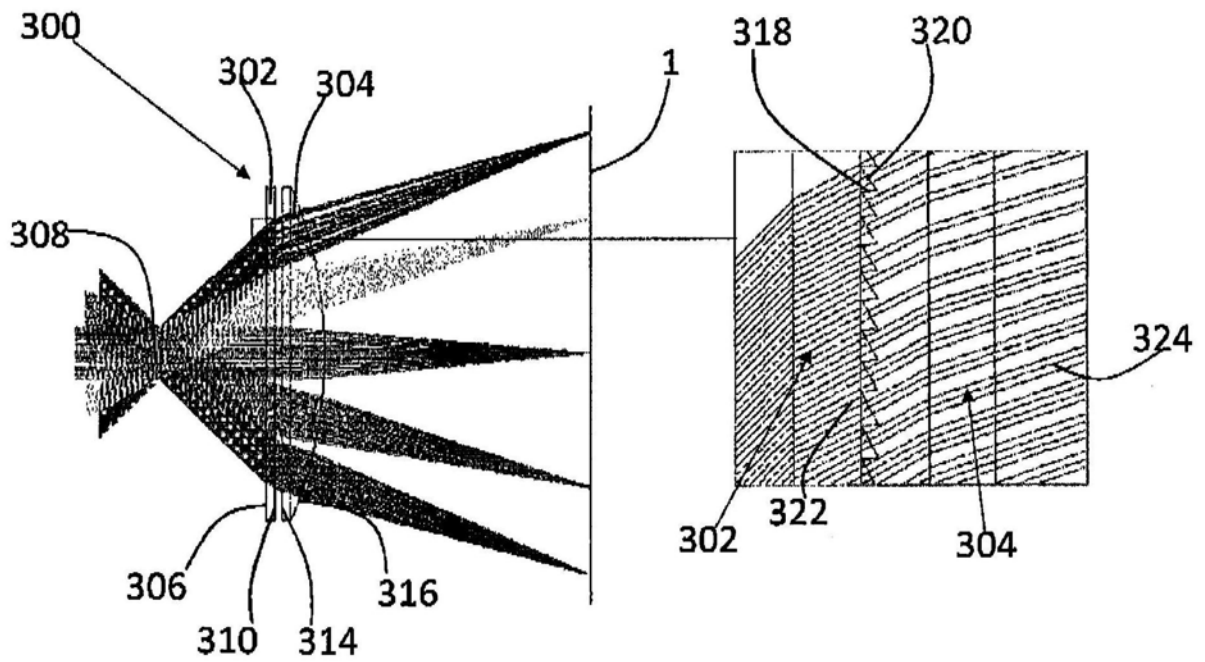


图7A: 菲涅尔透镜-非球面透镜组合

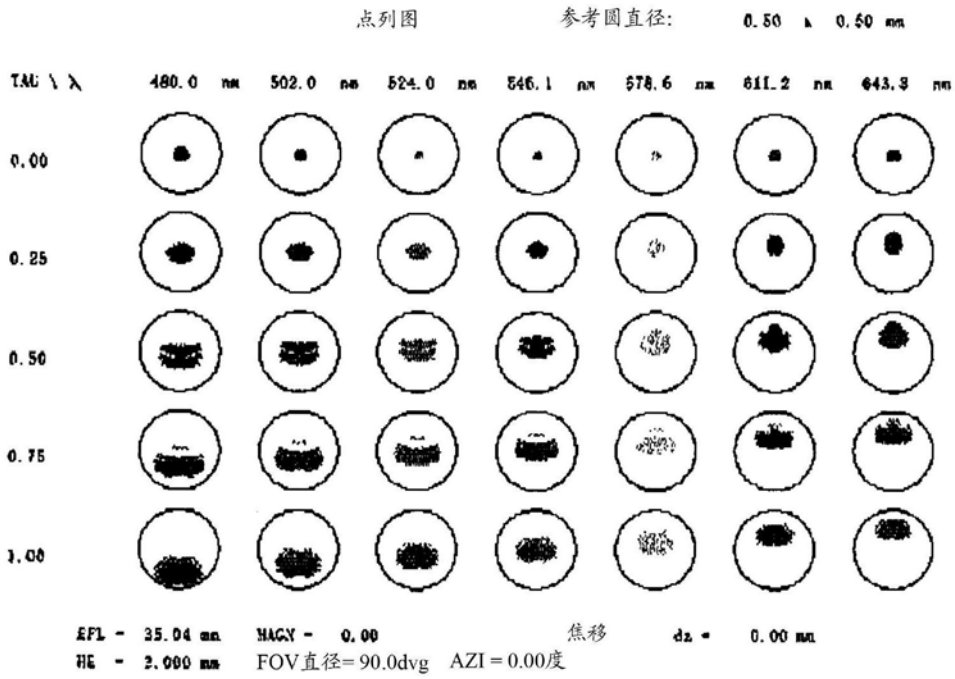


图7B:与图7A的透镜装置相关联的点列图

