

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101943791 A

(43) 申请公布日 2011.01.12

(21) 申请号 201010216994.2

H04N 5/225 (2006.01)

(22) 申请日 2010.06.24

(30) 优先权数据

2009-159348 2009.07.03 JP

(71) 申请人 索尼公司

地址 日本东京

(72) 发明人 濑尾胜弘 冈本好喜 铃木守
铃木彰

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司
责任公司 11240

代理人 余刚 吴孟秋

(51) Int. Cl.

G02B 15/00 (2006.01)

G02B 3/14 (2006.01)

G02B 26/02 (2006.01)

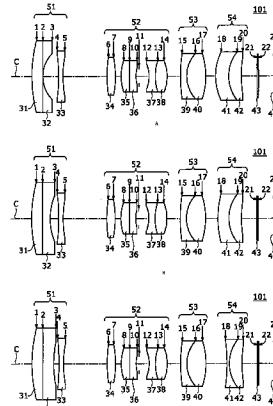
权利要求书 2 页 说明书 49 页 附图 65 页

(54) 发明名称

变焦透镜、相机模块以及电子设备

(57) 摘要

本发明提供了变焦透镜、相机模块以及电子设备，该变焦透镜包括：物体侧透镜组，设置在物体侧并且包括具有变形表面的第一可变透镜，该物体侧透镜组具有通过第一可变透镜的变形所改变的焦距；成像侧透镜组，相对于物体侧透镜组设置在成像侧，在它们之间夹置有孔径光阑，并且其包括具有变形表面的第二可变透镜，该成像侧透镜组具有通过第二可变透镜的变形所改变的焦距；以及透镜组，设置在物体侧透镜组和成像侧透镜组之间并且包括孔径光阑。控制第一可变透镜和第二可变透镜的变形，以执行倍率改变，并且通过倍率改变来执行像面移动补偿和聚焦。



1. 一种变焦透镜，包括：

物体侧透镜组，设置在所述物体侧，并且包括具有由可变形透明材料所形成的变形表面的第一可变透镜，所述物体侧透镜组具有通过所述第一可变透镜的变形而改变的焦距；

成像侧透镜组，相对于所述物体侧透镜组而设置在所述成像侧，在它们之间夹置有孔径光阑，并且所述成像侧透镜组包括具有由可变形透明材料所形成的变形表面的第二可变透镜，所述成像侧透镜组具有通过所述第二可变透镜的变形而改变的焦距；以及

透镜组，设置在所述物体侧透镜组和所述成像侧透镜组之间，并且包括所述孔径光阑；

设置在所述物体侧透镜组和所述成像侧透镜组中的所述第一可变透镜和所述第二可变透镜的变形被控制，以执行倍率改变，并且通过所述倍率改变来执行像面移动补偿和聚焦。

2. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜，其中，当在负方向上增大所述物体侧透镜组的折射力时，控制所述成像侧透镜组的折射力使其在正方向上增大，以执行所述变焦透镜从摄远端侧到广角端侧的变焦。

3. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜，其中，所述成像侧透镜组的所述第二可变透镜的变形表面设置在所述成像侧透镜组的最靠近物体侧，并且在所述物体侧在处于摄远端状态时具有凹形，而处于广角端状态时具有凸形。

4. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜，其中，在从摄远侧到广角侧变焦时，所述成像侧透镜组的所述第二可变透镜的变形表面的曲率在正方向上改变。

5. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜，其中，在从所述孔径光阑到最靠近物体侧的光轴上的透镜表面的距离由 L1 表示、从所述孔径光阑到所述第一可变透镜的光轴上的透镜表面的距离由 L2 表示、从所述孔径光阑到像面的距离由 L3 表示、并且从所述孔径光阑到所述第二可变透镜的光轴上的透镜表面的距离由 L4 表示的情况下，满足：

$$L2 \geq 0.55 \times L1$$

$$L4 \geq 0.3 \times L3.$$

6. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜，其中，包括所述孔径光阑的所述透镜组包括具有对球面像差、奇次像差以及色像差中的至少一种进行校正的功能的透镜组。

7. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜，其中，包括非球面透镜。

8. 根据权利要求 7 所述的变焦透镜，其中，所述非球面透镜被包括在所述物体侧透镜组和所述成像侧透镜组的至少一个中。

9. 根据权利要求 7 所述的变焦透镜，其中，所述非球面透镜设置在相对于所述第一可变透镜的物体侧和相对于所述第二可变透镜的成像侧的其中一处或者两处。

10. 根据权利要求 7 所述的变焦透镜，其中，所述非球面透镜设置在所述成像侧透镜组的最靠近成像侧。

11. 根据权利要求 7 所述的变焦透镜，其中，所述非球面透镜设置在所述物体侧透镜组的最靠近物体侧。

12. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜，其中，具有校正轴上色像差功能的透镜或者透镜组设置在其中夹置有所述孔径光阑的所述透镜组与包括所述第二可变透镜的所述成像侧透镜组之间。

13. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜, 其中, 所述第一可变透镜和所述第二可变透镜被各自构造, 使得在具有光学透明性的固体材料与具有光学透明性的弹性膜之间填充具有光学透明性的液体或者凝胶, 并且通过所述液体或者凝胶和所述弹性膜的变形来改变所述焦距。

14. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜, 其中, 在所述物体侧透镜组和所述成像侧透镜组之间设置有用于使光路偏转的光路偏转元件。

15. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜, 其中, 在摄远端侧, 在所使用的波长中横像差基本上与视角成比例地改变。

16. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜, 其中, 在所述第一可变透镜和所述第二可变透镜的每一个的内部的透明材料的折射率由 n 表示、并且入射角或者出射角由 i 表示的情况下, 满足 :

$$n \times \sin(i) < 0.5.$$

17. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜, 其中, 透镜的总厚度与从最靠近物体侧的透镜表面到最靠近成像侧的透镜表面的距离的比率为 40% 以上。

18. 根据权利要求 1 所述的变焦透镜, 其中, 当使用所述第一可变透镜和所述第二可变透镜中的任一个使得在球面偏离量由 Δz 表示并且透镜有效直径由 D 表示时、 $\Delta z/D$ 在所用范围内满足 $\Delta z/D > 0.205$ 的情况下, 所述任一个可变透镜的变形表面形成为非球面。

19. 一种相机模块, 包括 :

变焦透镜, 包括 : 物体侧透镜组, 设置在所述物体侧并且包括具有由可变形透明材料所形成的变形表面的第一可变透镜, 所述物体侧透镜组具有通过所述第一可变透镜的变形而改变的焦距 ; 成像侧透镜组, 相对于所述物体侧透镜组设置在所述成像侧, 在它们之间夹置有孔径光阑, 并且所述成像侧透镜组包括具有由可变形透明材料所形成的变形表面的第二可变透镜, 所述成像侧透镜组具有通过所述第二可变透镜的变形而改变的焦距 ; 以及透镜组, 设置在所述物体侧透镜组和所述成像侧透镜组之间, 并且包括所述孔径光阑 ; 设置在所述物体侧透镜组和所述成像侧透镜组中的所述第一可变透镜和所述第二可变透镜的变形被控制, 以执行倍率改变并且通过所述倍率改变来执行像面移动补偿和聚焦 ; 以及

摄像元件, 用于拾取通过所述变焦透镜所形成的图像。

20. 一种电子设备, 包括 :

变焦透镜, 包括 : 物体侧透镜组, 设置在所述物体侧, 并且包括具有由可变形透明材料所形成的变形表面的第一可变透镜, 所述物体侧透镜组具有通过所述第一可变透镜的变形而改变的焦距 ; 成像侧透镜组, 相对于所述物体侧透镜组而设置在成像侧, 在它们之间夹置有孔径光阑, 并且所述成像侧透镜组包括具有由可变形透明材料所形成的变形表面的第二可变透镜, 所述成像侧透镜组具有通过所述第二可变透镜的变形而改变的焦距 ; 以及透镜组, 设置在所述物体侧透镜组和所述成像侧透镜组之间, 并且包括所述孔径光阑 ; 设置在所述物体侧透镜组和所述成像侧透镜组中的所述第一可变透镜和所述第二可变透镜的变形被控制, 以执行倍率改变并且通过所述倍率改变来执行像面移动补偿和聚焦 ;

摄像元件, 用于拾取通过所述变焦透镜所形成的图像 ; 以及

控制部, 用于控制所述变焦透镜的所述第一可变透镜和所述第二可变透镜。

变焦透镜、相机模块以及电子设备

[0001] 相关申请的参考

[0002] 本申请包含于 2009 年 7 月 3 日向日本专利局提交的日本优先专利申请 JP 2009-159348 中所涉及的主题，其全部内容结合于此作为参考。

技术领域

[0003] 本发明涉及变焦透镜，以及使用该变焦透镜的相机模块和电子设备，该变焦透镜包括不移动透镜而通过透镜材料的变形来改变焦距、并且通过焦距的改变实现了变焦的透镜。

背景技术

[0004] 对于使用诸如 CCD(电荷耦合器件)元件或者 CMOS(互补金属氧化物半导体)元件的固态摄像元件的相机模块，以及对于使用这种相机模块的各种电子设备(诸如摄像装置)，需要减小尺寸和重量。为此，已经提出了各种方法，其中，使用了没有移动机构的可变焦距透镜作为供相机模块使用的变焦透镜。例如，日本专利公开第 2008-185627 号(下文中，称作专利文献 1)公开了使用具有可变形透镜折射表面的可变焦距透镜作为转换透镜(converterlens)的技术。

[0005] 在专利文献 1 中所公开的折射表面变形型透镜被配置为使得由树脂材料等所制成并具有光学透明性的弹性膜通过密封材料而粘附至形成为平板或具有预定曲面的光学透明基板，并且在内部填充有光学透明液体等。通过改变施加至填充在透明基板和弹性膜之间的材料的压力来使弹性膜变形，可以改变曲面形状，从而改变透镜的焦距。作为以这种方式来改变曲面形状的透镜，已经提出了在其中填充有液体的液体透镜、在其中填充有凝胶的凝胶透镜等。

[0006] 在图 69 中示出了如上所述的这种折射表面变形型的可变透镜的实例的示意性截面构造。参考图 69，所示的可变透镜 82 包括：光学透明基板 81，设置在可变透镜的一个表面上，并且由诸如玻璃或树脂的材料制成；以及变形膜 87，设置在可变透镜的另一表面上，并且由光学透明弹性膜等形成。例如，在一对环形框架构件 83 和 85 之间插入有接合材料等的接合构件 84，以使光学透镜基板 81 和变形膜 87 的外缘通过该接合构件 84 而保持为液体密封。在由所提及的构件限定的区域中密封有诸如液体或凝胶的具有流动性的光学透明介质 90，以形成折射表面变形型的可变透镜 82。在所示实例中，在可变透镜 82 上、在接合构件 84 的部分处设置有管状等的液体移动构件 86，使得可以通过该液体移动构件而将介质 90 引入可变透镜 82 的内部，或者可以从可变透镜的内部提取介质。驱动未示出的外部泵机构等，以改变在可变透镜 82 中的介质 90 的体积。通过改变介质 90 的体积，可以使变形膜 87 变形，从而在从凸透镜至凹透镜的范围内改变可变透镜 82 的焦距。应注意，变形机构不仅可以是用于将介质 90 注入可变透镜 82 的内部并从可变透镜的内部取出介质的这种机构，而且还可以是通过框架构件 83 或者 85 等的变形来改变对变形膜 87 的压力的机构。因此，用于改变对变形膜 87 的压力的机构没有具体限制。

[0007] 作为可变透镜 82 中的介质, 优选的是, 使用具有光学透明性并具有适当折射率的材料, 诸如硅树脂型油。同时, 作为变形膜 87 的材料, 优选的是, 使用具有适当弹性并具有所需光学透明性的可变形材料, 诸如硅树脂型橡胶, 并且变形膜 87 优选具有可变形薄膜等的形状。

[0008] 通过采用如上所述的这种构造, 可以仅通过诸如用于改变对介质 90 的变形膜 87 的压力的机构的比较简单且容易的机构(例如, 用于抽吸或者注入介质 90 的机构等)使透镜倍率(lens power)可变。通过利用如上所述的这种可变透镜 82, 可以实现焦距放大倍率(focal magnification)的改变, 并且例如, 通过结合如图 69 所示的多个这种可变透镜 82, 如在专利文献 1 中所公开的这种广角转换器(wide converter)可以由更简单的构造来实现。

[0009] 此外, 研究利用电润湿型可变焦距透镜, 该电润湿型可变焦距透镜利用了电润湿现象, 并且其中包括极性液体和非极性液体的两种不同的液体容纳在容器中, 并且施加电压以使在两种液体之间的界面的形状变形, 从而改变焦距。例如, 在日本专利公开第 2008-089752 号(下文中, 称作专利文献 2)中提出了使用以上所述的电润湿型可变焦距透镜的变焦透镜。

发明内容

[0010] 在包括如上所述的这种摄像元件的相机模块中, 还需要增强分辨率以及增加像素的数量, 并且对于供相机模块使用的变焦透镜, 需要将像差抑制为较低的良好光学特性。然而, 关于使用液体透镜、凝胶透镜或者电润湿透镜的透镜系统, 至今还没有提出在实现考虑到像差的良好光学特性的同时还为变焦透镜所使用的构造。

[0011] 因此, 期望提供一种变焦透镜, 在其被配置为使用通过改变透镜的折射表面的形状而改变焦距的透镜的同时, 抑制像差从而抑制光学特性的劣化。

[0012] 根据本发明的实施方式, 提供了一种变焦透镜, 该变焦透镜包括: 物体侧透镜组, 设置在物体侧, 并且包括具有由可变形透明材料所形成的变形表面的第一可变透镜, 该物体侧透镜组具有通过第一可变透镜的变形而改变的焦距; 成像侧透镜组, 相对于物体侧透镜组而设置在成像侧, 在它们之间夹置有孔径光阑, 并且其包括具有由可变形透明材料所形成的变形表面的第二可变透镜, 该成像侧透镜组具有通过第二可变透镜的变形而改变的焦距; 以及透镜组, 设置在物体侧透镜组和成像侧透镜组之间并且包括孔径光阑, 设置在物体侧透镜组和成像侧透镜组中的第一可变透镜和第二可变透镜的变形被控制为执行倍率改变, 并且通过倍率改变来执行像面移动补偿和聚焦。

[0013] 根据本发明的另一实施方式, 提供了一种相机模块, 该相机模块包括上述变焦透镜和用于拾取由变焦透镜形成的图像的摄像元件。

[0014] 根据本发明的又一实施方式, 提供了一种电子设备, 该电子设备包括上述变焦透镜、用于拾取通过变焦透镜所形成的图像的摄像元件以及用于控制变焦透镜的第一可变透镜和第二可变透镜的控制部。

[0015] 在变焦透镜、相机模块以及电子设备中, 至少将可以通过透镜折射表面的变形来改变焦距而不涉及驱动机构的第一可变透镜和第二可变透镜用作供变焦透镜使用的可变焦距透镜。具体地, 第一可变透镜和第二可变透镜包括在设置于物体侧和成像侧(其间插

入有孔径光阑)的透镜组中。这些透镜组通过控制第一可变透镜和第二可变透镜的变形来执行倍率改变，并且通过倍率改变来执行像面移动补偿和聚焦。

[0016] 由于以这种方式在物体侧和成像侧设置其透镜折射表面形状在变焦透镜内改变的可变透镜的配置构造，因此即使在改变焦距来执行变焦的情况下，也可以抑制像差并且抑制光学特性的劣化。

