

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G11B 7/135 (2006.01)

G02B 5/18 (2006.01)

G02B 27/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480019313.6

[45] 授权公告日 2008年3月26日

[11] 授权公告号 CN 100377235C

[22] 申请日 2004.7.1

[21] 申请号 200480019313.6

[30] 优先权

[32] 2003.7.9 [33] EP [31] 03102066.2

[86] 国际申请 PCT/IB2004/051081 2004.7.1

[87] 国际公布 WO2005/006320 英 2005.1.20

[85] 进入国家阶段日期 2006.1.6

[73] 专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 B·H·W·亨德里克斯

[56] 参考文献

US5808799A 1998.9.15

EP0840144A1 1998.5.6

CN1416567A 2003.5.7

WO03/049094A2 2003.6.12

CN1420495A 2003.5.28

WO03/052755A1 2003.6.26

审查员 刘莹

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 程天正 王忠忠

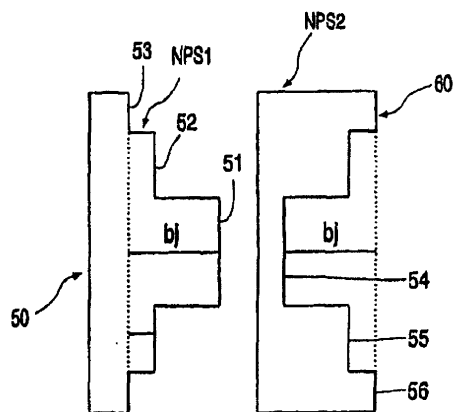
权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 1 页

[54] 发明名称

光学装置

[57] 摘要

描述了用于扫描不同的类型的光学记录载体的光学系统。该光学系统包括具有多个光学元件(NPS1, NPS2)的补偿器。光学元件(NPS1, NPS2)是具有由台阶分开的环形区域的非周期性相位结构(NPS),形成不同的长度的光学路径的非周期性图案。通过把具有NPS表面的这些多个光学元件(NPS1, NPS2)包括在光学系统的透镜系统中,有可能补偿诸如温度、入射角、入射在系统上的辐射的极化和辐射的波长的参数的变化的影响,而不引起对于另一个这样的参数的变化的灵敏度。



1. 一种对辐射光束(7)起作用的光学装置,该光学装置包括光学系统和补偿器,补偿器包括第一光学元件(NPS1),第一光学元件具有一种相位结构,该相位结构包括形成不同的长度的光学路径的非周期图案的带台阶的环形区域(51,52,53),补偿器被安排成生成:

- 由在对辐射光束(7)起作用时第一参数的变化引起的第一波前偏差,该第一波前偏差被安排成抵销由在对辐射光束(7)起作用时第一参数的变化引起的波前偏差;以及

- 由在对辐射光束(7)起作用时第二个不同的参数的变化引起的第二波前偏差,

其特征在于,该补偿器还包括第二光学元件(NPS2),该第二光学元件由与第一光学元件不同的材料形成和具有一种相位结构,该相位结构包括形成不同长度的光学路径的非周期图案的带台阶的环形区域(54,55,56),第二光学元件被安排来减小所述第二波前偏差。

2. 按照权利要求1的光学装置,其中第一光学元件(NPS1)的环形区域用 h_j 的台阶高度做成台阶以及第二光学元件(NPS2)的环形区域用 b_j 的台阶高度被做成台阶,并且其中第一光学元件(NPS1)被安排成使得对于每个环形区域,台阶高度 h_j 基本上等于:

$$h_j = m_j \frac{\lambda}{n_1 - 1}$$

其中 m_j 是整数, λ 是波长,并且 n_1 是制成第一光学元件(NPS1)的材料的折射率,以及

其中第二光学元件(NPS2)被安排成使得对于每个环形区域,台阶高度 b_j 基本上等于:

$$b_j = q_j \frac{\lambda}{n_2 - 1}$$

其中 q_j 是整数, λ 是波长,并且 n_2 是制成第二光学元件(NPS2)的材料的折射率。

3. 按照权利要求2的光学装置,其中第一光学元件和第二光学元件具有相应地安排的环形区域,以及其中台阶高度 h_j, b_j 是互相有关的。

4. 按照权利要求3的光学装置,其中台阶高度 h_j, b_j 通过基本上恒

定的参数 K 互相联系，恒定的参数 K 的数值取决于各个光学元件的补偿功能。

5. 按照权利要求 4 的光学装置，其中：

$$K = \frac{m_j}{q_j} \quad \circ$$

6. 按照权利要求 4 或 5 的光学装置，其中：

$$K \approx -\frac{\frac{1}{\lambda} - \frac{dn_2}{d\lambda}}{\frac{dn_1}{d\lambda}},$$

$$\frac{1}{\lambda} - \frac{dn_1}{d\lambda}$$

以及其中第二参数是辐射光束 (7) 的波长。

7. 按照权利要求 4 或 5 的光学装置，其中：

$$K \approx -\frac{(n_2 - 1)\alpha_2 + \frac{dn_2}{dT}}{(n_1 - 1)\alpha_1 + \frac{dn_1}{dT}}$$