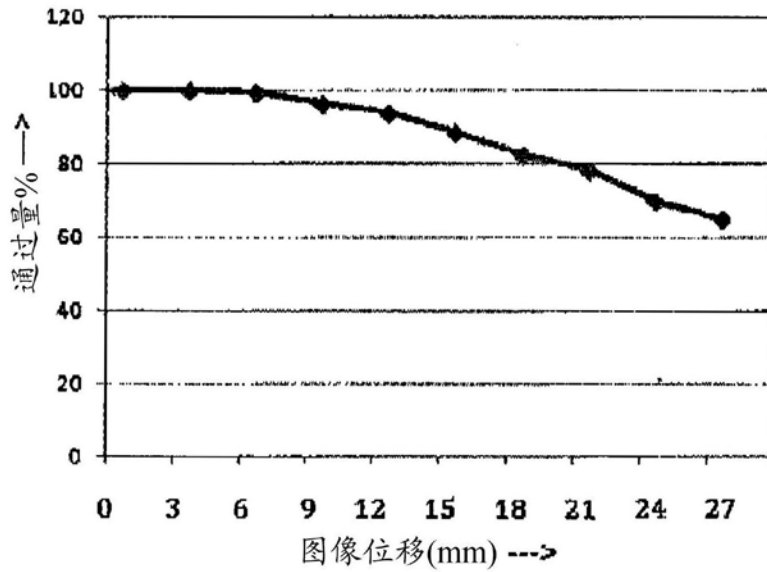


图7C:在图7A的透镜装置的整个FOV上的照明下降

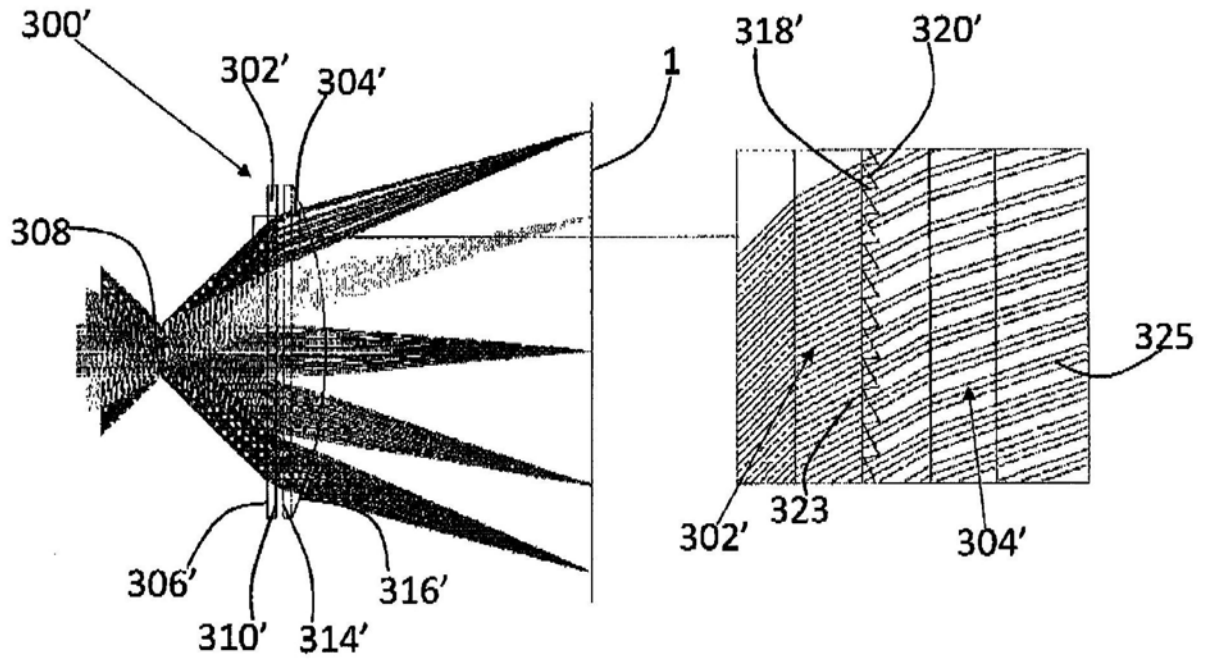