[0017] 因此，根据本发明，提供了一种变焦透镜，其中，在其使用通过改变透镜折射表面形状来改变焦距的透镜的同时，抑制了像差，从而抑制了光学特性的恶化。

[0018] 参考附图，本发明的以上和其他目的、特征以及优点将从下文的描述和所附权利要求中变得显而易见，其中，相同的部件或元件由相同的参考标号来表示。

附图说明

[0019] 图 1A、图 1B 和图 1C 是分别示出了根据本发明第一实施方式的变焦透镜的实例在广角端状态、中间焦距状态和摄远端 (telephotoend) 状态下的透镜构造的示意图；

[0020] 图 2A 和图 2B 是示出了比较例 1 的变焦透镜分别在广角端状态和摄远端状态下的透镜构造的示意图；

[0021] 图 3 是示出了根据本发明第一实施方式的变焦透镜的另一透镜构造的示意图；

[0022] 图 4A、图 4B 和图 4C 是分别示出了图 1A～图 1C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的几个像差特性的图示；

[0023] 图 5A、图 5B 和图 5C 是分别示出了图 1A～图 1C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的空间频率特性的图示；

[0024] 图 6 是示出了周边光线入射到图 1A～图 1C 中所示的变焦透镜的透镜表面的入射角特性的图示；

[0025] 图 7 是示出了主光线入射到图 1A～图 1C 中所示的变焦透镜的透镜表面的入射角特性的图示；

[0026] 图 8 是示出了周边光线入射到图 2A 和图 2B 中所示的变焦透镜的透镜表面的入射角特性的图示；

[0027] 图 9 是示出了主光线入射到图 2A 和图 2B 中所示的变焦透镜的透镜表面的主光线的入射角特性的图示；

[0028] 图 10 是示出了在图 1A～图 1C 中所示的变焦透镜的透镜表面处的球面像差的图示；

[0029] 图 11 是示出了在图 1A～图 1C 中所示的变焦透镜的透镜表面处的彗形像差的图示；

[0030] 图 12 是示出了在图 1A～图 1C 中所示的变焦透镜的透镜表面处的像散的图示；

[0031] 图 13 是示出了在图 1A～图 1C 中所示的变焦透镜的透镜表面处的轴上色像差 (chromatic aberration) 的图示；

[0032] 图 14 是示出了图 1A～图 1C 中所示的变焦透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组的轴外光线入射角特性的平均值的图示；

[0033] 图 15 是示出了图 1A～图 1C 中所示的变焦透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组的主光线入射角特性的平均值的图示；

- [0034] 图 16 是示出了不同波长的光线在图 1A ~ 图 1C 中所示的变焦透镜的广角端状态下的横像差特性的图示；
- [0035] 图 17 是示出了不同波长的光线在图 1A ~ 图 1C 中所示的变焦透镜的摄远端状态下的横像差特性的图示；
- [0036] 图 18 是示出了在图 1A ~ 图 1C 中所示的变焦透镜的广角端状态下的横像差特性的图示；
- [0037] 图 19 是示出了在图 1A ~ 图 1C 中所示的变焦透镜的摄远端状态下的横像差特性的图示；
- [0038] 图 20A、图 20B 和图 20C 是分别示出了根据本发明第一实施方式的变焦透镜的另一实例在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的截面构造的图示；
- [0039] 图 21A、图 21B 和图 21C 是分别示出了图 20A ~ 图 20C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的几个像差特性的图示；
- [0040] 图 22A、图 22B 和 22C 是分别示出了图 20A ~ 图 20C 中所示变焦透镜分别在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的空间频率特性的图示；
- [0041] 图 23 是示出了图 20A ~ 图 20C 中所示的变焦透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组的轴外光线入射角特性的平均值的图示；
- [0042] 图 24 是示出了图 20A ~ 图 20C 中所示的变焦透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组的主光线入射角特性的平均值的图示；
- [0043] 图 25 是示出了图 20A ~ 图 20C 中所示的变焦透镜的广角端状态下的横像差特性的图示；
- [0044] 图 26 是示出了图 20A ~ 图 20C 中所示的变焦透镜的摄远端状态下的横像差特性的图示；
- [0045] 图 27 是示出了折射表面变形型透镜的球面与理想球面在直径方向上的偏差的图示；
- [0046] 图 28 是示出了折射表面变形型透镜的曲率半径与球面的最大偏离量的图示；
- [0047] 图 29A、图 29B 和图 29C 是分别示出了根据参考例 1 的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的几个像差特性的图示，该参考例 1 反映了图 1 中所示的变焦透镜的可变透镜的表面形状；
- [0048] 图 30A、图 30B 和 30C 是分别示出了根据参考例 1 的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的空间频率特性的图示，该参考例 1 反映了图 1 中所示的变焦透镜的可变透镜的表面形状；
- [0049] 图 31A、图 31B 和图 31C 是分别示出了根据参考例 2 的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的截面构造的示意图，在参考例 2 中，在反映了图 1 中所示的变焦透镜的可变透镜的表面形状的情况下，将其他固定透镜表面最优化；
- [0050] 图 32A、图 32B 和图 32C 是分别示出了图 31A ~ 图 31C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的几个像差特性的图示；
- [0051] 图 33A、图 33B 和图 33C 是分别示出了图 31A ~ 图 31C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的空间频率特性的图示；
- [0052] 图 34A、图 34B 和图 34C 是分别示出了根据本发明第二实施方式的变焦透镜的实例

在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的透镜构造的示意图；

[0053] 图 35A、图 35B 和图 35C 是分别示出了图 34A ~ 图 34C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的几个像差特性的图示；

[0054] 图 36A、图 36B 和图 36C 是分别示出了图 34A ~ 图 34C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的空间频率特性的图示；

[0055] 图 37 是示出了图 34A ~ 图 34C 中所示的变焦透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组的轴外光线入射角特性的平均值的图示；

[0056] 图 38 是示出了图 34A ~ 图 34C 中所示的变焦透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组的主光线入射角特性的平均值的图示；

[0057] 图 39 是示出了图 34A ~ 图 34C 中所示的变焦透镜在广角端状态下的横像差特性的图示；

[0058] 图 40 是示出了图 34A ~ 图 34C 中所示的变焦透镜在摄远端状态下的横像差特性的图示；

[0059] 图 41 是示出了图 1 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的放大倍率色像差的图示；

[0060] 图 42 是示出了图 1 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的放大倍率色像差的示意图，在图 1 中，反映了变焦透镜的可变透镜的表面形状；

[0061] 图 43 是示出了图 34 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的放大倍率色像差的图示；

[0062] 图 44A、图 44B 和图 44C 是分别示出了根据本发明第二实施方式的变焦透镜的另一实例在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的截面构造的示意图；

[0063] 图 45A、图 45B 和图 45C 是分别示出了图 44A ~ 图 44C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的几个像差特性的图示；

[0064] 图 46A、图 46B 和图 46C 是分别示出了图 44A ~ 图 44C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的空间频率特性的图示；

[0065] 图 47 是示出了在图 44A ~ 图 44C 中所示的变焦透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组的轴外光线入射角特性的平均值的图示；

[0066] 图 48 是示出了图 44A ~ 图 44C 中所示的变焦透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组的主光线入射角特性的平均值的图示；

[0067] 图 49 是示出了在图 44A ~ 图 44C 中所示的变焦透镜的广角端状态下的横像差特性的示图示；

[0068] 图 50 是示出了在图 44A ~ 图 44C 中所示的变焦透镜的摄远端状态下的横像差特性的图示；

[0069] 图 51A、图 51B 和图 51C 是分别示出了根据本发明第三实施方式的变焦透镜的实例在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的截面构造的示意图；

[0070] 图 52A、图 52B 和图 52C 是分别示出了图 51A ~ 图 51C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的几个像差特性的图示；

[0071] 图 53A、图 53B 和图 53C 是分别示出了图 51A ~ 图 51C 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的空间频率特性的图示；

- [0072] 图 54 是示出了图 51A ~ 图 51C 中所示的变焦透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组的轴外光线入射角特性的平均值的图示；
- [0073] 图 55 是示出了图 51A ~ 图 51C 中所示的变焦透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组的主光线入射角特性的平均值的图示；
- [0074] 图 56 是示出了图 51A ~ 图 51C 中所示的变焦透镜在广角端状态下的横像差特性的图示；
- [0075] 图 57 是示出了图 51A ~ 图 51C 中所示的变焦透镜在摄远端状态下的横像差特性的图示；
- [0076] 图 58 是示出了图 1 中所示的变焦透镜的可变透镜相对于孔径光阑的位置的示意图；
- [0077] 图 59 是示出了根据本发明第三实施方式的变焦透镜的另一实例在中间焦距状态下的截面构造的示意图；
- [0078] 图 60 是示出了图 59 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的放大倍率色像差的图示；
- [0079] 图 61 是示出了根据比较例 2 的变焦透镜在变焦透镜处于中间焦距状态的情况下截面构造的示意图，在比较例 2 中，基于由图 59 中所示的变焦透镜提供的基本构造，而将透镜组中物体侧的可变透镜定位成更接近于孔径光阑；
- [0080] 图 62 是示出了图 59 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的放大倍率色像差的图示；
- [0081] 图 63 是示出了根据比较例 3 的变焦透镜在变焦透镜处于中间焦距状态的情况下截面构造的示意图，在比较例 3 中，基于由图 59 中所示的变焦透镜提供的基本构造，而将透镜组中物体侧的可变透镜定位成更接近于孔径光阑；
- [0082] 图 64 是示出了图 59 中所示的变焦透镜在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的放大倍率色像差的图示；
- [0083] 图 65 是示出了相对于折射表面变形型透镜的有效直径比的球面偏离量的图示；
- [0084] 图 66 是示出了通过折射表面变形型透镜的球面偏离量除以有效直径所获得的无量纲数 (dimensionless number) 与通过透镜的曲率半径除以有效直径所获得的无量纲数之间的关系的图示；
- [0085] 图 67 是根据本发明第四实施方式的摄像装置的实例的示意性框图；
- [0086] 图 68 是根据本发明第五实施方式的电子设备的实例的示意性框图；以及
- [0087] 图 69 是现有技术中的折射表面变形型可变透镜的实例的示意性截面图。

具体实施方式

[0088] 在下文中，描述了本发明的优选实施方式。将以下列顺序进行描述。

[0089] 1. 第一实施方式（变焦透镜）

[0090] 1-1. 变焦透镜的总体构成

[0091] 1-2. 设计例 1(基本设计的实例)

[0092] 1-3. 比较例 1(使用现有技术中的可移动透镜的变焦透镜的实例)

[0093] 1-4. 设计例 1 和比较例 1 之间的比较

- [0094] 1-5. 设计例 2(透镜数目减少的实例)
- [0095] 2. 第二实施方式(使用非球面的变焦透镜)
- [0096] 2-1. 参考例 1(变形面相对于球面的偏离量的说明)
- [0097] 2-2. 参考例 2(不使用非球面而将参考例 1 最优化的实例)
- [0098] 2-3. 设计例 3(添加一个非球面的实例)
- [0099] 2-4. 设计例 4(添加两个非球面的实例)
- [0100] 3. 第三实施方式(使用非球面来减少透镜数目的实例)
- [0101] 3-1. 设计例 5(使用三个非球面来减小透镜数目的实例)
- [0102] 4. 可变透镜和孔径光阑之间的距离的研究
- [0103] 4-1. 设计例 6(使用三个非球面的实例)
- [0104] 4-2. 比较例 2(基于设计例 6 而将物体侧可变透镜定位成更接近于孔径光阑的实例)
- [0105] 4-3. 比较例 3(基于设计例 6 而将成像侧可变透镜定位成更接近于孔径光阑的实例)
- [0106] 5. 关于有效直径的研究
- [0107] 6. 第四实施方式(相机模块)
- [0108] 7. 第五实施方式(电子设备)
- [0109] 1. 第一实施方式(变焦透镜)
- [0110] 1-1. 变焦透镜的总体构造
- [0111] 首先,将描述根据本发明第一实施方式的变焦透镜。本实施方式的变焦透镜至少包括:透镜组,包括第一可变透镜;另一透镜组,包括夹置在其中的孔径光阑;以及成像侧的又一透镜组,包括第二可变透镜。第一可变透镜和第二可变透镜被构造有由可变形透明材料制成的变形面,并且可以将折射表面变形型透镜(诸如液体透镜或凝胶透镜)或者电润湿透镜应用于第一可变透镜和第二可变透镜。这里,作为可变透镜的介质的透明材料可以是相对于使用的波长具有所需的光学透明性的任何材料,并且可以是在可见光范围内、在包括可见光范围的宽波长频带的范围内、或者从可见光范围部分地转移的波长频带的范围内为透明的各种材料中的任一种。物体侧的透镜组通过第一可变透镜的第一变形表面的变形来改变其焦距,并因此用作变换器,以确定形成在像面上的摄像物体的尺寸。同时,包括第二可变透镜的成像侧的透镜组具有作为补偿器的功能,并且与具有变换器功能的物体侧的透镜结合,以执行像面移动补偿和聚焦。
- [0112] 同时,设置在物体侧透镜组和成像侧透镜组之间并且包括夹置在其中的孔径光阑的透镜组可以由不包括可变透镜的固定透镜形成。对于该透镜组,可以是高斯型透镜组或与高斯型透镜组类似的透镜组,在高斯型透镜组中,基本上消色像差(achromatic)的凸透镜和凹透镜以对称关系设置,以有效地校正奇次像差(odd-order aberration)、球面像差和色像差。通过设置高斯型透镜组或者与高斯型相类似的类型的透镜组,可以有利地校正球面像差、奇次像差和色像差。
- [0113] 此外,除设置物体侧透镜组、成像侧透镜组以及设置有夹在其中的孔径光阑的透镜组以外,还可以设置一些其他的透镜或者透镜组。例如,可以将如上所述的这种透镜或者透镜组设置在设置有夹在其中的孔径光阑的透镜组与成像侧的包括第二可变透镜的透镜

组之间,使得这种透镜或透镜组用作用于执行如下文所述的轴上色像差校正的透镜组。

[0114] 以这种方式,除设置包括可变透镜的物体侧透镜组和成像侧透镜组,以及设置有夹在其中的孔径光阑的透镜组以外,还可以设置一些其他的透镜组。然而,应注意,将包括第一可变透镜的透镜组设置为最靠近物体侧的透镜组,并且将包括第二可变透镜的透镜组设置为最靠近成像侧的透镜组。

[0115] 此外,不限制可变透镜的数目,并且例如,可以将可变透镜设置在包括孔径光阑的上述透镜组中。然而,如下文中所描述的,可以确认,利用其中一个可变透镜设置在最靠近物体侧的透镜组中并且一个可变透镜设置在最靠近成像侧的透镜组中的构造,获得了良好的像差特性。因此,优选地,将可能需要驱动机构的可变透镜的数目最小化,并且考虑在物体侧透镜组和成像侧透镜组的每一个中都应该设置一个可变透镜。应注意,优选可变透镜与孔径光阑之间的距离相对于焦距保持在固定范围内,下文中描述了这种情况。

[0116] 根据本实施方式的变焦透镜优选地被构造为使得当物体侧透镜组的折射力在负方向上增大时,控制成像侧透镜组的折射力,使得其在正方向上增大,以从摄远侧变焦至广角侧。具体地,在摄远侧和广角侧包括可变透镜的物体侧透镜组的折射力分别由 φAt 和 φAw 表示、以及在摄远侧和广角侧包括可变透镜的成像侧透镜组的折射力分别由 φBt 和 φBw 来表示的情况下,变焦透镜被构造为满足下面的表达式:

[0117]

$$\varphi At > \varphi Aw \quad \dots \quad (1)$$

[0118]

$$\varphi Bt < \varphi Bw \quad \dots \quad (2)$$

[0119] 通过以上所述的构造,可以利用如在下文中所述的设计例 1 和设计例 2 以及第二实施方式的各种设计例的说明中所详细描述的,从而确定地抑制像差。

[0120] 此外,优选地,在从摄远端侧朝向广角端侧变焦时,成像侧透镜组的第二可变透镜的变形表面的曲率在正方向上变化。具体地,在摄远端侧和广角端侧第二可变透镜的第二变形表面的曲率分别由 Ct 和 Cw 来表示的情况下,它们被构造为满足下面的表达式(3):

[0121] $Ct < Cw \quad \dots \quad (3)$

[0122] 应注意,这里,将曲率的符号定义为使曲率在变形表面对于物体侧为凸形的情况下为正,而在变形表面对于成像侧为凸形的情况下为负。

[0123] 例如,在第二可变透镜的第二变形表面由空气和介质(其为从物体侧起依次设置的液体、凝胶等的透明材料)来限定的情况下,折射力 Φ 由下面的表达式来表示:

[0124]

$$\Phi = (n - 1)C$$

[0125] 其中, n 为液体折射率,而 C 为曲率。在 R 为曲率半径的情况下,曲率由 $C = 1/R$ 来表示。

[0126] 因此,在定义

[0127]

$$\varphi Bt < \varphi Bw$$

[0128] 的情况下,满足

[0129] $Ct < Cw$

[0130] 的关系。通过以上所述的构造,可以如上所述来抑制像差的出现。

[0131] 总之,通过如上所述设置高斯型透镜组或者与高斯型类似的类型的透镜组而使得孔径光阑夹置于其中,可以有利地校正球面像差、奇次像差和色像差。此外,通过构造变焦透镜使得满足上文所给出的表达式(1)、(2)和(3),可以将形成为可变透镜组的物体侧透镜组和成像侧透镜组的像差抑制为很小,并且如在下文中所述的设计例1的说明中详细描述的,还可以将通过变焦的变化抑制为很小。

[0132] 如上文所描述的,可以将诸如折射表面变形型透镜(诸如液体透镜或凝胶透镜)或电润湿透镜的其透镜表面变形的各种透镜应用于第一可变透镜和第二可变透镜。在使用诸如液体透镜或者凝胶透镜的折射表面变形型透镜的情况下,优选地,其被构造为在光学透明固体材料和光学透明弹性材料之间填充有光学透明液体或者凝胶,并且使得通过液体或凝胶和弹性膜的变形来改变焦距。

[0133] 作为用于折射表面变形型透镜的固体材料,可以使用可应用于诸如玻璃或树脂基板等各种光学元件的透明材料。同时,作为液体或者凝胶,可以利用硅基油、硅凝胶等,并且作为膜材料,可以利用硅树脂等。

[0134] 在应用于本发明的折射表面变形型透镜中,没有具体限制变形表面的变形构造。例如,如在上文中所提及的专利文献1中所公开的,这样的一种构造是可用的,其中,将用于从中引导或者提取液体或凝胶的导管设置在基板与变形表面之间的密封部中,并利用外部泵机构来改变在基板与变形表面之间的液体或者凝胶的体积,从而改变变形膜的曲率。也可以使用另一种构造,其中,将分区区域设置在透镜的内部,以允许液体或者凝胶在区域之间移动,并且使用诸如压电元件的致动器来使液体或者凝胶在区域之间移动,以改变从介质到变形表面的压力,从而改变变形表面的曲率。可变透镜的构造和变形表面的变形构造优选地被构造为使得当变形表面3和18从摄远端侧至广角端侧进行变形时,抑制了它们与各个球面的偏离率。换而言之,优选地,响应于透镜直径、曲率改变范围等来适当地选择透镜表面变形形式、变形表面材料、透镜介质材料等。

[0135] 1-2. 将设计例1(基本设计的实例)

[0136] 现在,参考图1A~图1C描述了根据上述第一实施方式的变焦透镜的第一设计例的透镜量纲(dimension)等。在图1A、图1B和图1C中,分别示出了在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的变焦透镜。所示的变焦透镜101被构造为包括第一透镜组51至第四透镜组54。第一透镜组51包括第一可变透镜32,而第四透镜组54包括第二可变透镜41。在高斯型第二透镜组52的物体侧和成像侧之间夹置有孔径光阑。此外,在第二透镜组52与第四透镜组54之间设置有主要用于轴外色像差校正的第三透镜组53。从物体侧起依次应用表面号码1~20。

[0137] 通常,第一透镜组51具有正折射力,并且包括从物体侧起依次设置的具有正折射力的凸透镜31、第一可变透镜32和具有负折射力的凹透镜33。在所示的实例中,凸透镜31和第一可变透镜32形成为一体。变形表面3为一体化的双合构造(doublet configuration)透镜的外侧(即最靠近成像侧)的表面,并且优选地,诸如液体透镜或者凝胶透镜的折射表面变形型透镜用作第一可变透镜32,并且由弹性材料制成的变形膜用于成像侧上的表面,即,用于表面号码3的表面。凸透镜31可以用在光学透明基板上所设置的曲率来代替,该光学透明基板本身用于固定折射表面变形型透镜的变形膜。

[0138] 第二透镜组 52 包括具有正折射力的凸透镜 34、具有正折射力的凸透镜 35 和在其成像侧具有凹面并具有负折射力的弯月形透镜 (meniscus lens) 36，它们从物体侧起依次设置。此外，具有负折射力的凹透镜 37 和具有正折射力的凸透镜 38 越过孔径光阑 11 而设置。在本实例中，透镜 35 和 36 以及透镜 37 和 38 以双合构造而形成。设置在孔径光阑 11 前方的透镜 34、35 和 36 的透镜组通常具有正折射力，并且设置在孔径光阑 11 后方的透镜 37 和 38 的透镜组通常具有正折射力。因此，第二透镜组 52 具有高斯型构造。

[0139] 对于第三透镜组 53，使用了包括凹透镜 39 和凸透镜 40 并且具有正折射力的双合构造。第三透镜组 53 具有主要校正如上所述的轴上像差的功能，从而可以抑制整个变焦透镜的像差。

[0140] 此外，第四透镜组 54 也具有双合构造，其包括具有正折射力并且在物体侧具有凸面的第二可变透镜 41 和弯月形透镜 42。变形表面 18 为第四透镜组 54 的外侧表面，即，最靠近物体侧的表面，此外，第二可变透镜 41 优选形成为诸如液体透镜或者凝胶透镜的折射表面变形型透镜。而且，可以利用在类似于凸透镜 31 的折射表面变形型透镜的光学透明基板本身上所设置的曲率来代替弯月形透镜 42。

[0141] 应注意，在第四透镜组 54 和像面 23（假设摄像元件 44 设置在例如像面 23 上）之间设置有盖玻板 (cover glass plate) 43。下面的表 1 给出了本设计例 1 中的数值数据的实例。此外，在下面的表 2 中表示出了变形表面的各种量纲和曲率、表面间距等的各种数据。在该实例中，固定透镜的所有透镜表面都形成为球面。应注意，在以下所给出的表中，没有特别指定的诸如曲率半径、表面间距和有效直径的任何数值的单位都为 mm。对于形成可变透镜的变形表面的弹性膜，使用了由硅树脂制成的弹性体。

[0142] 表 1 : 表面数据

[0143]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (nd)	阿贝数 (v d)	有效直径
1	16.175	1.41	1.744	44.79	4.0607
2	-109.609	d12	1.506	34.90	3.6864
3	r13	d13			3.0238
4	-29.155	0.6	1.755	27.51	2.76
5	11.913	5.5			2.5976
6	15.091	1.02	1.744	44.78	1.9999
7	-20.457	0.8			1.9031
8	5.704	1.06	1.755	27.53	1.576

9	-89.490	0.8	1.523	59.84	1.3346
10	3.981	0.4			1.0366
11	孔径光阑	1.2			0.9502
12	-4.818	0.8	1.755	27.53	1.1125
13	5.737	1.54	1.564	60.83	1.3166
14	-5.404	1.61			1.5993
15	20.749	0.8	1.741	27.79	2.1095
16	4.4	2.35	1.743	44.79	2.2475
17	-10.563	d117			2.4
18	r118	d118	1.506	34.90	2.5785
19	4.853	1.62	1.564	60.83	2.4557
20	24.274	1.94			2.3646
21	无穷大	0.11	1.516	64.14	
22	无穷大	1.98			
23(像面)	无穷大				

[0144] 表 2 :各种数据

[0145]

变焦比	3		
	广角端	中间焦距	摄远端
焦距	3.73	6.46	11.19
F 数	3.2	3.85	5.3
视角[度]	63.4	39.3	23.3
总长度	30.3 (固定)		
BF	3.9 (除盖玻板厚度以外)		
d12	0.03042	0.84686	1.22928
r13	4.66935	9.17308	21.44583
d13	1.86958	1.05314	0.67072
d117	1.26741	1.69039	2.59977
r118	7.39776	12.94671	-16.42832
d118	1.63259	1.20961	0.30023

[0146] 1-3. 比较例 1(使用现有技术中的可移动透镜的变焦透镜的实例)

[0147] 现在, 将描述现有技术中的构造的变焦透镜, 该变焦透镜不使用可变焦距透镜、而使用了可移动透镜作为对于设计例 1 的变焦透镜和变焦透镜的光学特性的比较例。图 2A 和图 2B 示出了根据比较例 1 的变焦透镜的透镜构造。具体地, 图 2A 示出了在广角端状态下的透镜构造, 并且图 2B 示出了在摄远端状态下的透镜构造。通常, 在该变焦透镜中, 一些透镜组沿着光轴移动, 并且图 2A 和图 2B 之间的每个箭头标记表示在光轴上的这样的移动的轨迹。

[0148] 变焦透镜 120 包括具有低正折射力的第一透镜组 GR1、具有负折射力的第二透镜组 GR2、具有正折射力的第三透镜组 GR3 以及具有正折射力的第四透镜组 GR4, 它们从物体侧起依次设置。在倍率改变时, 从广角端状态朝向摄远端状态, 第二透镜组 GR2 沿向成像侧凸起的轨迹而移动, 同时第三透镜组 GR3 单调地向物体侧移动, 以执行变焦。

[0149] 第一透镜组 GR1 包括具有指向物体侧的凹面并具有负折射力的弯月形透镜 G1、用于使光路弯曲的棱镜 G2 以及具有其相对的表面形成为非球面的双凸形的正透镜 G3, 它们从物体侧起依次设置。具有负折射力的弯月形透镜 G1 和棱镜 G2 由玻璃材料组成, 并且正透镜 G3 由树脂材料形成。第二透镜组 GR2 包括弯月形负透镜形式的单透镜 G4, 该透镜具有指向成像侧的凸面和由非球面所形成的物体侧表面。弯月形负透镜 G4 由树脂材料形成。第三透镜组 GR3 包括相对的两个表面形成为非球面的双凸形正透镜 G5, 以及具有指向物体侧的凸面并且具有形成为非球面的成像侧表面的弯月形负透镜 G6, 它们从物体侧依次设置。正透镜 G5 和弯月形负透镜 G6 由玻璃材料形成。第四透镜组 GR4 由单透镜 G7 形成, 该透镜的相对的两个表面形成为具有指向物体侧的凹面的正弯月形透镜的形式的非球面。正弯月形透镜 G7 由树脂材料形成。应注意, 在第四透镜组 GR4 与像面 IMG 之间插入有盖玻板 SG。

[0150] 在以下给出的表 3 中示出了将具体数值应用于变焦透镜 120 的数值比较例的透镜数据。应注意, 各个非球面由 * 来表示。此外, 在表 4 中示出了诸如各种量纲和表面间距等的各种数据, 并且在表 5 中示出了非球面系数。

[0151] 表 3 : 表面数据

[0152]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (nd)	阿贝数 (v d)
1	93.027	0.60	1.834	37.3
2	6.516	1.29		
3	无穷大	5.50	1.834	37.3
4	无穷大	0.20		
5*	76.069	1.33	1.583	30.0
6*	-8.017	d6		
7*	-5.286	0.50	1.530	55.8
8	-68.485	d8		
9*	3.166	1.71	1.583	59.5
10*	-5.144	0.40		
11	10.688	1.40	1.821	24.1
12*	2.232	d12		
13*	-6.751	1.49	1.530	55.8
14*	-3.004	1.10		
15	无穷大	0.50	1.517	64.2
16	无穷大	0.50		
17(像面)	无穷大			

[0153] 表 4 : 各种数据

[0154]

	广角端	中间焦距	摄远端
焦距	3.71	6.25	10.58
F 数	2.87	3.82	5.51
视角 [度]	64.9	38.5	23.7

总长度	28		
BF	$2.1(1.1+0.5+0.5)$		
d6	1.10	2.78	1.10
d8	7.18	3.12	0.60
d12	3.20	5.58	9.78

[0155] 表 5 : 非球面系数

[0156]

第 5 表面	$k = 0, A^4 = -4.494 \times 10^{-4}, A^6 = -6.218 \times 10^{-5}, A^8 = 9.711 \times 10^{-6}, A^{10} = 0$
第 6 表面	$k = 0, A^4 = -4.511 \times 10^{-4}, A^6 = -7.505 \times 10^{-5}, A^8 = 1.610 \times 10^{-5}, A^{10} = -5.048 \times 10^{-7}$
第 7 表面	$k = 0, A^4 = 7.153 \times 10^{-4}, A^6 = 1.131 \times 10^{-5}, A^8 = 6.331 \times 10^{-6}, A^{10} = -1.483 \times 10^{-6}$
第 8 表面	$k = 0, A^4 = -3.685 \times 10^{-3}, A^6 = -1.198 \times 10^{-4}, A^8 = -3.954 \times 10^{-5}, A^{10} = -5.471 \times 10^{-6}$
第 10 表面	$k = 0, A^4 = 8.412 \times 10^{-3}, A^6 = -8.761 \times 10^{-4}, A^8 = 1.886 \times 10^{-5}, A^{10} = 0$
第 12 表面	$k = 0, A^4 = -4.032 \times 10^{-3}, A^6 = 3.707 \times 10^{-4}, A^8 = 1.720 \times 10^{-3}, A^{10} = -5.972 \times 10^{-4}$
第 13 表面	$k = 0, A^4 = 2.564 \times 10^{-3}, A^6 = 0, A^8 = 0, A^{10} = 0$
第 14 表面	$k = 0, A^4 = 1.201 \times 10^{-2}, A^6 = -3.288 \times 10^{-4}, A^8 = 3.939 \times 10^{-6}, A^{10} = 7.719 \times 10^{-6}$

[0157] 1-4. 设计例 1 和比较例 1 之间的比较

[0158] 现在, 将描述根据上述设计例 1 和比较例 1 的变焦透镜的构造和光学特性的比较结果。

[0159] (a) 透镜厚度总和与透镜总长度的比率

[0160] 首先, 在确定了变焦透镜的透镜厚度总和与透镜总长度的比率的情况下, 获得以下所给出的结果。应注意, 在下文所给出的表达式中, 透镜总长度不包括后焦点 BF, 并且透镜中的平行平板为空气换算值 (air-conversion value)。

[0161] 设计例 1 : 透镜厚度总和 / 透镜总长度 = $13.5 / 26.3 (\text{mm}) = 51\%$

[0162] 比较例 1 :透镜厚度总和 / 透镜总长度 = 7/23.4 (mm) = 30%

[0163] 因此,在使用可变透镜的变焦透镜 101 中,尽管透镜数目比较多,但实现了小的透镜总长度的设计,并且可以实现小型化。虽然这是由不需要像比较例中的这种透镜移动这一事实引起的,但考虑到这由以下事实引起,具体地,由于在物体侧和成像侧上,即,在第一透镜组中和第四透镜组中设置可变透镜,所以在确定地抑制了像差的同时,还可以使表面间距比较小。因此,如果放大倍率、孔径光阑等的条件相同,则可以实现可使总变焦透镜长度减小的效果。