其中 α_1 和 α_2 分别是形成第一和第二光学元件的材料的膨胀系数，以及 $\frac{dn_1}{dT}$ 和 $\frac{dn_2}{dT}$ 分别是形成第一和第二光学元件的材料的折射率的温度系数，

以及其中第二参数是光学装置的温度。

8. 按照权利要求 4 或 5 的光学装置，其中：

$$K \approx -\frac{n_1}{n_2},$$

以及其中第二参数是辐射光束 (7) 的入射角。

9. 按照权利要求 4 或 5 的光学装置，其中：

$$K \approx -\frac{(n_1 - 1)\frac{dn_2}{dp}}{(n_2 - 1)\frac{dn_1}{dp}},$$

其中 $\frac{dn_1}{dp}$ 和 $\frac{dn_2}{dp}$ 是形成第一和第二光学元件的材料的折射率的极化系数，

以及其中第二参数是辐射光束 (7) 的极化强度。

10. 包括按照任何一项前述权利要求的光学装置的光学扫描设备，该设备被安排用来通过使用辐射源（9）扫描具有信息层（2）的光学记录媒体。

光学装置

本发明涉及光学装置，具体地涉及包括在扫描不同类型的光记录载体中使用的光学元件的光学装置，或涉及在诸如照相机那样的光学系统中的光学元件。

在光学读出和记录的领域中的进步导致引入具有诸如更高的信息容量和密度那样的扩展能力的越来越复杂的系统。不幸地，随着这些扩展能力，系统的容差余量减小。

新的光学系统的一个例子是蓝光盘 (Blu-ray Disc) 系统 (BD)，它是一个新的光记录协议。对于 0.1mm 基片厚度的记录载体的 BD 系统使用具有约 405nm 的波长的辐射光束、0.85 的数字孔径 (NA) 和球形像差补偿。当这个系统与使用具有 650nm 的波长的辐射光束、0.6 的数字孔径和 0.6mm 基片厚度的记录载体的数字通用盘系统 (DVD) 相比较时，NA 的增加和波长的减小使得 BD 的容差的余量比起 DVD 的要小得多。能够极大地增加数据密度的 BD 系统 (能够记录 25GB 的盘) 在激光器温度变化时，或激光器的波长随不同的批次变化几个 nm 时，可能引起的波长变化要敏感得多。

在另一个例子中，在光学记录领域中，信息被存储在诸如紧凑盘 (CD) 或数字通用盘 (DVD) 的光学记录媒体的信息层上。可被存储在这样的光盘上的信息的密度的增加可以通过减小被用来扫描光盘的信息层的辐射光束的聚焦光点的尺寸而达到。光点尺寸的这种减小可以通过使用辐射光束的较短的波长和较高的数字孔径 (NA) 而达到。然而，增加的分辨率趋于减小施加到光学系统内的光学元件的容差。这些减小的容差使得用于扫描光盘的辐射光束的聚焦光点更易于使质量恶化。

光学系统可被设计成使其与不同的类型的光盘 (例如 CD 和 DVD) 相兼容。在这样的系统中，使用具有适当的和不同的波长的分开的辐射光束用于扫描各种类型的光盘。每个辐射光束通常沿着系统内的光路指向共同的部分，在该路径上设有光学元件，用于把辐射光束聚焦到光盘的聚焦光点。在设计这些光学元件，例如物镜透镜期间，会有一个问题，因为需要保证用来扫描这种类型的光盘的辐射光束要聚

焦到光盘上有足够质量的光点。

这个问题部分是由用于扫描每种类型的光盘的辐射光束的不同的波长和数字孔径造成的，但也是由于在辐射光束照射到的第一和第二类型的光盘的透明的覆盖层的信息层的深度之间的差值。这个覆盖层修正了传送到该覆盖层的辐射光束。这个修正在设计物镜透镜的精确的技术指标时被考虑，以使得波前偏差被引入到辐射光束，这补偿了通过覆盖层的修正并保证得到的聚焦光点是最高质量的。在 CD 和 DVD 的情形下，这个覆盖层的厚度分别是大约 1.2mm 和 0.6mm。结果，当设计用于扫描 DVD 的辐射光束聚焦成聚焦光点的物镜透镜被使用来扫描 CD 时，包括球形像差的波前偏差被引入到辐射光束，而这是用于补偿由 DVD 的覆盖层引入的波前偏差。因为 CD 的覆盖层具有比起 DVD 的不同的深度，所以聚焦光点的质量有所降低。

如上所述，影响聚焦光点的质量的光学系统的参数包括对于光学系统的环境影响，例如温度的改变。这种光学系统通常包括校直透镜，用于修正扫描光盘的辐射光束的聚散度；和物镜透镜，用于把辐射光束聚焦到光盘上的聚焦光点。光学系统是设计成在标准工作温度下使用的，以及包括校直仪和物镜透镜的光学系统的精确的技术规范是根据这个标准温度来确定的。