图8A:菲涅尔透镜-非球面二元透镜组合

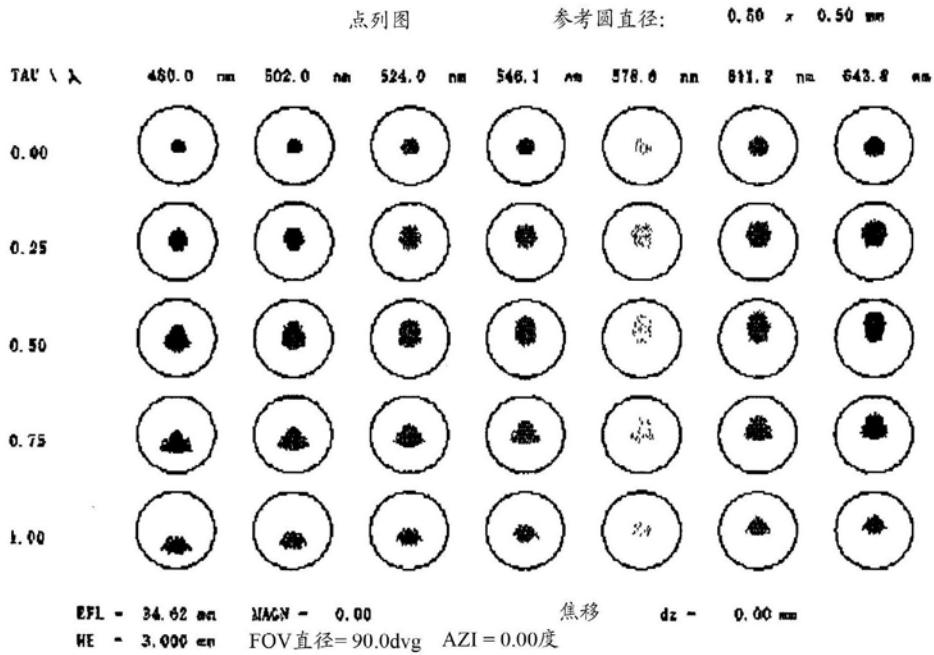


图8B:与图8A的透镜装置相关联的点列图

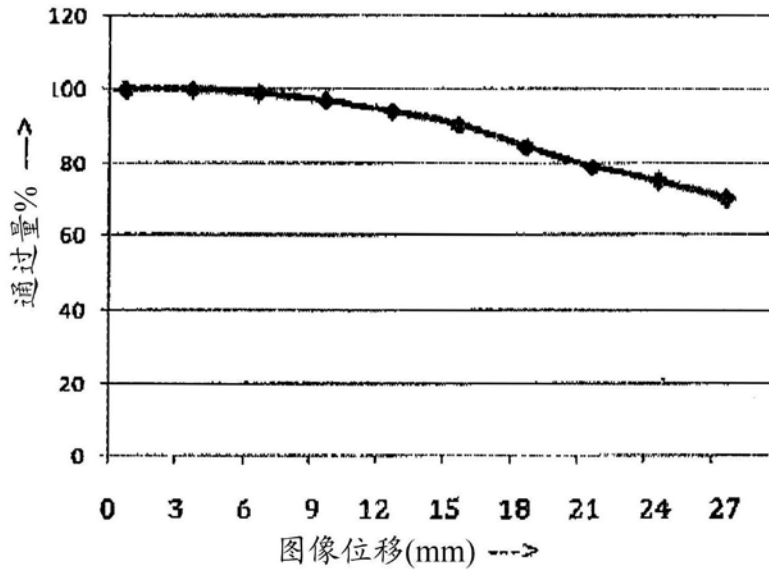