[0164] 相反地,在因为不需要提供透镜移动的空间而设置了用于使光路弯曲的光学元件的情况下,虽然保证了用于光学元件的空间,但也可以避免总透镜长度的明显增加。换而言之,可以使光路弯曲来抑制透镜的总厚度,以使壳体薄型化,并且还实现了在纵长方向上的小型化。

[0165] 应注意,使厚度与总透镜长度的比率等于或者大于 40% 是更优选的。在使用可变透镜的情况下,由于可能需要设置一些透镜驱动机构,所以如果考虑透镜驱动机构的尺寸,则在该比率小于 40% 的情况下,难以实现充分的小型化。因此,优选使用其中透镜厚度总和与总透镜长度的比率被设定为等于或大于 40% 的构造。

[0166] (b) 光路偏转元件

[0167] 图 3 示出了其中添加有用于使光路弯曲的光路偏转元件的变焦透镜的实例的构造。参考图 3,所示的变焦透镜 102 包括诸如反射镜的光路偏转元件 50,其介于物体侧的第一透镜组 51 与成像侧的第二透镜组 52 之间。只要保证充分的表面间距,光路偏转元件 50 的配置位置就可以在第一透镜组 51 至第四透镜组 54 中的任何两个之间。

[0168] 通过以这种方式来弯曲光路,可以不用根据优选具有最大孔径光阑的第一透镜组 51 的透镜孔径光阑、而根据第二透镜组 52 之后的透镜组的孔径光阑,来确定包括厚度和宽带的整个变焦透镜 101 的壳体的尺寸。因此,与没有设置光路偏转元件 50 的可选情况相比较,可以减小壳体的宽度。在将变焦透镜 102 结合在诸如摄像装置和移动电话的电子设备中的情况下,这是有利的。另一方面,通过比较例的变焦透镜,为了结合光路偏转元件,可能单独需要空间,并且为了保证所需的表面间距,必须重新设计变焦透镜。根据设计例 1,具有不需要改变这种设计并易于添加光路偏转元件的优点。

[0169] (c) 像差特性

[0170] 图 4A、图 4B 和图 4C 分别示出了上述设计例 1 在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下处于无穷远聚焦状态中的球面像差、像散 (astigmatism) 和畸变像差。应注意,在球面像差的图中,实线表示在 670nm 波长处的球面像差;点划线 (alternate long and shortdash line) 表示在 600nm 波长处的球面像差;双点划线表示在 555nm 波长处的球面像差;粗虚线表示在 510nm 波长处的球面像差;以及细虚线表示在 470nm 波长处的球面像差。此外,在像散的图中,实线表示弧矢像面,并且虚线表示子午像面。

[0171] 图 5A ~ 图 5C 示出了相对于设计例 1 的空间频率的 MTF (调制传递函数) 值。具体地,图 5A、图 5B 和图 5C 分别示出处于广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下在 555nm 参考波长处的 MTF 值。在图 5A ~ 图 5C 中,线 a 和线 b 表示衍射极限,而线 c 和线 d 表示在 30% 像高处的沿切向和径向的调制度;线 e 和线 f 表示在另一 50% 像高处的沿切向和径向的调制度;线 g 和线 h 表示在又一 70% 像高处的沿切向和径向的调制度;以及线 i 和线 j

表示在又一 100% 像高处的沿切向和径向的调制度。

[0172] 从图 4A ~ 图 4C 和图 5A ~ 图 5C 的结果中, 可以确认利用设计例 1 的变焦透镜具有良好的光学特性, 其中, 抑制了像差而且 MTF 值没有显示出混乱。应注意, 虽然没有示出, 但根据比较例的变焦透镜也示出了关于非球面像差、像散、畸变像差没有问题的值。

[0173] 同时, 当关于设计例 1 和比较例 1 来分析主光线和周边光线入射到透镜表面的入射角时, 发现入射角在设计例 1 中更小, 即, 在设计例 1 中光线相对于光轴以更小的角度入射。因此, 设计例 1 对于像差抑制是有利的。在图 6 ~ 图 9 中示出了该分析结果。在图 6 ~ 图 9 中, 纵坐标轴表示 $n \times \sin(i)$, 其中, n 为透镜介质的折射率, 并且 i 为入射角或者出射角。图 6 和图 7 分别示出了关于设计例 1 中的周边光线和主光线的分析结果, 并且图 8 和图 9 分别示出了关于比较例 1 中的周边光线和主光线的分析结果。在图 6 ~ 图 9 中, 对于各个透镜表面, 广角端状态下的 $n \times \sin(i)$ 的值由空白条形图来表示; 中间焦距状态下的 $n \times \sin(i)$ 的值由点状条形图来表示; 并且摄远端状态下的 $n \times \sin(i)$ 的值由黑色条形图来表示。应注意, 在图 6 和图 7 中, 透镜表面 3a、5a、7a、10a、14a、17a 以及 17b 为用于光线跟踪分析的假想平面。此外, 在图 6 ~ 图 9 中, 可变透镜或者可移动透镜由实线矩形框来表示。

[0174] 如果对图 6 和图 7 的结果进行研究, 则当图 7(示出了关于主光线的 $n \times \sin(i)$ 值) 中的一些表面示出了 $n \times \sin(i) > 0.5$ 时, 则其他表面, 即, 第 2 表面、第 13 表面、第 16 表面以及第 19 表面为粘合界面 (pasted interface) 而不是与空气接触的界面。

[0175] 另一方面, 从在图 8 和图 9 中所示的比较例的结果中, 可以确认一些透镜表面不仅关于周边光线而且关于主光线都示出为 $n \times \sin(i) > 0.5$ 。透镜表面为在图 2 中所示的第二透镜组 GR2 或第三透镜组 GR3 中的透镜表面, 和与第二透镜组 GR2 相对的透镜的第 6 表面。从结果中, 可以确认, 在使用可移动透镜的情况下, 存在周边光线和主光线两者以较大入射角在其上入射的一些表面。

[0176] 因此, 利用设计例 1, 可以实现这样的构造, 其中, 与使用在现有技术中的可移动透镜的变焦透镜相比较, 可以将入射角抑制为较小角度, 并且周边光线和主光线两者相对于所有透镜表面的光轴以更小的角度入射。因此, 可以有效地抑制像差的增加。

[0177] 应注意, 在上述设计例 1 中, 由于适当地设置了孔径光阑 11 的位置和相对于孔径光阑 11 的成像侧的透镜倍率, 所以成像侧处于焦阑 (telecentric) 状态。因此, 设计例 1 还具有入射到摄像元件 44 的光线入射角比较接近直角的优点。

[0178] 此外, 在设计例 1 中, 第二透镜组 52 包括高斯型透镜组或者与高斯型相类似的透镜组类型。在图 10 ~ 图 13 中分别示出了在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下, 设计例 1 中的透镜表面上的球面像差、彗形像差、像散以及轴上色像差的计算值。在图 10 ~ 图 13 中, 粘合透镜和单透镜的透镜表面分别由框架围绕。可变透镜的变形表面为第 3 表面和第 18 表面。

[0179] 从图 10 ~ 图 13 中, 显然可以确认, 球面像差和彗形像差通过设置在孔径光阑 11 前方和后方的第二透镜组 52 的透镜得以校正, 并且在物体侧的第一透镜组 51 和成像侧的第四透镜组 54 中表现出基本等于 0 的值。另一方面, 可以确认的是, 尽管像散和轴上色像差保持为很小, 但它们同样地由第二透镜组 52 校正至某种程度, 并且在第一透镜组 51 至第四透镜组 54 中被抑制为较低程度。

[0180] 应注意,图 14 和图 15 表示关于图 6 和图 7 中所示的周边光线和主光线在第一透镜组 51 和第四透镜组 54 中的 $n \times \sin(i)$ 的平均值的确定结果。从图 14 和图 15 中,可以确认的是,关于分别包括第一可变透镜 32 和第二可变透镜 41 的第一透镜组 51 和第四透镜组 54, $n \times \sin(i)$ 的平均值小于 0.5。

[0181] 此外,在设计例 1 中,没有充分地校正放大倍率色像差。这是因为轴上色像差可以通过信号处理来校正。这表示,对于设计例 1,由于横像差线性地改变,即,相对于所用频率中的视角以线性函数成比例地改变,所以利用信号处理的校正是容易的,并且可以通过利用信号处理的校正来构造透镜。图 16 和图 17 分别示出了在广角端状态和摄远端状态下,关于 440nm、480nm、520nm、560nm、600nm 以及 640nm 波长的光线、相对于标准化场或者视场的横像差的分析的确定结果。应注意,在图 16 和图 17 中,将横像差表示为与波长为 530nm 的光线的像点处的偏差(以 μm 为单位)。从图 16 和图 17 的结果中,可以确认的是,特别地,在摄远端状态下,关于所有波长的光线的横像差都相对于视角而线性改变。

[0182] 同时,图 18 和图 19 示出了波长为 450nm 和 600nm 的光线、与 530nm 波长的像点的偏差(以 μm 为单位)的分析结果。图 18 示出了在广角端状态下的横像差特性,并且图 19 示出了在摄远端状态下的横像差特性。从图 18 和图 19 中,可以确定的是,特别地,在摄远端状态下,横像差相对于视角而线性改变,并且,即使没有添加放大倍率色像差校正元件,也可以通过信号处理来执行像差校正。至于广角端状态,横像差的改变与线性改变有略有不同,并且关于周边光线的放大倍率色像差保持不变。然而,可以通过如上所述的信号处理来执行像差校正。因此,可以实现比较简单的透镜构造,而无需添加像差校正元件。

[0183] 1-5. 设计例 2(透镜数目减少的实例)

[0184] 现在,将描述设计例 2,其中,可以尽可能地减少透镜数目,以实现良好的像差特性。当设计例 1 的变焦透镜具有良好的光学特性时,从第 1 表面到像面的距离为 30.33mm,并且要求减小光路长度的距离以作为使用可变透镜的变焦透镜。此外,在设计例 1 中,具有较低折射率的材料用作表面形状可以改变的透镜的介质。因此,第一透镜组 51 的倍率改变不是很大,并且难以减小光路长度。为了增大用作变换器的第一透镜组 51 的折射力,增大曲率的变化区域的方法也是可用的。然而,该方法具有以下问题,在曲率增大的情况下,却使球面像差劣化。此外,在液体用作可变透镜的介质的情况下,可变透镜变成如望远镜中的凹透镜。并且如果涉及曲率变大的状态,则存在会产生气泡的可能性。

[0185] 为了解决如上所述的这种问题,设计例 2 中的变焦透镜将具有高折射率透镜介质的可变透镜用于第一透镜组 51(作为变换器),以使光路长度变得比在设计例 1 中的光路长度更短。在本实例中,光学系统的特征在于,通过消除入射到摄像元件的主光轴的入射角的限制,来增大设计自由度。

[0186] 在图 20A ~ 图 20C 中示出了本实例中的变焦透镜 103 的透镜构造。具体地,图 20A、图 20B 和图 20C 分别示出了在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的透镜构造。参考图 20A 至图 20C,所示的透镜构造包括:第一透镜组 151,具有第一可变透镜 132;第二透镜组 152,包括夹置在其中的孔径光阑 11;以及第三透镜组 154,具有第二可变透镜 141。第一透镜组 151 包括具有可变表面形状并且用作变换器的第一可变透镜 132,而第三透镜组 154 包括具有可变表面形状并具有聚焦功能和作为补偿器的功能的第二可变透镜 141,从而形成可以执行倍率改变的变焦光学系统。具体地,第一透镜组 151 包括朝向物体侧而凸起的

弯月形透镜 131、第一可变透镜 132 和凹透镜 133，并且通常具有正折射力。第二透镜组 152 包括：双面凸透镜 134，定位于孔径光阑 11 的前方并且具有正折射力，以及透镜 135 和 136，具有双合构造并且整体上具有正折射力。凹透镜 137 和凸透镜 138 以双合构造设置在孔径光阑的成像侧，并且整体具有负折射力。第三透镜组 154 包括第二可变透镜 141 和透镜 142 并且通常具有正折射力，所述透镜 142 粘合至第二可变透镜 141，并且具有对于物体侧凸起的表面。例如，将盖玻板 143 设置在第三透镜组 154 和像面之间，同时考虑到摄像元件 144 设置在像面 20 上。在图 20 中，透镜表面也从物体侧起从 0 到 20 被依次编号。

[0187] 在本设计例 2 中，将具有 d 线的折射率 nd 为 $nd = 1.5057$ 和阿贝数 v d 为 $v d = 34.9$ 的光学常数的液体用于表面形状可变的第一可变透镜 132 和第二可变透镜 141。在以下所给出的表 6 中示出了设计例 2 的变焦透镜的各种量纲，并且在表 7 中示出了各种数据。

[0188] 表 6 : 表面数据

[0189]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (nd)	阿贝数 (v d)	有效直径
1	7.03737	1.41	1.747286	37.79	4.04
2	18.95952	d22	1.5057	34.9	3.7123
3	r23	d23			2.8498
4	123.36383	0.75	1.755201	27.58	
5	4.58215	5.5			2.6492
6	37.18724	1.02	1.753021	29.78	2.3146
7	-14.01367	0.8			2.3554
8	6.30822	1.06	1.743972	44.85	1.9946
9	49.71571	0.8	1.535923	50.44	1.9447
10	5.41752	0.4			
11	孔径光阑	1.2			
12	26.91075	0.8	1.755201	27.58	1.4806
13	3.4863	1.54	1.634968	57.58	1.2276

14	-9.39829	d214			1.2697
15	r215	d215	1.5057	34.90	
16	3.62705	1.62	1.62041	60.32	
17	-1395.48172	1.941048			1.642
18	无穷大	0.105	1.51633	64.14	1.817
19	无穷大	2.089027			1.8482
20(像面)	无穷大				

[0190] 表 7 : 各种数据

变焦比	3		
	广角端	中间焦距	摄远端
焦距	3.73	6.46	11.19
F 数	3.20	3.64	4.78
视角 [度]	63.4	39.3	23.3
总长度	26.4 (固定)		
BF	4.03 (除盖玻板的厚度以外)		
d22	0.03042	0.84686	1.22928
r23	3.47577	5.91976	10.86437
d23	1.861958	1.05314	0.67072
d214	1.97739	2.41492	3.41536
r215	9.17703	25.95864	-7.93467
d215	1.63261	1.19508	0.19464

[0192] 以这种方式,在本设计例 2 中,从透镜第 1 表面到图像的距离为 26.4mm。因此,如果使用本设计例 2,则与设计例 1 相比较,可以实现光路长度减小约 13%。此外,不包括后焦点和平行平板(以空气换算值)的总长度为 22.45mm,并且总玻璃厚度为 10.4mm,且它们的比率为 $10.4/22.45 \approx 46.4\%$ 。换而言之,从设计例 1 中减少透镜数目,同时减小空气部的长度,以达到总长度的明显压缩。

[0193] 相对于设计例 1,作为补偿器的第二可变透镜 141 的有效直径减小了约 $2.247/2.579 \approx 12.9\%$ 。由此,通过在第一透镜组 151 和第二透镜组 152 之间插入诸如折返镜(returning mirror)的光偏转元件,因为整个变焦透镜的壳体的厚度和宽度取决于在第二透镜组 152 之后的光学系统的有效直径,所以可以整体上实现变焦透镜壳体的厚度减小。设计例 2 还具有可以实现具有比设计例 1 中更小的 F 值的优点。