随着偏离这个标准温度的变化，光学元件的特性受影响，导致辐射光束的聚焦光点的质量的降低。在物镜透镜的情形下，温度的改变造成制做透镜的材料折射率、透镜形状、和透镜尺寸变化。另外，温度变化造成被使用来扫描光盘的辐射光束的波长发生轻微的改变。典型的聚焦光点质量随之发生的降低的形式是波前偏离，包括辐射光束的球形像差。

当波长在一定的范围内变化时引起的不想要的像差可以通过使用周期性有凹槽的透镜结构而被减小，正如在 A. Tudorovskii, "An Objective with a Phase Plate", *Optics and Spectroscopy*, Vol. 6 (1959), pp. 126-133 中描述的。在这篇文章中描述的带凹槽的透镜可被看作为正常的透镜与一种衍射结构的组合。透镜中每个台阶引起在等于多个波长的发射的光束的波前的相位台阶。在文章中全面地讨论了可以用以减小不想要的像差的精确的方法。然而，在上述的光学系统中使用这种方法具有重大的缺点，即，虽然带凹槽的透镜结构可以

使得光学系统是消色差的，但它们通常导致数量相当多的小区域。这可使得该结构很难制造，因为需要高精度来保持结构中精细的周期性区域。

非周期性相位结构(NPS)的使用可以减小与上述的凹槽透镜装置有关的某些问题。NPS具有一种相位结构，它包括形成不同长度的光路的非周期图案的环形区域。NPS通常把波前偏差引入到经过NPS传送的辐射光束中，以及可用来通过引入另一个波前偏差而修正或校正辐射光束的波前偏差。

国际专利申请 WO 01/48745 描述了用于扫描一种类型的光学记录载体的光学头。在某一设计温度下，物镜透镜被安排成把辐射光束聚焦成在光学记录载体上的光点。在与设计温度不同的温度下，物镜透镜把波前偏差引入到辐射光束。NPS被安排成把另一个波前偏差引入到辐射光束，以便减小由物镜透镜引入的波前偏差。

国际专利申请 WO 02/082437 描述用于分别用第一、第二或第三个不同的波长的辐射光束扫描第一、第二或第三个不同类型的光学记录载体的光学扫描装置。物镜系统被提供用于把在这种光学记录载体上扫描的辐射光束聚焦。另外，在辐射光束的路径上提供NPS。NPS近似于对第一辐射光束的平的波前、在第二辐射光束处的球形像差波前、和在第三辐射光束处的平的或球形像差波前。

国际专利申请 WO 02/29798 描述用于分别用第一和第二辐射光束扫描第一和第二种光学记录载体的光学装置。每个辐射光束具有不同的数字孔径。两种装置都包括NPS，它不影响第一辐射光束，但把球形像差引入到第二辐射光束。这个引入的球形像差是用于补偿在扫描通过第一和第二光学记录媒体的覆盖层的厚度的差别时造成的球形像差。

国际专利申请 WO 01/48746 描述了在通常由来自不同批次的激光二极管之间的轻微的差别造成的、由激光器二极管发射的波长的轻微变化的场合下通过使用单个NPS来补偿扫描光学记录载体的光学装置。使用具有与光学装置对于其是最佳的波长不同的波长的辐射，通常引起一定量的色球差，因此一定量的球形像差正比于波长的差别，它将由NPS校正。

NPS装置的缺点在于，虽然NPS可以校正给定的参数的一个变化，

但透镜和 NPS 一起对于另外的参数的变化却是敏感的。例如，如果 NPS 被使用来补偿物镜系统中的热变化，这可引起光学装置对于波长变化是敏感的。这种波长变化可以起源于这样的事实，在光学系统中使用的激光器的波长随不同的样本而变化几个 nm。

在用于光记录的光拾取头中，通过 NPS 使得物镜透镜成为非热的，可以引起取决于所使用的激光器的波长的不想要的波前像差。这种对波长的依赖性是不希望的，它会限制 NPS 对于热校正的应用。

另外，NPS 装置的另一个缺点在于，虽然 NPS 可以使得物镜透镜对于零视场角是消色差的，但在非零视场角，波长变为依赖于视场角的。结果，在较大的视场角处的补偿不再是最佳的，以及通过使用 NPS 被做成消色的照相机透镜或变焦透镜对于观看系统的大的视场不是最佳的。

本发明的一个目的是提供在光学系统中物镜透镜的性能的改进，以便克服上述的限制。

按照本发明，提供了用于与辐射光束互动的光学装置，光学装置包括光学系统和补偿器，补偿器包括第一光学元件，第一光学元件具有一种相位结构，该相位结构包括形成不同的长度的光学路径的非周期图案的带台阶的环形区域，补偿器被安排成生成：