图8C:在图8A的透镜装置上的整个FOV上的照明下降

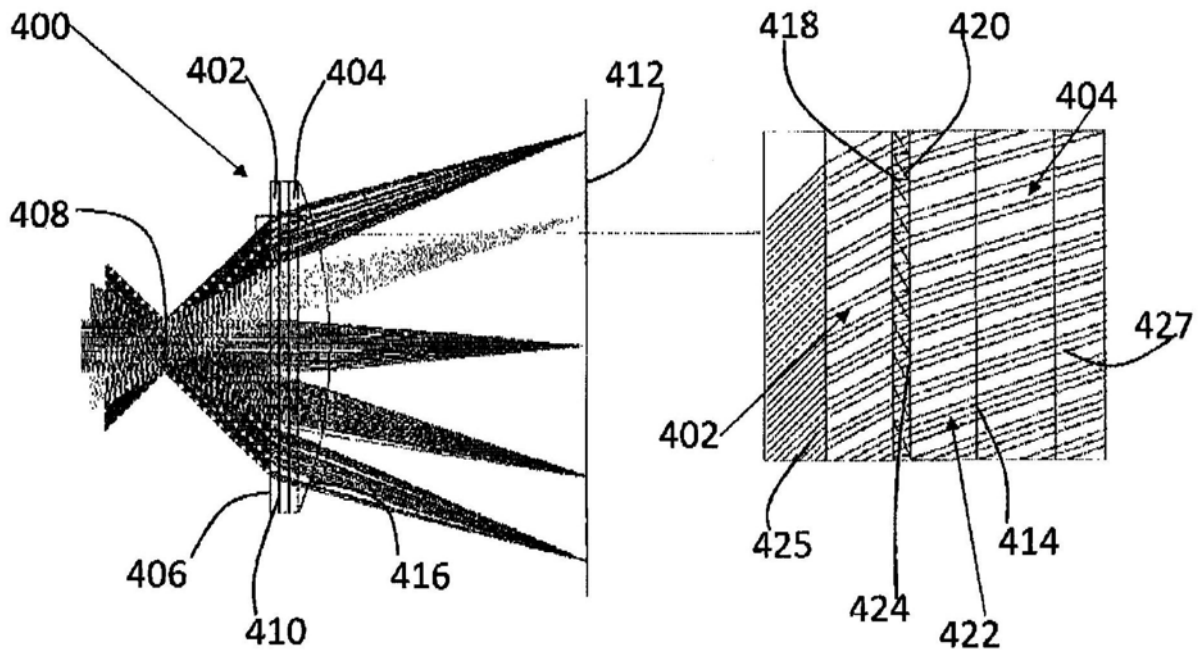


图9A:菲涅尔透镜-非球面嵌入式二元透镜组合



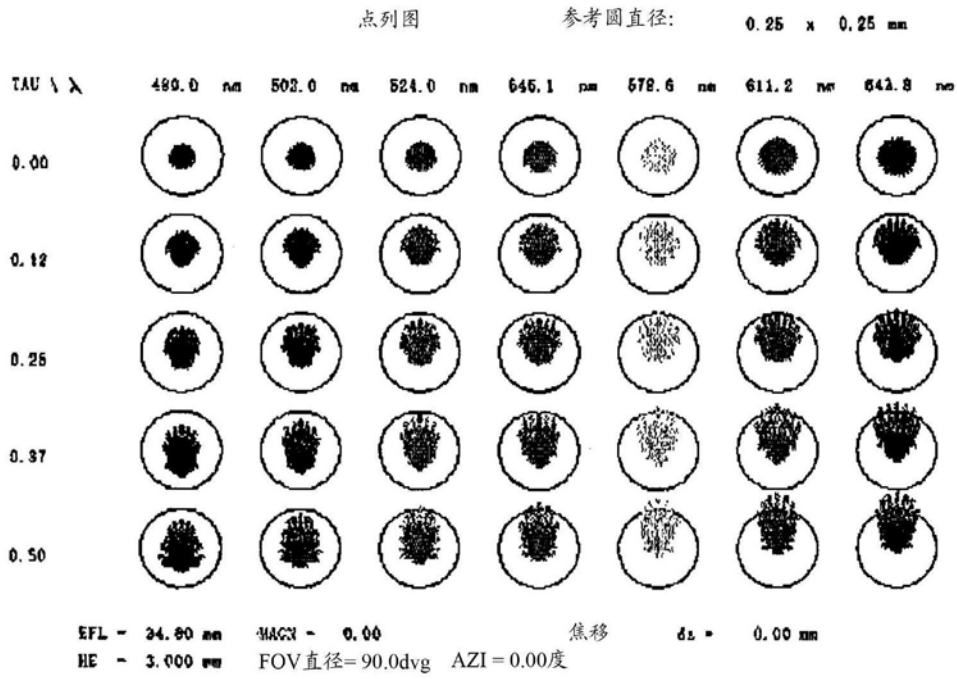