[0194] 在图 21A、图 21B 和图 21C 中分别示出了在设计例 2 中处于广角端状态、中间焦距

状态和摄远端状态下的球面像差、像散以及畸变像差。在球面像差的示图中,实线表示在 670nm 波长处的球面像差;点划线表示在 600nm 波长处的球面像差;双点划线表示在 555nm 波长处的球面像差;粗虚线表示在 510nm 波长处的球面像差;并且细虚线表示在 470nm 波长处的球面像差。同时,在像散的示图中,实线表示弧矢像面,并且虚线表示子午像面。此外,在图 22A、图 22B 和图 22C 中分别示出了在 555nm 参考波长处,在广角端状态、中间焦距状态以及摄远端状态下的 MTF 空间频率特性。此外,在图 22A 至图 22C 中,线 a 和 b 表示衍射极限,并且线 c 和 d 表示在 30% 像高处的沿切向和径向的调制度;线 e 和 f 表示在另一 50% 像高处的沿切向和径向的调制度;线 g 和 h 表示在又一 70% 像高处的沿切向和径向的调制度;以及线 i 和 j 表示在又一 100% 像高处的沿切向和径向的调制度。此外,从图 21A 至图 21C 和图 22A 至图 22C 的结果中,可以确认通过设计例 2 获得了良好的像差特性。

[0195] 图 23 和图 24 示出了关于轴外光线和主光线在第一透镜组 151 和第三透镜组 153 中的 $n \times \sin(i)$ 的平均值的确定结果。从图 23 和图 24 中,可以确认,关于包括第一可变透镜 132 和第二可变透镜 141 的第一透镜组 151 和第三透镜组 153, $n \times \sin(i)$ 的平均值变得小于 0.5。

[0196] 图 25 和图 26 示出了 450nm 和 600nm 波长的光线相对于 530nm 波长的像点的、对于标准化场或视角的横像差的偏差(以 μm 为单位)的分析结果。具体地,图 25 示出了在广角端状态下的横像差,并且图 26 示出了在摄远端状态下的横像差。从图 25 和图 26 中,在本实例中,可以确定的是,特别地,在摄远端状态下,横像差也相对于视角而线性改变,并且即使在没有添加放大倍率色像差校正元件的情况下,也可以利用信号处理来执行像差校正。至于广角端状态,虽然横像差的改变与线性改变略有不同,但其保持在没有问题的范围内。换而言之,设计例 2 被构造为使得放大倍率色像差保持不变。然而,可以利用如上所述的信号处理来执行像差校正。因此,无需添加像差校正元件而可以实现比在设计例 1 中更简单的透镜构造。

[0197] 2. 第二实施方式(使用非球面的变焦透镜)

[0198] 现在,将描述根据本发明第二实施方式的变焦透镜。本第二实施方式的变焦透镜与第一实施方式的变焦透镜相同,只是固定透镜的至少一个表面形成为非球面。首先,考虑了压力透镜的变形表面相对于球面的偏离的参考例。

[0199] 2-1. 参考例 1(变形表面相对于球面的偏离量的说明)

[0200] 在根据上文中所述的第一实施方式的变焦透镜的光学系统中,用于变换器和补偿器的可变透镜具有球面。在将折射表面变形型透镜(如在上文中所述的硅树脂等的这种透明弹性膜)而非电润湿透镜用作通过改变液体压力而变形的可变透镜的情况下,实际表面形状相对于球面形状偏离一定程度。此外,折射表面变形型透镜的下垂量(sag amount)较大。具体地,当曲率增大时,上述下垂量变得更明显,并且不可以忽略对光学特性的影响。在下面的描述中,将相对于球面的偏离量称作球面偏离量。

[0201] 因此,与设计值相比较,反映实际折射表面变形型透镜的表面形状的光学系统尤其在特性上劣化。首先,光学性能在变换器的曲率呈现最大值的广角端状态下明显出现劣化。此外,考虑到,如果变焦比高,则由于需要在变形表面处获得折射力变化,所以与更低放大倍率的变焦透镜相比较,曲率变化、即变形量变得更大,并且球面偏离量也变得更大。此外,球面偏离量取决于形成变形表面的薄膜等的张力。

[0202] 因此,在将折射表面变形型透镜用作可变透镜的变焦透镜的设计中,可以通过考虑到折射表面变形型透镜的非球面形状而构造光学系统,来预期光学特性的改善。因此,考虑到将折射表面变形型透镜的表面形状变成非球面形状,设置了根据第二实施方式的变焦透镜,从而通过基于根据第一实施方式的变焦透镜改变固定透镜组的各种量纲,来实现光学特性的改善。

[0203] 这里,以折射表面变形型透镜为例,描述了表面形状改变的透镜。应注意,可认为折射表面变形型凝胶透镜也具有相似的形状改变特性。

[0204] 在以下所给出的表 8 中示出了表面数据,其中,第一可变透镜 32 和第二可变透镜 41 的变形表面形成为上文参考图 1A 至图 1C 所述的设计例 1 中的非球面,并且在以下所给出的表 9 中示出了各种量纲和表面间距,同时在以下所给出的表 10 中示出了非球面数据。

[0205] 表 8 :表面数据

[0206]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (nd)	阿贝数 (v d)	有效直径
1	16.1754	1.41	1.7440	44.79	4.0607
2	-109.60855	d12	1.5057	34.90	3.6864
3*	r13	d13			3.0238
4	-29.15474	0.6	1.7552	27.51	2.76
5	11.91251	5.5			2.5976
6	15.09107	1.02	1.7440	44.79	2.6296
7	-20.45717	0.8			1.9999
8	5.70415	1.06	1.7552	27.53	1.576
9	-89.48983	0.8	1.5225	59.84	1.3346
10	3.98084	0.4			1.0366
11	孔径光阑	1.2			0.9502
12	-4.81816	0.8	1.7552	27.53	1.1125
13	5.7367	1.54	1.5638	60.83	1.3166

14	-5.40399	1.61			1.5993
15	20.74906	0.8	1.7408	27.79	2.1095
16	4.4	2.35	1.7434	44.79	2.2475
17	-10.56317	d117			2.4
18*	r118	d118	1.5057	34.90	2.5785
19	4.85262	1.62	1.5638	60.83	2.4557
20	24.27371	1.941048			2.3646
21	无穷大	0.105	1.5163	64.14	
22	无穷大	1.97763			
23(像面)	无穷大				

[0207] 表 9 : 各种数据

变焦比	3		
	广角端	中间焦距	摄远端
焦距	3.73	6.46	11.19
F 数	3.2	3.85	5.3
视角 [度]	63.4	39.3	23.3
总长度	30.3 (固定)		
BF	3.9 (除盖玻板厚度以外)		
d12	0.03042	0.84686	1.22928
r13	4.70096	9.17627	21.45534
d13	1.86958	1.05314	0.67072
d117	1.26741	1.69039	2.59977
r118	7.40355	12.94742	-16.43472
d118	1.63259	1.20961	0.30023

[0208] 表 10 : 非球面系数

[0210]

第 3 表面	广角端	中间焦距	摄远端
k	-1	-1	-1

A^4	1.5507×10^{-3}	1.9793×10^{-4}	-7.7287×10^{-6}
A^6	6.4537×10^{-5}	3.2942×10^{-6}	9.1154×10^{-6}
A^8	-1.4741×10^{-6}	-2.5720×10^{-8}	-1.5517×10^{-6}
A^{10}	3.5145×10^{-7}	-2.8353×10^{-9}	9.3965×10^{-8}
第 18 表面	广角端	中间焦距	摄远端
k	-1	-1	-1
A^4	3.3057×10^{-4}	1.8181×10^{-5}	3.3148×10^{-5}
A^6	3.2447×10^{-5}	2.3226×10^{-5}	-4.0486×10^{-5}
A^8	-4.5300×10^{-6}	-4.0617×10^{-6}	1.0280×10^{-5}
A^{10}	2.7591×10^{-7}	2.5643×10^{-7}	-9.3530×10^{-7}

[0211] 图 27 示出了被结合为本参考例 1 中的变换器的折射表面变形型可变透镜的变形表面的偏差, 即, 沿直径方向并穿过第 3 表面的表面中心而截取的截面与理想球面的偏差。同时, 图 28 示出了相对于第 3 表面的曲率半径 R 的最大球面偏离量。应注意, 为了便于描述, 在设计例 1 中的变换器的广角端状态下, 合适的理想球面具有 $\phi 6\text{ mm}$ 的透镜有效直径。

[0212] 从图 27 中可以看出, 当曲率半径从作为中间焦距的 8.873 mm 相继改变至对应于广角端的 7.47 mm 、 6.47 mm 和 4.7 mm 时, 则在直径方向上的改变增大。此外, 如从图 28 可以确认的, 当折射表面变形型可变透镜的曲率半径减小时, 或者换而言之, 当曲率增大时, 折射表面变形型透镜的透镜表面的球面偏离量变得更加明显。对于在广角端处的半径, 产生最大值约 $13\text{ }\mu\text{m}$ 的球面偏离。

[0213] 将反映所述的球面形状的实例确定为参考例 1, 并且通过计算来确定的光学特性, 其中, 通过多项式近似法 (polynomial approximation) 来反映被结合为设计例 1 中的变换器和补偿器的第一可变透镜 32 和第二可变透镜 41 这两个的表面形状的测量结果。以下给出了该结果。图 29A、图 29B 和图 29C 分别示出了在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的各种像差示图。在球面像差示图中, 实线表示在 670 nm 波长处的球面像差; 点划线表示在 600 nm 波长处的球面像差; 双点划线表示在 555 nm 波长处的球面像差; 粗虚线表示在 510 nm 波长处的球面像差; 并且细虚线表示在 470 nm 波长处的球面像差。此外, 在像散的示图中, 实线表示弧矢像面, 并且虚线表示子午像面。同时, 在图 30A、图 30B 和图 30C 中分别示出了在 555 nm 的参考波长处, 在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的 MTF 空间频率特性。此外, 在图 30A 至图 30C 中, 线 a 和线 b 表示衍射极限, 并且线 c 和线 d 表示在 30% 像高处沿切向和径向的调制度; 线 e 和线 f 表示在另一 50% 像高处沿切向和径向的调制度; 线 g 和线 h 表示在又一 70% 像高处沿切向和径向的调制度; 以及线 i 和线 j 表示在

又一 100% 像高处沿切向和径向的调制度。

[0214] 如从图 29A ~ 图 29C 和图 30A ~ 图 30C 中显而易见的, 如果反映出折射表面变形型可变透镜的球面偏离量, 则相对于设计例 1 所预期的, 光学特性劣化。尤其是, 在广角端状态下光学特性的劣化是显著的, 并且像散、像面弯曲和畸变像差劣化, MTF 空间频率特性也劣化。应注意, 这涉及了使用不考虑非球面所设计的普通弹性膜的情况。然而, 根据如变形膜材料的特性、张力等的这种条件, 可以从所述的结果中缓和像差的劣化。

[0215] 2-2. 参考例 2(不使用非球面而将参考例 1 最优化的实例)

[0216] 对是否可以不使用非球面而将参考例 1 中的固定透镜的表面数据最优化从而实现光学性能的改善进行了研究。在图 31A 至图 31C 中分别示出了本实例在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的总体透镜构造。应注意, 透镜组的数目、折射力以及形成为粘合透镜的透镜的数目和配置基本上与设计例 1 相同, 只是仅表面数据略有改变。具体地, 如在图 31A ~ 图 31C 中所示, 在根据本参考例 2 的变焦透镜 121 中, 从物体侧起也依次设置有: 包括第一可变透镜 432 的第一透镜组 451、包括夹置于物体侧和成像侧之间的孔径光阑的高斯型第二透镜组 452。此外, 在第二透镜组 452 的后级 (succeeding stage) 设置有主要用于执行轴上像差校正的第三透镜组 453 和包括第二可变透镜 441 的第四透镜组 454。作为固定透镜, 从物体侧起依次设置有透镜 431、433、434 ~ 440 以及 442。此外, 假如在像面 23 上设置有摄像元件 444, 则设置盖玻板 443。此外, 在图 31A ~ 图 31C 中, 从物体侧起依次应用表面号码 1 至 23。在以下所给出的表 17 中示出了参考例 2 的表面数据, 并且在表 18 中示出了参考例 2 的各种量纲和表面间距。此外, 在表 19 中示出了参考例 2 的非球面数据。此外, 应注意, 在本参考例 2 中, 将 d 线折射率 nd 为 nd = 1.5057 和阿贝数 v d 为 v d = 34.90 的液体用作供类似于设计例 1 的可变透镜所使用的折射表面变形型液体透镜的介质。

[0217] 表 17 : 表面数据

[0218]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (nd)	阿贝数 (v d)
1	16.1754	1.41	1.7440	44.79
2	-18.82513	d52	1.5057	34.90
3*	r53	d53		
4	-15.6344	0.75	1.7552	27.51
5	12.10594	5.5		
6	18.27895	1.02	1.7440	44.79
7	-15.83137	0.8		

8	6. 21915	1. 06	1. 7552	27. 53
9	-13. 78252	0. 8	1. 5225	59. 84
10	5. 07364	0. 4		
11	孔径光阑	1. 2		
12	-4. 58759	0. 8	1. 7552	27. 53
13	4. 07559	1. 54	1. 5638	60. 83
14	-5. 24593	1. 61		
15	-1809. 13877	0. 8	1. 7408	27. 79
16	4. 4	2. 35	1. 7434	44. 79
17	-7. 83455	d517		
18*	r518	d518	1. 5057	34. 90
19	4. 85262	1. 62	1. 5638	60. 83
20	44. 46226	1. 941048		
21	无穷大	0. 105	1. 5163	64. 14
22	无穷大	1. 97763		
23(像面)	无穷大			

[0219] 表 18 :各种数据

[0220]

变焦比	3		
	广角端	中间焦距	摄远端
焦距	3.74	6.46	11.18
F 数	3.20	3.87	5.36
视角 [度]	63.4	39.3	23.3
总长度	30.3 (固定)		
BF	3.9 (除盖玻板的厚度以外)		
d52	0.03042	0.84686	1.22928
r53	4.70096	9.17627	21.45534
d53	1.26741	1.69039	2.59977
d517	1.80536	0.80492	0.36739
r518	7.40355	12.94742	-16.43472
d518	1.63259	1.20961	0.30023

[0221] 表 19 : 非球面系数

[0222]

第 3 表面	广角端	中间焦距	摄远端
k	-1	-1	-1
A^4	1.5507×10^{-3}	1.9793×10^{-4}	-7.7287×10^{-6}
A^6	6.4537×10^{-5}	3.2942×10^{-6}	9.1154×10^{-6}
A^8	-1.4741×10^{-6}	-2.5720×10^{-8}	-1.5517×10^{-6}
A^{10}	3.5145×10^{-7}	-2.8353×10^{-9}	9.3965×10^{-8}
第 18 表面	广角端	中间焦距	摄远端
k	-1	-1	-1
A^4	3.3057×10^{-4}	1.8181×10^{-5}	3.3148×10^{-5}
A^6	3.2447×10^{-5}	2.3226×10^{-5}	-4.0486×10^{-5}
A^8	-4.5300×10^{-6}	-4.0617×10^{-6}	1.0280×10^{-5}
A^{10}	2.7591×10^{-7}	2.5643×10^{-7}	-9.3530×10^{-7}