- 由在辐射光束与补偿器互动期间第一参数的变化引起的第一波前偏差，第一波前偏差被安排成抵销由在辐射光束与光学系统互动期间第一参数的变化引起的波前偏差；以及

- 由在辐射光束与补偿器互动期间第二个不同的参数的变化引起的第二波前偏差，其特征在于，补偿器还包括第二光学元件，该第二光学元件由与第一光学元件不同的材料形成和具有一种相位结构，该相位结构包括形成不同长度的光学路径的非周期图案的带台阶的环形区域，第二光学元件被安排来减小所述第二波前偏差。

第一和第二波前偏差的影响，在每种情形下，根据辐射光束的均方根光路径差 (RMS OPD) 是可量化的。通过在 RMS OPD 方面减小第二偏差，补偿器具有在变化条件下当光束被聚焦到光点时增加光束分辨率的效果，因此增加了系统的容差。

通过使用本发明，有可能利用补偿器补偿第一参数的变化的影响，第一参数可以是诸如温度、入射角、辐射的极化和波长，而当作

为以上列出的参数中的另一个参数的第二参数发生变化时，不会引起很大的第二波前的偏差（不然的话这将由第一光学元件所造成）。

优选地，与当不存在补偿器时的情形相比较，补偿器基本补偿在辐射光束与光学系统互动期间由第一参数的变化引入的波前偏差，而不增加在辐射光束与光学装置互动期间由第二参数的变化引入的波前偏差。所谓“基本补偿”，我们是指在补偿器的工作范围内，最终得到的波前偏差的 RMS OPD 被减小到低于衍射极限值，也就是说，低于 $70\text{m}\lambda$ ，以及更优选地低于 $40\text{m}\lambda$ 。

两种光学元件由不同的材料制成，由此补偿器的各种优选特性可以通过形成光学元件的台阶高度之间的适当的相互关系而被实现。

应当指出，欧洲专利申请 EP 0840144 公开了一种在其每个表面上具有衍射光学结构的透镜。这两个结构使得透镜的光学特性，例如聚焦长度，对于诸如温度与波长的变化那样的两个不同参数的变化不太敏感。该专利申请没有公开 NPS 的使用，它没有公开以上的 NPS 的问题和用于该结构的不同材料的使用。

通过参照附图作出的、仅仅作为例子给出的本发明的优选实施例的以下的说明，将明白本发明的另外的特性和优点，其中：

图 1 显示包括按照本发明的一个形式的光学元件的扫描光学装置；以及

图 2 显示图 1 的光学元件的放大的截面图。

图 1 显示用于扫描光学记录载体 2 的装置 1。记录载体包括透明层 3，在它的一侧上安排有信息层 4。信息层 4 的远离透明层 3 的一侧由保护层 5 保护免受环境影响。透明层 3 的面向该装置的一侧被称为进入面 6。透明层 3 通过为信息层 4 提供机械支撑而起到记录载体的基片的作用。替换地，透明层 3 可以具有保护信息层 4 的唯一的功能，而机械支撑由信息层 4 的另一面上的层，例如保护层 5 提供，或由另一个信息层和被连接到信息层的透明层提供。信息可以以被排列成基本上平行的同圆心的或螺旋形的轨道（图上未示出）的可用光学检测的标记的形式而被存储在记录载体的信息层 4 上。标记可以具有任何光可读出的形式，例如凹点或区域的形式，它们的反射系数或磁化方向与周围不同，或这些形式的任何组合。

扫描装置 1 包括发射辐射光束 7 的辐射源。图 1 所示的辐射源包

括发射辐射光束 7 的半导体激光器 9。辐射光束 7 用来扫描光学记录载体 2 的信息层 4。光束分离器 13 把光路径上的发散的辐射光束 12 反射到校直透镜 14，该透镜把发散光束 12 变换成校直光束 15。校直光束 15 入射到透明的补偿器 16，补偿器修正校直光束的波前。来自补偿器

16 的光束 17 入射到物镜系统 18。

物镜系统 18 可包括一个或多个透镜和/或光栅。物镜系统 18 具有光轴 19。物镜系统 18 把光束 17 改变成会聚的光束 20，入射到记录载体 2 的进入面 6。物镜系统 18 具有球形像差校正，适配于把辐射光束传送通过透明层 3 的厚度。会聚的光束 20 形成在信息层 4 上的光点 21。由信息层反射的辐射形成发散的光束 22，由物镜系统 18 变换成基本上校直的光束 23，以及然后由校直器透镜 14 变换成会聚的光束 24。光束分离器 13 通过向检测系统 25 发送至少一部分会聚的光束 24 而分离成向前的和反射的光束。

检测系统 25 获取辐射和把它变换成电的输出信号 26。信号处理器 27 把这些输出信号变换成各种其它信号。其一个信号是信息信号 28，它的数值代表从信息层 4 读出的信息。信息信号由信息处理单元处理以便纠错。来自信号处理器 27 的其它信号是聚焦误差信号和径向误差信号 30。