图9B: 与图9A的透镜装置相关联的点列图

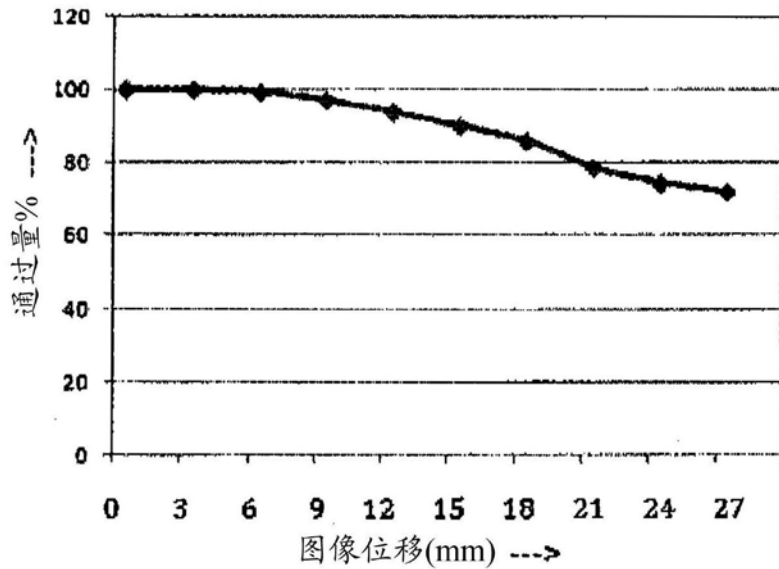


图9C: 在图9A的透镜装置的整个FOV上的照明下降