[0223] 在 32A、图 32B 和图 32C 中分别示出了在参考例 2 中处于广角端状态、中间焦距状

态和摄远端状态下的球面像差、像散和畸变像差。在球面像差的示图中,实线表示在 670nm 的波长处的球面像差;点划线表示在 600nm 波长处的球面像差;双点划线表示在 555nm 波长处的球面像差;粗虚线表示在 510nm 波长处的球面像差;并且细虚线表示在 470nm 波长处的球面像差。此外,在像散的示图中,实线表示弧矢像面,并且虚线表示子午像面。与此同时,在图 33A、图 33B 和图 33C 中分别示出了在 555nm 的参考波长处,在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的 MTF 空间频率特性。此外,在图 33A ~ 图 33C 中,线 a 和线 b 表示衍射极限,并且线 c 和线 d 表示在 30% 像高处沿切向和径向的调制度;线 e 和线 f 表示在另一 50% 像高处沿切向和径向的调制度;线 g 和线 h 表示在又一 70% 像高处沿切向和径向的调制度;以及线 i 和线 j 表示在又一 100% 像高处沿切向和径向的调制度。从图 32A ~ 图 32C 和图 33A ~ 图 33C 的结果中,可以确认的是,即使试图以此方式仅使用球面而将固定透镜最优化,也无法获得良好的像差特性,并且这些变焦透镜无法充分投入实际使用。因此,在变形表面的球面偏离量由此而较大的情况下,在设计中优选将非球面用作固定透镜的一个或多个表面。

[0224] 2-3. 设计例 3(添加一个非球面的实例)

[0225] 考虑到基于以上所给出的结果的折射表面变形型液体透镜的球面偏离量,重新设计了光学系统。

[0226] 在本设计例 3 中,反映了用作可变透镜的每个折射表面变形型液体透镜的表面形状,以改变固定透镜组的曲率半径,从而改善该光学系统。在图 34A ~ 图 34C 中分别示出了本实例在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的总体透镜构造。应注意,透镜组的数目、折射力以及形成为粘合透镜的透镜的数目和配置基本上与设计例 1 相同,只是表面数据略有改变。具体地,如在图 34A ~ 图 34C 中所示,在变焦透镜 104 中,从物体侧起也依次设置有:包括第一可变透镜 232 的第一透镜组 251、包括夹置于物体侧和成像侧之间的孔径光阑的高斯型第二透镜组 252。此外,在第二透镜组 252 的后级设置有主要用于执行轴外像差校正的第三透镜组 253 和包括第二可变透镜 241 的第四透镜组 254。作为固定透镜,从物体侧起依次设置有透镜 231、233、234 ~ 240 以及 242。此外,假如在成像侧 23 上设置有摄像元件 244,则设置盖玻板 243。此外,在图 34A ~ 图 34C 中,从物体侧起依次应用表面号码 1 ~ 23。在下文所给出的表 11 中示出了设计例 3 的表面数据,并且在表 12 中示出了设计例 3 的各种量纲和表面间距。此外,在表 13 中示出了设计例 3 的非球面数据。此外,应注意,在本设计例 3 中,将 d 线的折射率 nd 为 $nd = 1.5057$ 和阿贝数 v_d 为 $v_d = 34.90$ 的液体用作供类似于设计例 1 的可变透镜所使用的折射表面变形型透镜的介质。

[0227] 表 11: 表面数据

[0228]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (nd)	阿贝数 (v d)	有效直径
1	17.18464	1.41	1.7440	44.79	4.1556
2	-18.37532	d32	1.5057	34.90	3.9368

3*	r33	d33			2. 9956
4	-16. 75079	0. 6	1. 7552	27. 51	2. 7599
5	12. 82512	5. 5			2. 5775
6	15. 6892	1. 02	1. 7440	44. 79	2. 0451
7	-19. 45989	0. 8			1. 9568
8	6. 05049	1. 06	1. 7552	27. 53	1. 6303
9	-20. 91537	0. 8	1. 5225	59. 84	1. 4064
10	4. 66761	0. 4			1. 0723
11	孔径光阑	1. 2			0. 9593
12	-5. 44351	0. 8	1. 7552	27. 53	1. 0949
13	4. 16131	1. 54	1. 5638	60. 83	1. 2747
14	-7. 11498	1. 61			1. 5406
15	24. 23089	0. 8	1. 7408	27. 79	2. 0445
16	4. 16923	2. 35	1. 7434	44. 79	2. 2185
17	-8. 83975	d317			2. 4018
18*	r318	d318	1. 5057	34. 90	2. 5893
19	4. 85262	1. 62	1. 5638	60. 83	2. 4623
20*	23. 95966	1. 941048			2. 3695
21	无穷大	0. 105	1. 5163	64. 14	2. 298
22	无穷大	1. 988394			2. 2955
23(像面)	无穷大				2. 305

[0229] 表 12 : 各种数据

变焦比	3		
	广角端	中间焦距	摄远端
焦距	3.74	6.46	11.19
F 数	3.20	3.86	5.34
视角 [度]	63.4	39.3	23.3
总长度	30.3 (固定)		
BF	3.93 (除盖玻板厚度以外)		
d32	0.03042	0.84686	1.22928
r33	4.70096	9.17627	21.45534
d33	1.86958	1.05314	0.67072
d317	1.26741	1.69039	2.599772
r318	7.40355	12.94742	-16.43472
d318	1.63259	1.20961	0.30023

[0230] 表 13 : 非球面系数

[0232]

第 3 表面 (变形表面)	广角端	中间焦距	摄远端
k	-1	-1	-1
A^4	1.5507×10^{-3}	1.9793×10^{-4}	-7.7287×10^{-6}
A^6	6.4537×10^{-5}	3.2942×10^{-6}	9.1154×10^{-6}
A^8	-1.4741×10^{-6}	-2.5720×10^{-8}	-1.5517×10^{-6}
A^{10}	3.5145×10^{-7}	-2.8353×10^{-9}	9.3965×10^{-8}
第 18 表面 (变形表面)	广角端	中间焦距	摄远端
k	-1	-1	-1
A^4	3.3057×10^{-4}	1.8181×10^{-5}	3.3148×10^{-5}
A^6	3.2447×10^{-5}	2.3226×10^{-5}	-4.0486×10^{-5}
A^8	-4.5300×10^{-6}	-4.0617×10^{-6}	1.0280×10^{-5}
A^{10}	2.7591×10^{-7}	2.5643×10^{-7}	-9.3530×10^{-7}
第 20 表面 (固定)			
$k = -1, A^4 = 4.7969 \times 10^{-4}, A^6 = -4.0486 \times 10^{-5}, A^8 = 6.8513 \times 10^{-6}, A^{10} = 0$			

[0233] 在图 35A、图 35B 和图 35C 中分别示出了在设计例 3 中处于广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的球面像差、像散以及畸变像差。在球面像差的示图中, 实线表示在 670nm 波长处的球面像差; 点划线表示在 600nm 波长处的球面像差; 双点划线表示在 555nm 波长处的球面像差; 粗虚线表示在 510nm 波长处的球面像差; 并且细虚线表示在 470nm 波长处的球面像差。此外, 在像散的示图中, 实线表示弧矢像面, 并且虚线表示子午像面。同时, 在图 36A、图 36B 和图 36C 中分别示出了在 555nm 的参考波长处, 在广角端状态、中间焦

距状态和摄远端状态下的 MTF 空间频率特性。此外,在图 36A ~ 图 36C 中,线 a 和线 b 表示衍射极限,并且线 c 和线 d 表示在 30% 像高处沿切向和径向的调制度;线 e 和线 f 表示在另一 50% 像高处沿切向和径向的调制度;线 g 和线 h 表示在又一 70% 像高处沿切向和径向的调制度;以及线 i 和线 j 表示在又一 100% 像高处沿切向和径向的调制度。从图 35A ~ 图 35C 和图 36A ~ 图 36C 的结果中,可以确认的是,通过设计例 3,也可以获得良好的像差特性。

[0234] 图 37 和图 38 分别示出了关于轴外光线和主光线在第一透镜组 251 和第四透镜组 254 中的 $n \times \sin(i)$ 的平均值的确定结果。从图 37 和图 38 中,可以确认的是,关于包括第一可变透镜 232 的第一透镜组 251 和包括第二可变透镜 241 的第四透镜组 254, 平均值 $n \times \sin(i)$ 变得小于 0.5。

[0235] 图 39 和图 40 示出了 450nm 和 600nm 波长的光线相对于 530nm 波长的像点的、对于标准化场和视角的横像差的偏差(以 μm 为单位)的分析结果。具体地,图 39 示出了在广角端状态下的横像差,并且图 40 示出了在摄远端状态下的横像差。从图 39 和图 40 中,在本实例中,可以确定的是,特别地,在摄远端状态下,横像差也相对于视角而线性改变,并且即使没有添加放大倍率色像差校正元件,也可以通过信号处理来执行像差校正。至于广角端状态,横像差的改变与线性改变略有不同。然而,在本实例中,由于设置了第三透镜组 253, 所以执行了轴上像差校正。因此,在第三设计例 3 中,周边光线的放大倍率色像差保持不变。然而,可以通过如上所述的信号处理来执行像差的校正。因此,可以应用轴上像差校正来获得与设计例 1 中类似的良好光学特性。

[0236] 图 41、图 42 和图 43 示出了设计例 1、参考例 1 和设计例 3 中的放大倍率色像差。具体地,在图 41 ~ 图 43 的各个图中,示出了在广角状态、中间焦距状态和摄远端状态下的放大倍率色像差。此外,在图 41 ~ 图 43 中,三角形标记表示在 670nm 的波长处的放大倍率色像差;正方形标记表示在 600nm 的波长处的放大倍率色像差;圆形标记表示在 550nm 的波长处的放大倍率色像差;标记 \times 表示在 510nm 的波长处的放大倍率色像差;并且标记 + 表示在 470nm 的波长处的放大倍率色像差。如明显可以从图 41 ~ 图 43 的比较中所示,在设计例 1 中,在球面偏离量充分小以将透镜表面当作球面的情况下,点的畸变非常小。然而,如果具有非球面形状的透镜表面的球面偏离量变大,则特别是在广角端状态下出现的椭圆畸变和像散变大。另一方面,可以确认的是,在将非球面结合到设计例 3 中的固定透镜的一个表面中的情况下,放大倍率色像差得到显著改善,并且像散和彗形像差也得到了抑制。

[0237] 在这种情况下,由于在如参考例 1 中那样在球面透镜用于变形表面的固定透镜组的这种限制条件下没有实现显著改善,因此通过使用用作最后表面(即,最靠近成像侧的第 20 表面)的非球面透镜,来实现性能改善。

[0238] 此外,在本设计例 3 中,不仅通过将固定透镜组的一个表面转换为非球面,而且通过改变曲率半径并进一步改变透镜距离、透镜厚度以及所用材料,来实现性能改善。

[0239] 应注意,在设计例 3 中,从透镜第 1 表面到图像的距离为 30.3mm。此外,不包括后焦点和平行平板(经空气换算)的总长度为 26.3mm,并且玻璃总厚度为 13.5mm,并且它们的比率为 $13.5/26.3 \approx 51\%$ 。换而言之,在设计例 3 中,与设计例 1 相似地,也将透镜厚度的总值与透镜总长度的比率设定为 40% 以上,以实现小型化。

[0240] 通过将非球面结合在根据第二实施方式的变焦透镜的构造中,即,以此方式结合

在固定透镜中,与根据第一实施方式的变焦透镜相比较,在变形表面的球面偏离量变大的情况下,也可以实现具有良好光学特性的光学系统。

[0241] 2-4. 设计例 4(添加两个非球面的实例)

[0242] 对改变非球面的数目以实现光学特性改善的设计例 4 进行了研究。在图 44A ~ 图 44C 中分别示出了本实例在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的总体透镜构造。应注意,透镜组的数目、折射率以及形成为粘合透镜的透镜的数目和配置基本上与设计例 1 和设计例 3 相同,只是仅表面数据略有改变。具体地,如在图 44A ~ 44C 中所示,在变焦透镜 105 中,从物体侧起也依次设置有:包括第一可变透镜 332 的第一透镜组 351,以及包括夹置于物体侧和成像侧之间的孔径光阑的高斯型第二透镜组 352。此外,在第二透镜组 352 的后级设置有主要用于执行轴上像差校正的第三透镜组 353 和包括第二可变透镜 341 的第四透镜组 354。作为固定透镜,从物体侧起依次设置有透镜 331、333、334 ~ 340 以及 342。此外,假设在像面 23 上设置有摄像元件 444,则设置盖玻板 343。在图 44A ~ 图 44C 中,从物体侧起依次应用表面号码 1 ~ 23。在下文所给出的表 14 中示出了设计例 4 的表面数据,并且在表 15 中示出了设计例 4 的各种量纲和表面间距。此外,在表 16 中示出了设计例 4 的非球面数据。应注意,在本设计例 4 中,也将 d 线的折射率 nd 为 $nd = 1.5057$ 和阿贝数 v_d 为 $v_d = 34.90$ 的液体用作供类似于设计例 1 和设计例 3 中的可变透镜所使用的折射表面变形型液体透镜的介质。

[0243] 表 14 : 表面数据

[0244] (添加两个非球面,第 1 表面、第 20 表面)

[0245]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (nd)	阿贝数 (v_d)	有效直径
1*	16.1754	1.41	1.7440	44.79	4.1028
2	-28.48612	d42	1.5057	34.90	3.8288
3*	r43	d43			2.9699
4	-11.97721	0.6	1.7552	27.51	2.7615
5	24.54135	5.5			2.6345
6	23.96047	1.02	1.7440	44.79	2.6521
7	-20.28325	0.8			1.9603
8	5.07312	1.06	1.7552	27.53	1.8698
9	-52.55789	0.8	1.5225	59.84	1.5698

10	4. 25199	0. 4			1. 341
11	孔径光阑	1. 2			1. 0474
12	-4. 60686	0. 8	1. 7552	27. 53	1. 0919
13	4. 49736	1. 54	1. 5638	60. 83	0. 9587
14	-5. 34143	1. 61			1. 1015
15	21. 43089	0. 8	1. 7408	27. 79	1. 3084
16	4. 4	2. 35	1. 7434	44. 79	1. 5866
17	-9. 95388	d417			2. 0997
18*	r418	d418	1. 5057	34. 90	2. 2449
19	4. 85262	1. 62	1. 5638	60. 83	2. 4085
20*	22. 2209	1. 941048			2. 582
21	无穷大	0. 105	1. 5163	64. 14	2. 4506
22	无穷大	1. 968658			2. 3533
23(像面)	无穷大				

[0246] 表 15 :各种数据

	广角端	中间焦距	摄远端
焦距	3.73	6.46	11.19
F 数	3.20	3.85	5.30
视角 [度]	63.4	39.3	23.3
总长度	30.3(固定)		
BF	3.91(除盖玻板厚度以外)		
d42	0.03042	0.84686	1.22928
r43	4.70096	9.17627	21.45534
d43	1.86958	1.05314	0.67072
d417	1.26741	1.69039	2.599772
r418	7.40355	12.94742	-16.43472
d418	1.63259	1.20961	0.30023

[0248] 表 16 : 非球面系数

[0249]

第 1 表面(固定)	广角端	中间焦距	摄远端
$k = -1, A^4 = 1.61 \times 10^{-4}, A^6 = 3.11 \times 10^{-6}, A^8 = -9.61 \times 10^{-8}, A^{10} = 0$			
第 3 表面(变形表面)			
K	-1	-1	-1
A^4	1.5507×10^{-3}	1.9793×10^{-4}	-7.7287×10^{-6}
A^6	6.4537×10^{-5}	3.2942×10^{-6}	9.1154×10^{-6}
A^8	-1.4741×10^{-6}	-2.5720×10^{-8}	-1.5517×10^{-6}
A^{10}	3.5145×10^{-7}	-2.8353×10^{-9}	9.3965×10^{-8}
第 18 表面(变形表面)			
K	-1	-1	-1
A^4	3.3057×10^{-4}	1.8181×10^{-5}	3.3148×10^{-5}
A^6	3.2447×10^{-5}	2.3226×10^{-5}	-4.0486×10^{-5}
A^8	-4.5300×10^{-6}	-4.0617×10^{-6}	1.0280×10^{-5}
A^{10}	2.7591×10^{-7}	2.5643×10^{-7}	-9.3530×10^{-7}
第 20 表面(固定)			
$k = -1, A^4 = 4.7969 \times 10^{-4}, A^6 = -4.0486 \times 10^{-5}, A^8 = 6.8513 \times 10^{-6}, A^{10} = 0$			