聚焦误差信号代表在光点 21 与信息层 4 之间的在高度上的轴向差值。径向误差信号代表在光点 21 与该光点 21 应该跟踪的在信息层 4 上的该轨道的中心之间的在信息层 4 的平面上的距离。聚焦误差信号和径向误差信号被馈送到伺服电路 31，伺服电路 31 把这些信号变换成伺服控制信号 32，用于分别控制聚焦执行器和径向执行器。执行器在图 1 上未示出。聚焦执行器控制在聚焦方向 33 上物镜系统 18 的位置，由此控制光点 21 的实际位置以使得它与信息层 4 的平面基本上一致。径向执行器控制在径向方向 34 上物镜系统 18 的位置，由此控制光点 21 的径向位置以使得它与信息层 4 中要跟踪的轨道的中心线基本上一致。在图上的轨道沿垂直于图的平面的方向延伸。

图 2 显示按照本发明的实施例安排的示例性补偿器 16 的截面图。补偿器 16 包括两个互补的 NPS 单元 NPS1, NPS2。每个 NPS 单元包括透明板 50, 60，它的一个表面包括围绕光轴 19 旋转对称的相位结构。在本例中，NPS1 的相位结构具有中心区域 51 和两个同心的环形区域 52, 53。环形区域 52, 53 是具有低于中心区域 51 的高度的高度 h_j 的环。类似地，NPS2 的相位结构具有中心区域 54 和两个同心的环形区域 55, 56。环形区域 55, 56 是具有高于中心区域 54 的高度的高度 b_j 的环。应当指出，图 2 的区域的区域的高度相对于片 50, 60 的厚度和径向尺寸是夸

大了的。而且，应当指出，虽然在这个具体的例子中区域的数量是三个，但通常它可以有任何数量的区域。对于补偿应该起作用的区域的数量和它们的相应的尺寸，对于两个 NPS 单元优选地应是相同的。

考虑图 2 的 NPS 结构，令 h_j (NPS1 的台阶 j 的高度) 等于：

$$h_j = m_j \frac{\lambda}{n_1 - 1} \quad (1)$$

其中 m_j 是整数， λ 是波长，并且 n_1 是制成 NPS 的材料的折射率。

类似地，令 b_j (NPS2 的台阶 j 的高度) 等于：

$$b_j = q_j \frac{\lambda}{n_2 - 1} \quad (2)$$

其中 q_j 是整数， λ 是波长以及 n_2 是制成 NPS 的材料的折射率。

应当指出，当具有零入射角的平面波前传播通过 NPS 时，每个台阶引起 2π 的整数倍的相位台阶。

当光束的波长改变时，NPS 结构的台阶引起等于下式的相位改变 (模 2π)：

$$\Delta\Phi(\lambda) = -2\pi m_j \left(\frac{1}{\lambda} \frac{dn_1}{d\lambda} \right) \Delta\lambda - 2\pi q_j \left(\frac{1}{\lambda} \frac{dn_2}{d\lambda} \right) \Delta\lambda \quad (3)$$

其中 $\frac{dn}{d\lambda}$ 是每个各种材料的色散。

类似地，当光学系统的温度改变时，NPS 结构的台阶引起等于下式的相位改变 (模 2π)：

$$\Delta\Phi(T) = 2\pi m_j \left(\alpha_1 + \frac{dn_1}{dT} \right) \Delta T + 2\pi q_j \left(\alpha_2 + \frac{dn_2}{dT} \right) \Delta T \quad (4)$$

其中 α 是热膨胀系数，以及 $\frac{dn}{dT}$ 是每个各种材料的折射率的温度系数。

在下面更详细地描述的本发明的例子中，第一个 NPS，NPS1 是由 PMMA (聚合 (甲基丙烯酸酯)) 制成的，以及第二个 NPS，NPS2 是由 BK7 Schott™ 玻璃制成的。在表 1 中列表显示在 405nm 波长时 PMMA 和 BK7 Schott™ 玻璃的特性。

表1

材料	n	dn/dλ	α	dn/dT
PMMA	1.5060	-0.000114 nm ⁻¹	62.0 10 ⁻⁶	-12.5 10 ⁻⁵
BK7	1.5302	-0.000127 nm ⁻¹	7.1 10 ⁻⁶	0.35 10 ⁻⁵

考虑其中只存在一个 NPS 单元的现有技术的情形，以及其中该单元由 PMMA 制成，可以发现：

$$\Delta\Phi(\lambda) = -0.01693m_j\Delta\lambda$$

$$\Delta\Phi(T) = -0.001163m_j\Delta T$$

因此：

(5)

$$\frac{\Delta\Phi(T)/\Delta T}{\Delta\Phi(\lambda)/\Delta\lambda} = 0.0687$$

在 BHW Hendriks, JE de Vries 和 HP Urbach, "Application of nonperiodic phase structures in optical systems", Appl. Opt. 40 (2001), pp. 6548-6560, section 2A 的文章中描述了：对于一个 NPS 单元，可以如何显著地减小包括物镜透镜和补偿器 (NPS) 的光学装置的温度依赖性。从以上的公式 (5) 中的第三式可以看到，这个 NPS 对于波长移位 1nm 产生与对于温度改变 14.6℃ 相同的波前像差。结果，所描述的补偿了热效应的 NPS 对于波前变化也是相对较敏感的。