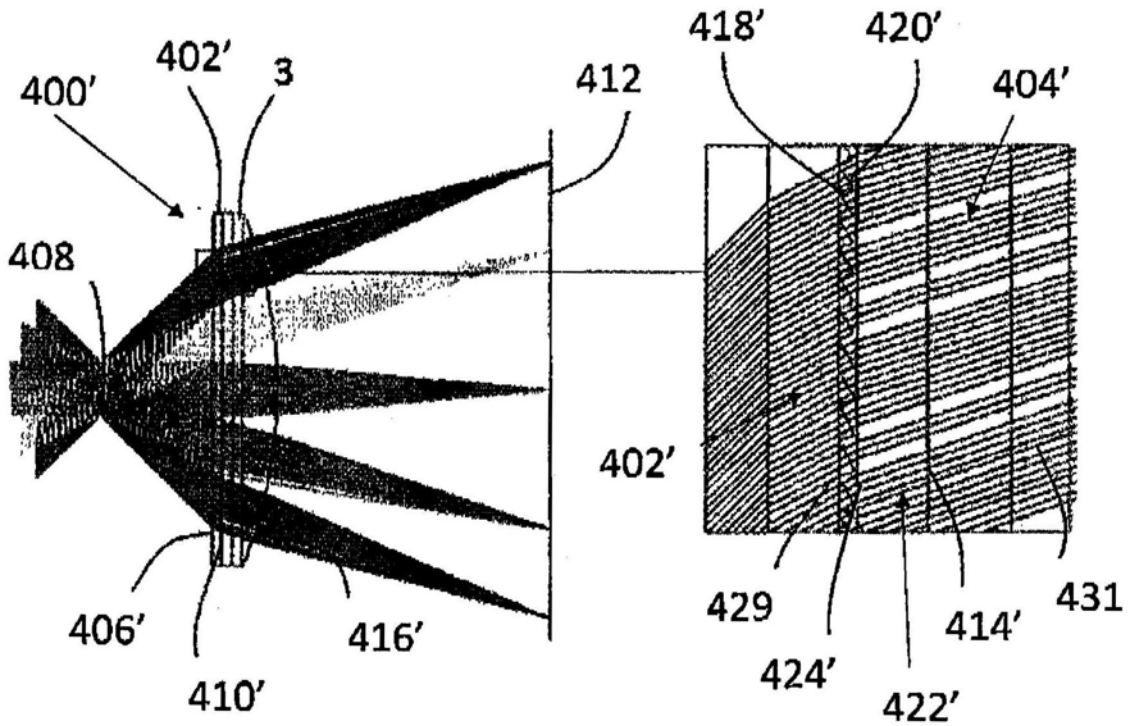


图10A: 倾斜的菲涅尔透镜-非球面嵌入式二元透镜组合

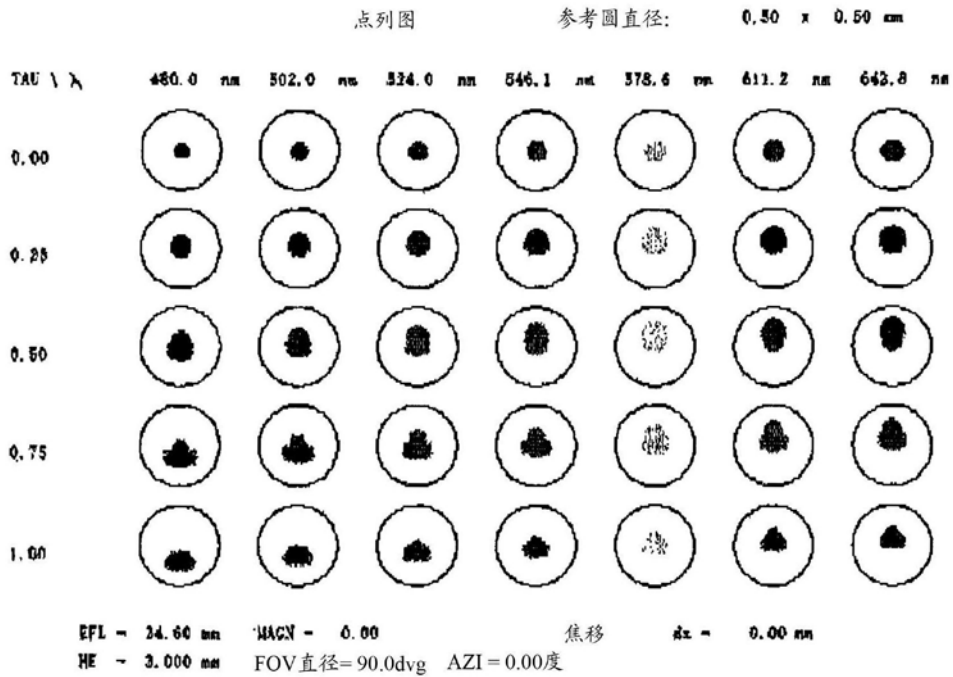


图10B: 与图10A的透镜装置相关联的点列图