[0250] 在图 45A、图 45B 和图 45C 中分别示出了在设计例 4 中处于广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的球面像差、像散以及畸变像差。在球面像差的示图中, 实线表示在 670nm 的波长处的球面像差; 点划线表示在 600nm 波长处的球面像差; 双点划线表示在 555nm 波长处的球面像差; 粗虚线表示在 510nm 波长处的球面像差; 并且细虚线表示在 470nm 波长处的球面像差。此外, 在像散的示图中, 实线表示弧矢像面, 并且虚线表示子午像面。同时, 在图 46A、图 46B 和图 46C 中分别示出了在 555nm 的参考波长处, 在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的 MTF 空间频率特性。此外, 在图 46A ~ 图 46C 中, 线 a 和线

b 表示衍射极限，并且线 c 和线 d 表示在 30% 像高处沿切向和径向的调制度；线 e 和线 f 表示在另一 50% 的像高处沿切向和径向的调制度；线 g 和线 h 表示在又一 70% 像高处的切向和径向的调制度；以及线 i 和线 j 表示在又一 100% 像高处沿切向和径向的调制度。从图 45A ~ 图 45C 和图 46A ~ 图 46C 的结果中可以确认，通过本设计例 4，也可以获得良好的像差特性。

[0251] 图 47 和图 48 分别示出了关于轴外光线和主光线在第一透镜组 351 和第四透镜组 354 中的 $n \times \sin(i)$ 的平均值的确定结果。从图 47 和图 48 中，可以确认的是，关于包括第一可变透镜 332 的第一透镜组 351 和包括第二可变透镜 341 的第四透镜组 354， $n \times \sin(i)$ 的平均值变得小于 0.5。

[0252] 图 49 和图 50 示出了 450nm 和 600nm 波长的光线相对于 530nm 波长的像点的、对于标准化场和视角的横像差的偏差（以 μm 为单位）的分析结果。具体地，图 49 示出了在广角端状态下的横像差，并且图 50 示出了在摄远端状态下的横像差。从图 49 和图 50 中，在本实例中，可以确定的是，特别地，在摄远端状态下，横像差也相对于视角线性改变，并且，即使没有添加放大倍率色像差校正元件，也可以通过信号处理执行像差校正。至于广角端状态，横像差的改变与线性改变略有不同。然而，在本实例中，由于如在设计例 3 中那样同样地设置了第三透镜组 353，所以也执行轴上像差校正。因此，在第四设计例 4 中，周边光线的放大倍率色像差保持不变。然而，可以通过如上所述的信号处理来执行像差校正。因此，与在设计例 1 和设计例 3 中类似地，可以应用轴上像差校正以获得良好的光学特性。

[0253] 在本设计例 4 中，将非球面透镜用于透镜的最后表面，即用于作为最靠近成像侧透镜表面的第 20 表面，而且，最靠近物体侧透镜表面也形成为非球面，以实现如在设计例 3 中那样的类似的性能改善。

[0254] 此外，在本设计例 4 中，除增加固定透镜组的非球面的数目以外，还通过相对于设计例 1 来改变曲率半径、透镜距离、透镜厚度以及所用材料，在变形表面的球面偏离量变大的情况下，也可以抑制像差，并且可以保持良好的光学特性。

[0255] 应注意，在设计例 4 中，从透镜第 1 表面至图像的距离为 30.3mm。此外，不包括后焦点和平行平板（经空气换算）的总长度为 26.3mm，玻璃总厚度为 13.5mm，并且总厚度与总长度之间的比率为 $13.5/26.3 \approx 51\%$ 。换而言之，在设计例 4 中，与在设计例 3 中类似地，也将透镜厚度的总值与透镜总长度的比率设定为 40% 以上，以实现小型化。

[0256] 3. 第三实施方式（使用非球面减少透镜数目的实例）

[0257] 3-1 设计例 5（使用三个非球面来减少透镜数目的实例）

[0258] 对设计例 5 进行了研究，其中，设置非球面，并且减少透镜数目，以实现光学特性的改善和小型化。在图 51A ~ 图 51C 中分别示出了本实例在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的总体透镜构造。应注意，透镜组的数目、折射力以及形成为粘合透镜的透镜的数目和配置基本上与设计例 2 相同，只是仅表面数据略有改变。具体地，如在图 51A ~ 51C 中所示，在变焦透镜 106 中，从物体侧起也依次设置有：包括第一可变透镜 532 的第一透镜组 551，以及包括夹置于物体侧和成像侧之间的孔径光阑的高斯型第二透镜组 552。此外，在第二透镜组 552 的后级设置有包括第二可变透镜 538 的第三透镜组 553。作为固定透镜，从物体侧起依次设置有透镜 531、533、534 ~ 537 以及 539。此外，在图 51A ~ 图 51C 中，从物体侧起依次应用表面号码 1 ~ 18。在以下所给出的表 20 中示出了设计例 5 的透镜表面

数据，并且在以下的表 21 中示出了设计例 5 的各种量纲和表面间距。此外，在以下表 22 中示出了设计例 5 的非球面数据。在本设计例 5 中，与设计例 1 和设计例 3 中类似地，也将 d 线的折射率 nd 为 nd = 1.5057 和阿贝数 v d 为 v d = 34.90 的液体用作供可变透镜使用的折射表面变形型透镜的介质。

[0259] 表 20 : 表面数据

[0260] (添加三个非球面, 第 2 表面、第 10 表面和第 15 表面)

[0261]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (nd)	阿贝数 (v d)	有效直径
1	7.54899	1.5	1.743997	44.79	3.6697
2*	-10.59909	d52	1.5057	34.90	3.5408
3	r53	d53			2.4304
4	3.67506	0.8	1.48749	70.41	1.9989
5	4.40199	0.8			1.7237
6	38.83283	1.06	1.755201	27.58	1.4738
7	-3.44066	0.8	1.551243	49.21	1.239
8	5.58805	0.4	1.7552	27.53	0.7903
9	孔径光阑	0.8			
10*	-2.67752	0.8	1.696146	31.66	0.8246
11	12.31034	1.2	1.642457	56.31	1.2563
12	-2.22673	d512			1.51
13	r513	d513	1.5057	34.90	1.9679
14	2.89037	1.5	1.606736	61.05	2.2641
15*	-11.15041	1.941048			2.2731
16	无穷大	0.105	1.51633	64.14	

17	无穷大	1.898967		
18(像面)	无穷大			

[0262] 表 21 :各种数据

	广角端	中间焦距	摄远端
焦距	3.74	6.46	11.18
F 数	3.20	3.78	5.22
视角 [度]	63.4	39.3	23.3
总长度	17.2(固定)		
BF	3.84(除盖玻板厚度以外)		
d52	1.24825	0.89009	0.01681
r53	6.37941	4.45693	3.08110
d53	0.50175	0.85991	1.73319
d512	1.83366	1.07571	0.52982
r513	-5.28355	53.97592	8.86056
d513	0.01634	0.77429	1.32018

[0264] 表 22 :非球面系数

[0265]

第 2 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = 1.6728 \times 10^{-3}, A^6 = -1.1612 \times 10^{-5}, A^8 = 1.5511 \times 10^{-6}, A^{10} = -5.4570 \times 10^{-8}$
第 10 透镜 (固定)	$k = -1, A^4 = -2.9369 \times 10^{-2}, A^6 = -1.8407 \times 10^{-2}, A^8 = 1.5115 \times 10^{-2}, A^{10} = -9.1391 \times 10^{-3}$
第 15 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = -1.0445 \times 10^{-3}, A^6 = -7.2504 \times 10^{-5}, A^8 = 2.1739 \times 10^{-5}, A^{10} = 7.9055 \times 10^{-7}$

[0266] 在图 52A、图 52B 和图 52C 中分别示出了在设计例 5 中在广角端状态、中间焦距状态以及摄远端状态下的球面像差、像散以及畸变像差。在球面像差示图中, 实线表示在 670nm 波长处的球面像差; 点划线表示在 600nm 波长处的球面像差; 双点划线表示在 555nm 波长处的球面像差; 粗虚线表示在 510nm 波长处的球面像差; 并且细虚线表示在 470nm 波长处的球面像差。此外, 在像散的示图中, 实线表示弧矢像面, 并且虚线表示子午像面。同时, 在图 53A、图 53B 以及图 53C 中分别示出了在 555nm 的参考波长处, 在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的 MTF 空间频率特性。此外, 在图 53A ~ 53C 中, 线 a 和线 b 表示衍射极限, 并且线 c 和线 d 表示在 30% 像高处沿切向和径向的调制度; 线 e 和线 f 表示在另一 50% 像高处沿切向和径向的调制度; 线 g 和线 h 表示在又一 70% 的像高处沿切向和径向的调制度; 以及线 i 和线 j 表示在又一 100% 像高处沿切向和径向的调制度。从图 52A ~

图 52C 和图 53A ~ 图 53C 的结果中可以确认的是,通过本设计例 5,也可以获得良好的像差特征。

[0267] 图 54 和图 55 分别示出了关于轴外光线和主光线在第一透镜组 551 和第三透镜组 553 中的 $n \times \sin(i)$ 的平均值的确定结果。从图 54 和图 55 中可以确认的是,关于包括第一可变透镜 532 的第一透镜组 551 和包括第二可变透镜 538 的第三透镜组 553, 平均值 $n \times \sin(i)$ 变得小于 0.5。

[0268] 图 56 和图 57 示出了 450nm 和 600nm 波长的光线相对于 530nm 波长的像点的、对于标准化场和视角的横像差的偏差(以 μm 为单位)的分析结果。具体地,图 56 示出了在广角端状态下的横像差,并且图 57 示出了在摄远端状态下的横像差。从图 56 和图 57 中可以确定的是,在本实例中,特别地,在摄远端状态下,横像差也相对于视角而线性改变,并且,即使没有添加放大倍率色像差校正元件,也可以通过信号处理执行像差校正。至于广角端状态,横像差的改变与线性改变略有不同。然而,该改变保持在没有问题的范围内。因此,在设计例 5 中,周边光线的放大倍率色像差不变。然而,也可以通过如上所述的信号处理来执行像差校正。此外,与设计例 2 中类似地,可以减少透镜数目,以实现达到整个装置的小型化的构造。

[0269] 在本设计例 5 中,与设计例 3 和 4 中类似地,将非球面透镜用于透镜的最后表面,即,用于作为最靠近成像侧透镜表面的第 15 表面,并且第二最靠近物体侧透镜表面的第 2 表面也形成为非球面,以实现性能的改善。

[0270] 此外,在本设计例 5 中,除增加固定透镜组的非球面数目以外,还通过相对于设计例 1 而改变曲率半径、透镜距离、透镜厚度以及所用材料,在变形表面的球面偏离量变大的情况下,也可以保持良好的光学特性。

[0271] 应注意,在设计例 5 中,从透镜第 1 表面到图像的距离为 26.4mm。因此,通过使用本设计例 5,与设计例 1 相比较,可以预期减少约 13% 的光路长度。此外,不包括后焦点和平行平板(经空气换算)的总长度为 22.26mm,玻璃总厚度为 10.27mm,并且总厚度与总长度之间的比率为 $10.27/22.26 \approx 46.1\%$ 。换而言之,从设计例 1 中减少透镜数目的同时,也减小了空气部的长度,并且实现了总长度的明显减小。

[0272] 4. 可变透镜与孔径光阑之间的距离的研究

[0273] 4-1. 设计例 6(使用三个非球面的实例)

[0274] 现在,将描述从孔径光阑的位置到可变透镜的变形表面的距离与透镜总长度的比率的研究结果,其作为用于确定设置可变透镜的最佳位置的范围的技术。

[0275] 首先,参考图 58 描述了设计例 1 中从孔径光阑到可变透镜变形表面的距离与透镜总长度的比率。图 58 示出了在摄远端状态和广角状态下的变焦透镜,并且在摄远端状态和广角端状态这两种状态下定义了有关的距离。具体地,如在图 58 中所示,从物体侧的凸透镜 31 的表面到孔径光阑的距离由 L1 表示,并且从孔径光阑到物体侧的第一可变透镜 32 的可变表面 3 的距离由 L2 表示。类似地,从孔径光阑到像面 23 的距离由 L3 表示,并且从孔径光阑到成像侧的第二可变透镜 41 的变形表面 18 的距离由 L4 表示。

[0276] 在这种情况下,满足:

[0277] $L2/L1$ (前侧) = 80.4% (摄远端)

[0278] 89.3% (广角端)

[0279] L_4/L_3 (后侧) = 64.7% (摄远端)

[0280] 56.8% (广角端)

[0281] 特别地,满足:

[0282] $L_2/L_1 \geq 0.55$

[0283] $L_4/L_3 \geq 0.3$

[0284] 在应用以上所给出的范围的情况下,获得了一种光学透镜,其中,减小了像差,并且特别是关于放大倍率色像差,不存在问题。这在下文参考设计例 6 进行了描述。

[0285] 在本设计例 6 中,实现了透镜数目的减少,并且将非球面透镜用作固定透镜。在图 59 中示出了光学系统在中间焦距状态下的总体透镜构造。

[0286] 在本实例中,变焦透镜包括:物体侧透镜组,包括第一可变透镜 632;具有高斯型构造的透镜组,包括夹置在其中的孔径光阑;成像侧透镜组,包括第二可变透镜 638。物体侧透镜组包括从物体侧起依次设置的具有负折射力的凸透镜 631 和第一可变透镜 632。同时,高斯型透镜组包括具有正折射力的弯月形透镜 633、具有正折射力的透镜 634 和具有负折射力的凹透镜 635 的粘合透镜、具有负折射力的凹透镜 636 和凸透镜 637,并且其间夹置有孔径光阑 9。成像侧透镜组包括具有正折射力的第二可变透镜 638 和具有正折射力的凸透镜 639。透镜 631、632 和透镜 638、639 彼此形成为一体。在以下所给出的表 23 中示出了设计例 6 中的透镜表面数据,并且在以下所给出的表 24 中示出了各种数据和表面间距。此外,在以下所给出的表 25 中示出了非球面数据。在本设计例 6 中,将 d 线的折射率 n_d 为 $n_d = 1.58$ 和阿贝数 v_d 为 $v_d = 29.1$ 的液体用作供可变透镜使用的折射表面变形型液体透镜的介质。此外,在本实例中,第 2 表面、第 10 表面和第 15 表面为非球面。

[0287] 表 23 :表面数据 (单位:mm)

[0288]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (n_d)	阿贝数 (v_d)
1	7.54899	1.5	1.743997	44.79
2*	-10.5991	d62	1.58	29.1
3	r63	d63		
4	3.67506	0.8	1.487490	70.41
5	4.40199	0.8		
6	38.83283	1.06	1.755201	27.58
7	-3.44066	0.8	1.551243	49.21
8	5.58805	1.2		

9	孔径光阑	0.8		
10*	-2.67752	0.8	1.696146	31.66
11	12.31034	1.2	1.642457	56.31
12	-2.22673	d612		
13	r613	d613	1.50570	34.9
14	2.89037	1.5	1.606736	61.05
15*	-11.1504	1.941048		
16	无穷大	0.105	1.51633	64.1
17	无穷大	1.898967		
18(像面)	无穷大			