在本发明的第一实施例中，补偿器具有改进了的对于波长变化的非敏感性。在这个实施例中，补偿器由如图 2 所示的那样的两个 NPS 单元 NPS1, NPS2 组成，其中该两个单元由具有不同的折射率和不同的折射率温度系数的不同材料制成。在一个例子中，第一单元 NPS1 由 PMMA 制成和第二单元 NPS2 由 BK7 Schott 玻璃制成。

为了使得补偿器基本上与波长变化无关，公式 (3) 的右端被安排成基本上等于零。因此，比值 m_j/q_j ，在这里被称为 K，满足以下要求：

$$K = \frac{m_j}{q_j} = -\frac{\frac{1}{\lambda} \frac{dn_2}{d\lambda}}{\frac{dn_2}{n_2-1}} = -\frac{\frac{1}{\lambda} \frac{dn_1}{d\lambda}}{\frac{dn_1}{n_1-1}} \quad (6)$$

由于公式 (6) 的右端通常是实数，提供具有改进了的操作主模式的 NPS 结构，K 的数值优选地被舍入成有理数，以允许它被写为两个整数相除。对于表 1 上列出的材料，可以看到 K 约等于 -1。这例如可以用有理数 -1/1 来近似，因此可以选择 K = -1。NPS 结构因此优选地被安

排成使得 $m_j = -q_j$ ，因此比值 $K = m_j/q_j = -1$ ，从而它对于两种结构的每个区域 j 是恒定的。于是对于表 1 上列出的材料可以看到：

$$\begin{aligned} \Delta\Phi(\lambda) &= 0.0000894m_j\Delta\lambda \\ \Delta\Phi(T) &= -0.001249m_j\Delta T \\ \text{因此:} & \\ \frac{\Delta\Phi(T)/\Delta T}{\Delta\Phi(\lambda)/\Delta\lambda} &= -14.0 \end{aligned} \quad (7)$$

从这个公式可以看到，与单个 NPS 情形相比较，包括两个互补的 NPS 单元的光学系统的波长依赖性被大大地减小（在本例中减小 200 倍以上）。

虽然以上的情形是其中光学系统可以通过补偿器的存在而做成为非热的因而不显著地增加光学装置的波长依赖性的情形，但通过使用本发明有可能达到其它效果。

在本发明的第二实施例中，光学系统可被做成消色差的而不增加系统的温度依赖性。在 BHW Hendriks, JE de Vries 和 HP Urbach, "Application of nonperiodic phase structures in optical systems", Appl. Opt. 40 (2001), pp. 6548-6560, section 2B 的文章中描述了：对于一个 NPS 单元，可以如何显著地减小包括物镜透镜和补偿器（NPS）的光学装置的色度依赖性。从以上的公式（5）中的第三式可以看到，这个 NPS 对于 14.6℃ 温度改变与对于 1nm 波长移位产生相同的波前像差。结果，所描述的补偿色度效应的 NPS 对于温度变化也是相对较敏感的。

在本发明的第二实施例中，补偿器由如图 2 所示的那样的两个 NPS 单元 NPS1, NPS2 组成，其中该两个单元由具有不同的折射率和不同的折射率温度系数的不同材料制成。在这个实施例中，比值 $K = m_j/q_j$ 被安排成使公式（4）的右端基本上等于零。因此，这个比值被给出为：

$$K = -\frac{(n_2 - 1)\alpha_2 + \frac{dn_2}{dT}}{(n_1 - 1)\alpha_1 + \frac{dn_1}{dT}} \quad (8)$$

对于表 1 上列出的材料，可以看到公式（8）的右端等于 0.074。同样， K 的数值优选地被舍入成为有理数，以允许它被写成两个整数相除。在本例中， K 例如可以用有理数 1/13 来近似，因此可以选择 $K = 1/13$ 。NPS 结构因此优选地被安排成使得 $m_j = 1$ 和 $q_j = 13$ ，因此比值

$K=m_j/q_j=1/13$, 从而它对于两种 NPS 结构的每个区域 j 是恒定的。

另外, 按照第三实施例, 通过适当地选择 NPS 单元的材料和数值 K , 有可能使得光学装置同时为消色差的和无热的。例如, 当光学系统是消色差的但不是无热的时, 如在第一实施例中描述的补偿器可被安排成生产出基本上消色差的和非热的光学装置。

在本发明的第四实施例中, 补偿器具有改进了的、对视角变化的非敏感性。

对于辐射光束的非零视角角度 θ , NPS 结构的台阶引起等于下式的相位改变 (模 2π):

$$\Delta\Phi(\theta) = \frac{2\pi m_j}{n_1 - 1} \left(n_1 \left[1 - \frac{\sin^2 \theta}{n_1^2} \right]^{1/2} - \cos \theta - n_1 + 1 \right) + \frac{2\pi q_j}{n_2 - 1} \left(n_2 \left[1 - \frac{\sin^2 \theta}{n_2^2} \right]^{1/2} - \cos \theta - n_2 + 1 \right) \quad (9)$$