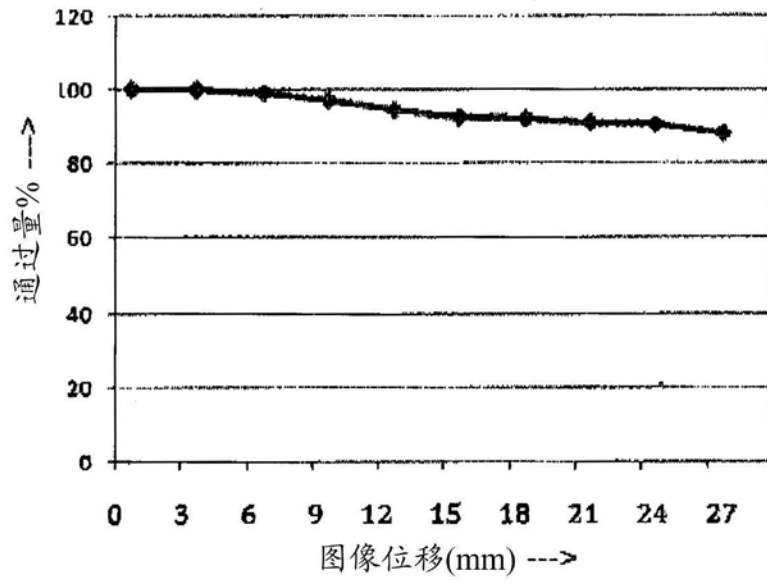


图10C:在图10A的透镜装置上的整个FOV上的照明下降

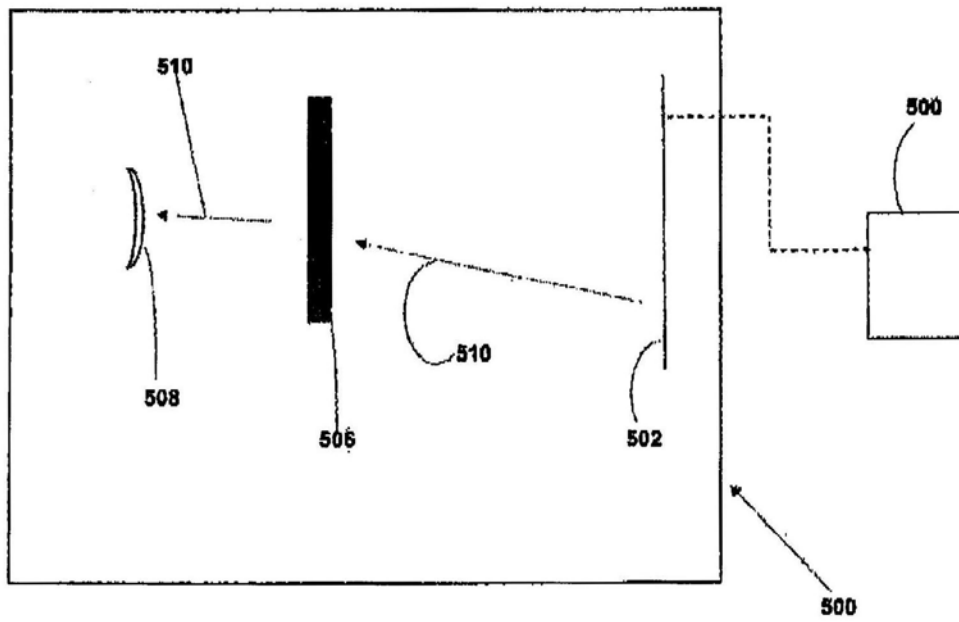


图11