其中 θ 是视角角度。

公式 (9) 可被近似为:

$$\Delta\Phi(\theta) = \pi\theta^2 \left(\frac{m_j}{n_1} + \frac{q_j}{n_2} \right) \quad (10)$$

在下面更详细地描述的本发明的例子中, 第一个 NPS, NPS1 由 PMMA 制成, 以及第二个 NPS, NPS2 由聚碳酸酯制成。在表 2 中列表显示在 550nm 波长时 PMMA 和聚碳酸酯的特性。

表 2

材料	n	dn/dλ
PMMA	1.494	-0.0000537 nm ⁻¹
聚碳酸酯	1.590	-0.0001226 nm ⁻¹

考虑其中只存在一个由 PMMA 制成的 NPS 单元的现有技术的情形:

$$\Delta\Phi(\lambda) = -0.012107m_j\Delta\lambda$$

$$\Delta\Phi(\theta = 28^\circ) = 0.5022m_j$$

因此:

$$\frac{\Delta\Phi(\theta = 28^\circ)}{\Delta\Phi(\lambda)/\Delta\lambda} = -41.5 \quad (11)$$

在 BHW Hendriks, JE de Vries 和 HP Urbach, "Application of nonperiodic phase structures in optical systems", Appl. Opt. 40 (2001), pp. 6548-6560, section 2B 和 2C 的文章中描述了一个 NPS 单元, 可以如何显著地减小包括物镜透镜和补偿器 (NPS)

的光学装置的色度依赖性。从以上的公式(11)中的第三式可以看到，所描述的补偿色度影响的NPS对视场角度变化也是相对较敏感的。

在本发明的第四实施例中，补偿器由诸如图2所示的那样的两个NPS单元NPS1，NPS2组成，其中该两个单元由具有不同的折射率的不同材料制成。在一个例子中，NPS1由PMMA制成和NPS2由聚碳酸酯制成。为了使得补偿器基本上与视场角度无关，公式(8)的右端被安排成基本上等于零。因此，比值 $K=m_j/q_j$ 满足以下要求：

$$K = -\frac{n_1}{n_2} \quad (12)$$

对于表2上列出的材料，可以看到这个公式的右端等于-0.9396。同样，K的数值优选地被舍入成为有理数，以允许它被写成为两个整数相除。在本例中，K例如可以用有理数-15/16来近似。NPS结构因此优选地被安排成使得 $16m_j = -q_j$ ，因此比值 $K=m_j/q_j = -15/16$ ，从而它对于两种NPS结构的每个区域j是恒定的。从表2可以得到：

$$\begin{aligned} \Delta\Phi(\lambda) &= 0.02207m_j\Delta\lambda \\ \Delta\Phi(\theta = 28^\circ) &= -0.01706m_j \\ \text{因此:} & \\ \frac{\Delta\Phi(\theta = 28^\circ)}{\Delta\Phi(\lambda)/\Delta\lambda} &= -0.8 \end{aligned} \quad (13)$$

从这些公式可以看到，与单个NPS情形相比较，包括两个互补的NPS单元的光学系统的视场角度依赖性被显著地减小(在本例中缩减因子达50倍以上)。

在本发明的第五实施例中，提供了一个减小系统的视场依赖性而不影响系统的色度特性的补偿器。为了使得补偿器基本上与波长变化无关，公式(3)的右端被安排成基本上等于零。因此，比值 $K=m_j/q_j$ 满足以上公式(6)中提出的要求。

另外，按照本发明的第六实施例，通过适当地选择NPS单元的材料和K的数值，有可能使得光学装置是消色差的并且同时具有减小的视场依赖性。例如，当光学系统是消色差的但对于视场变化是敏感的时，如在第五实施例中描述的补偿器导致基本上消色差的并且具有减小了的视场依赖性的光学装置。

在本发明的第七实施例中，提供了包括一个以上的互补的NPS单元并且可被使用来补偿系统中极化改变所致影响的补偿器。在这个实

施例中，补偿器由诸如图 2 所示的那样的两个 NPS 单元 NPS1, NPS2 组成，其中该两个单元由具有不同的折射率和不同的折射率的极化系数的不同材料制成。

光束极化 p 的改变典型地导致折射率改变。对于辐射光束的极化的改变 Δp ，NPS 结构的台阶引起等于下式的相位改变（模 2π ）：

$$\Delta\Phi(p) = 2\pi n_j \left(\frac{dn_j}{dp} \right) \Delta p + 2\pi n_j \left(\frac{dn_j}{dp} \right) \Delta p \quad (14)$$

其中 $\frac{dn}{dp}$ 是每个各种材料的折射率的极化系数。

在补偿器被安排成基本上与极化改变无关地工作的情形下，公式 (4) 的右端被安排成基本上等于零。因此， K 的数值被给出为：

$$K = - \frac{(n_1 - 1) \frac{dn_2}{dp}}{(n_2 - 1) \frac{dn_1}{dp}} \quad (15)$$

再次地， K 的数值优选地被舍入为有理数，以允许它被写成为两个整数相除。

从上述的实施例，有可能推断出，辐射的波前可以通过使用一个以上的 NPS 来修正，其中台阶高度 h_j 与 b_j 的比值，等于基本上恒定的参数 K 而不管 j 的数值是什么。常数 K 的数值可以根据波前修正器的光学功能被适当地选择。

有许多其它模式，它们都可以通过适当地操控多个 NPS 单元的安排而得到补偿。

将会看到，上述的实施例仅仅作为例子被给出，并且本发明不限于这里的具体的细节。

应当指出，关于上述的实施例和在如图 1 所示的光数据拾取的情形下，第一 NPS，NPS1 例如可以被形成在校直器透镜 14 上或在一个分开的板上。第二 NPS，NPS2 例如可以被形成在物镜透镜 18 的透镜之一上或在一个分开的板上。

还将会看到，NPS 单元可以由具有能补偿上述的某些或全部影响的适当特性的任何适当透明的材料制成。本发明不限于 PMMA、聚碳酸酯或 BK7 玻璃。

另外，将会看到，两个以上的 NPS 单元的使用将使得光学装置能够工作在多种模式下。例如，补偿器可被包括在具有两种或多种模式的光数据拾取装置或记录装置中，例如用于补偿在第一模式下波长改变的影响和补偿在第二模式下温度改变的影响。这需要在光学装置中使用两个另外的 NPS 单元。同样，可以预期有替代的组合，其中两种工作模式能补偿波长、温度、入射角和极化改变的影响。

而且，有可能设想一些光学系统，其中可补偿两种以上的影响，每个附加影响由相继附加的 NPS 元件进行补偿。

再者，在 NPS1 和 NPS2 中，台阶高度分别是正的和负的（相对于外部区域而言）。应当看到，NPS1 或 NPS2 的台阶高度可以是正的或负的，取决于由各独立的单元要执行的功能或补偿。

应当看到，对于任何一个实施例描述的任何特性可以单独地或与描述的其它特性相组合地使用，并且也可以与任何其它实施例的一个或多个特性相组合地或与任何其它实施例的任何相组合地使用。再者，也可以采用以上未描述的等价物或修正方案，而不背离在所附权利要求中限定的本发明的范围。

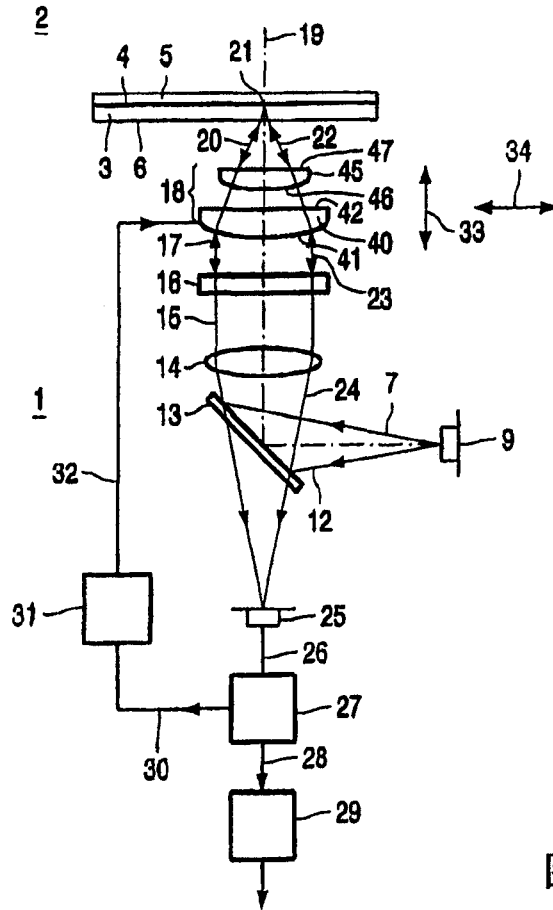


图 1

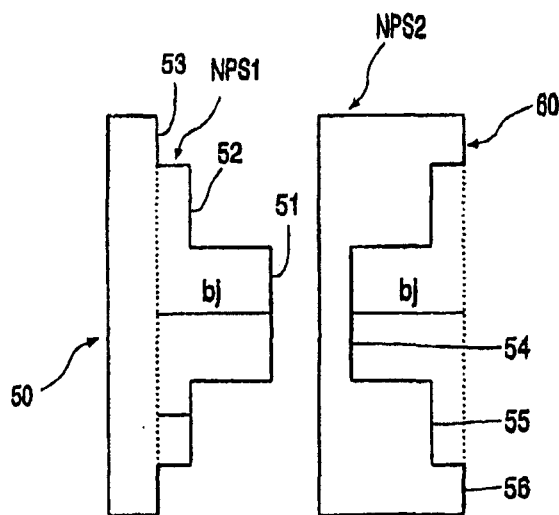


图 2