[0289] 表 24 : 各种数据

	广角端	中间焦距	摄远端
焦距	3.73	6.46	11.19
F 数	3.20	3.85	5.30
视角 [度]	63.4	39.3	23.3
总长度	17.2 (固定)		
BF	3.84 (除盖玻板厚度以外)		
d62	0.01681	0.89009	1.24825
r63	3.0811	4.45693	6.37941
d63	1.73319	0.85991	0.50175
d612	0.52982	1.07571	1.83366
r613	8.86056	53.97592	-5.28355
d613	1.32018	0.77429	0.01634

[0291] 表 25 : 非球面系数

[0292]

第 2 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = 0.167275 \times 10^{-2}, A^6 = -0.116120 \times 10^{-4}, A^8 = 0.155110 \times 10^{-5}, A^{10} = -0.545700 \times 10^{-7}$
----------------	---

第 10 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = -0.293694 \times 10^{-1}, A^6 = -0.184065 \times 10^{-1}, A^8 = 0.151149 \times 10^{-1}, A^{10} = -0.913910 \times 10^{-2}$
第 15 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = -0.104447 \times 10^{-2}, A^6 = -0.725035 \times 10^{-4}, A^8 = 0.217394 \times 10^{-4}, A^{10} = 0.790550 \times 10^{-6}$

[0293] 在本设计例 6 中, 如在图 59 中所示, 从物体侧的凸透镜 631 的表面到孔径光阑的距离由 L1 表示, 并且从孔径光阑到物体侧的第一可变透镜 632 的可变表面 3 的距离由 L2 表示。类似地, 从孔径光阑到像面 18 的距离由 L3 表示, 并且从孔径光阑到成像侧的第二可变透镜 638 的变形表面 13 的距离由 L4 表示。

[0294] 在这种情况下, 满足:

[0295] $L2/L1$ (前侧) = 61% (摄远端)

[0296] 79% (广角端)

[0297] $L4/L3$ (后侧) = 46% (摄远端)

[0298] 33% (广角端)

[0299] 特别地, 满足:

[0300] $L2/L1 \geq 0.55$

[0301] $L4/L3 \geq 0.3$

[0302] 在图 60 中示出了这种情况下的放大倍率色像差。与图 41 ~ 图 43 类似地, 图 60 示出了在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的放大倍率色像差, 并且将相同的符号应用于各个波长。从图 60 的结果中可以确认的是, 有利地抑制了放大倍率色像差, 并且, 有利地抑制了像散和彗形像差。

[0303] 4-2. 比较例 2(基于设计例 6 而将物体侧可变透镜定位成更接近孔径光阑的实例)

[0304] 在本实例中, 变焦透镜被设计为使得基于根据设计例 6 的透镜构造而朝向孔径光阑侧移位形成变换器的物体侧的透镜组。图 61 示出了在中间焦距状态下的总体透镜构造。参考图 61, 变焦透镜包括: 物体侧透镜组, 包括第一可变透镜 732; 具有高斯型构造的透镜组, 包括夹置在其中的孔径光阑; 以及成像侧透镜组, 包括第二可变透镜 737。物体侧透镜组包括从物体侧起依次设置的具有负折射力的凸透镜 731 和第一可变透镜 732。同时, 高斯型透镜组包括: 包括具有正折射力的透镜 733 和具有负折射力的凹透镜 734 的粘合透镜、以及具有负折射力的凹透镜 735 和凸透镜 736, 并在其间夹置有孔径光阑 7。成像侧透镜组包括第二可变透镜 737 和具有正折射力的凸透镜 738。透镜 731、732 和透镜 737、738 分别彼此形成为一体。在以下所给出的表 26 中示出了比较例 2 中的透镜表面数据, 并且在以下所给出的表 27 中示出了各种数据和表面间距。此外, 在以下所给出的表 28 中示出了非球面数据。此外, 在本比较例 2 中, 将 d 线的折射率 nd 为 $nd = 1.58$ 和阿贝数 v_d 为 $v_d = 29.1$ 的液体用作供可变透镜使用的折射表面变形型液体透镜的介质。此外, 在本实例中, 第 2 表面、第 10 表面和第 13 表面为非球面。

[0305] 表 26: 表面数据 (单位:mm)

[0306]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (nd)	阿贝数 (v d)
1	7.54899	1.5	1.743997	44.79
2*	-5.40283	d72	1.58	29.1
3	r73	d73		
4	3.9399	0.8	1.710891	29.62
5	-14.5342	0.8		
6	2.73163	1.06	1.530092	66.25
7	孔径光阑	0.8		
8*	-3.92707	1.2	1.641483	34.32
9	1.95998	0.8	1.642896	56.24
10	-2.80214	d710	1.696146	
11	r711	d711	1.505700	34.9
12	3.34364	1.5	1.744023	44.72
13*	-13.9427	1.941048		
14	无穷大	0.105	1.51633	64.1
15	无穷大	1.23868		
16(像面)	无穷大			

[0307] 表 27 : 各种数据

	广角端	中间焦距	摄远端
焦距	3.74	6.46	11.18
F 数	3.20	3.85	5.30
视角 [度]	63.4	39.3	23.3
总长度	15.0 (固定)		
BF	3.18 (除盖玻板厚度以外)		
d72	0.01681	0.89009	1.24825
r73	2.96505	4.41689	6.41903
d73	1.73319	0.85991	0.50175
d710	0.52982	1.07571	1.83366
r711	9.15216	-32.321	-3.02571
d711	1.32018	0.77429	0.01634

[0309] 表 28 : 非球面系数

[0310]

第 2 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = 0.417449 \times 10^{-2}, A^6 = -0.210209 \times 10^{-3}, A^8 = 0.754389 \times 10^{-5}, A^{10} = -0.108528 \times 10^{-6}$
第 8 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = -0.458388 \times 10^{-2}, A^6 = -0.212586 \times 10^{-1}, A^8 = 0.326344 \times 10^{-1}, A^{10} = -0.178517 \times 10^{-1}$
第 13 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = -0.898835 \times 10^{-4}, A^6 = -0.128858 \times 10^{-4}, A^8 = 0.203481 \times 10^{-4}, A^{10} = -0.962441 \times 10^{-6}$

[0311] 在本比较例 2 中, 如在图 61 中所示, 从物体侧的凸透镜 731 的表面到孔径光阑的距离由 L1 表示, 并且从第一可变透镜 732 的变形表面 3 到孔径光阑的距离由 L2 表示。类似地, 从孔径光阑到像面 16 的距离由 L3 表示, 并且从孔径光阑到成像侧的第二可变透镜 738 的变形表面 11 的距离由 L4 表示。

[0312] 在这种情况下, 满足 :

[0313] $L2/L1$ (前侧) = 50% (摄远端)

[0314] 73% (广角端)

[0315] 特别地, 可以确认的是, 在广角端状态下, 不满足 :

[0316] $L2/L1 \geq 0.55$

[0317] 在图 62 中示出了在这种情况下的放大倍率色像差。与图 41 ~ 图 43 类似地, 图 62 示出了在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的放大倍率色像差, 并且将相同的符号应用于各个波长。从图 62 的结果中可以确认的是, 各波长的点在摄远端状态下也具有椭圆形形状, 并且像散保持不变。此外, 在中间焦距状态和广角端状态下, 观察到畸变, 并且可以确认出现了彗形像差。

[0318] 从前述的结果中, 在将设置于在物体侧设置的透镜组中的可变透镜的变形表面定

位成更接近孔径光阑的情况下,与设计例 6 相比较,像差变大,而这不是优选的。这是因为,由于孔径光阑与担当变换器功能的物体侧的可变透镜之间的距离较短,所以可能不容易保证变焦放大倍率。此外,考虑到这是因为,由于通过可变透镜对单个像高的光通量的分离不够充分,所以无法有利地执行像差校正。此外,通过增大距离 L2,可以添加透镜,而且这提供了有利于像差校正的结果。因此,可以确认的是,优选地,相对于最靠近物体侧的透镜表面与孔径光阑之间的距离 L1,设定从孔径光阑到设置于物体侧透镜组中的可变透镜的变形表面的距离 L2,以满足:

[0319] $L2/L1 \geq 0.55$

[0320] 4-3. 比较例 3(基于设计例 6 而将成像侧可变透镜定位成更接近于孔径光阑的实例)

[0321] 在本实例中,变焦透镜被设计为使得基于根据设计例 6 的透镜构造而朝向孔径光阑侧移位形成补偿器的成像侧的透镜组。图 63 示出了在中间焦距状态下的总体透镜构造。参考图 63,变焦透镜包括:物体侧透镜组,包括第一可变透镜 832;具有高斯型构造的透镜组,包括夹置在其中的孔径光阑;以及成像侧透镜组,包括第二可变透镜 838。物体侧透镜组包括从物体侧起依次设置的具有负折射力的凸透镜 831 和第一可变透镜 832。同时,高斯型透镜组包括:具有正折射力的弯月形透镜 833、包括具有正折射力的透镜 834 和具有负折射力的凹透镜 835 的粘合透镜、以及具有负折射力的凹透镜 836 和凸透镜 837,并在其间夹置有孔径光阑 9。成像侧透镜组包括第二可变透镜 838 和具有正折射力的凸透镜 839。透镜 831、832 和透镜 838、839 分别彼此形成为一体。在以下所给出的表 29 中示出了比较例 3 中的透镜表面数据,并且在以下所给出的表 30 中示出了各种数据和表面间距。此外,在以下所给出的表 31 中示出了非球面数据。此外,在本比较例 3 中,将 d 线的折射率 nd 为 nd = 1.58 和阿贝数 v d 为 v d = 29.1 的液体用作供可变透镜使用的折射表面变形型液体透镜的介质。此外,在本实例中,第 2 表面、第 10 表面和第 15 表面为非球面。

[0322] 表 29: 表面数据 (单位:mm)

[0323]

表面号码	曲率半径	表面间距	折射率 (nd)	阿贝数 (v d)
1	7.54899	1.5	1.743997	44.79
2*	-10.0619	d82	1.58	29.1
3	r83	d83		
4	3.02026	0.8	1.495893	69.49
5	3.50892	0.8		
6	18.18931	1.06	1.743914	28.05

7	-3.58454	0.8	1.565822	44.01
8	5.48381	0.4		
9	孔径光阑	0.6		
10*	-2.07059	0.6	1.679758	39.42
11	18.9801	0.8	1.622701	59.87
12	-1.84544	d812		
13	r813	d813	1.50570	34.9
14	2.61414	1.5	1.599339	61.46
15*	-6.81503	1.941048		
16	无穷大	0.105	1.51633	64.1
17	无穷大	1.769436		
18(像面)	无穷大			

[0324] 表 30 : 各种数据

	广角端	中间焦距	摄远端
中间焦距	3.73	6.46	11.19
F 数	3.20	3.85	5.30
视角 [度]	63.4	39.3	23.3
总长度	16.1 (固定)		
BF	3.7 (除盖玻板厚度以外)		
d82	0.01681	0.89009	1.24825
r83	3.02812	4.37464	6.40603
d83	1.73319	0.85991	0.50175
d812	0.53000	0.90000	1.40000
r813	10.02573	-59.79449	-3.83702
d813	0.90000	0.53000	0.03000

[0325] 表 31 : 非球面系数

[0327]

第 2 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = 0.162611 \times 10^{-2}, A^6 = -0.230613 \times 10^{-4}, A^8 = 0.179689 \times 10^{-5}, A^{10} = -0.678152 \times 10^{-7}$
第 10 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = -0.428330 \times 10^{-1}, A^6 = -0.404108 \times 10^{-1}, A^8 = 0.477848 \times 10^{-1}, A^{10} = -0.341922 \times 10^{-1}$
第 15 表面 (固定)	$k = -1, A^4 = -0.201010 \times 10^{-2}, A^6 = -0.202190 \times 10^{-4}, A^8 = 0.365219 \times 10^{-4}, A^{10} = 0.563284 \times 10^{-5}$

[0328] 在本比较例 3 中, 如在图 63 中所示, 从物体侧的凸透镜 831 的表面到孔径光阑的距离由 L1 表示, 并且从第一可变透镜 832 的可变表面 3 到孔径光阑的距离由 L2 表示。类似地, 从孔径光阑到像面 18 的距离由 L3 表示, 并且从孔径光阑到成像侧的第二可变透镜 838 的变形表面 13 的距离由 L4 表示。

[0329] 在这种情况下, 满足:

[0330] $L2/L1$ (前侧) = 61% (摄远端)

[0331] 79% (广角端)

[0332] $L4/L3$ (后侧) = 39% (摄远端)

[0333] 29% (广角端)

[0334] 特别地, 尽管在摄远端状态和广角端状态下均满足:

[0335] $L2/L1 \geq 0.55$

[0336] 但是, 在广角端状态下满足:

[0337] $L4/L3 < 0.3$

[0338] 在图 64 中示出了这种情况下的放大倍率色像差。与图 41 ~ 图 43 类似地, 图 64 示出了在广角端状态、中间焦距状态和摄远端状态下的放大倍率色像差, 并且将相同的符号应用于各个波长。从图 64 的结果中可以确认的是, 特别地, 像散表示出在摄远端状态下的劣化, 而这是不利的。总之, 可以确认的是, 在满足 $L4 < L3 < 0.3$ 的情况下, 不同高度处的光通量在第二可变透镜上并不彼此分离, 没有有利地执行像差校正。

[0339] 从前述结果中, 本发明的变焦透镜优选满足:

[0340] $L2/L1 \geq 0.55$

[0341] $L4/L3 \geq 0.3$

[0342] 5. 关于有效直径的研究

[0343] 现在, 将描述关于根据上文所述的第二实施方式的变焦透镜的透镜有效直径与透镜框内部直径的比率的研究结果。

[0344] 通常, 当透镜有效直径固定时, 即使框直径增大, 折射表面变形型透镜的变形表面相对于上文中参考图 23 所述的理想球面的球面偏离量几乎不改变。换而言之, 如果确定了透镜所用的透镜有效直径和曲率半径, 就确定了球面偏离量。

[0345] 在图 65 中示出了这种方式。参考图 65, 横坐标轴表示有效直径比率 = 有效直径 / 框内部直径 (单位: %), 并且纵坐标轴表示相对于理想球面的球面偏离量。关于作为广角端变换器的第一可变透镜的变形表面的曲率半径来计算这种情况下的球面偏离量, 并且其

单位为 μm 。应注意，在本实例中，使用了常用的硅树脂等的弹性膜。从图 65 中可以确认的是，球面偏离量相对于有效直径比率几乎不表现出变化。

[0346] 这里，由于球面偏离量 Δz 不依赖于框内部直径 D ，所以在图上对于当使用的曲率半径被有效直径除时的无量纲数 R/D 和当球面偏离量被有效直径除时的无量纲数 $\Delta z/D$ 而作图。然后，绘制近似曲线 ($y = 0.8013x^{-3.323}$)，并且在图 66 中示出了其结果。由于球面偏离量取决于无量纲数 R/D ，所以图 66 中所示的曲线表示相对于无量纲数 R/D 的值的球面偏离量。因此，将设计值的点置于曲线上。

[0347] 从表示反映图 1 中所示的变焦透镜中的可变透镜的表面形状的放大倍率色像差的图 42 中，在广角端状态下的光学特性劣化，并且在中间焦距状态下的光学特性位于边界线上，同时在摄远端状态下的光学特性几乎不改变。因此，可以获得应将可变透镜的表面形状设计为穿过中间焦距位置的球面还是非球面的边界条件。最终，在将折射表面变形型的可变透镜设计在图 66 的虚线以上的示图区域中的情况下，需要将可变透镜设计为非球面透镜。此外，曲线根据变形膜材料、初始张力以及框直径而改变。

[0348] 因此，优选地，将与根据上述第二实施方式的变焦透镜中一样的其变形表面形成为非球面的透镜应用于以下情况。特别地，如果使用可变透镜以在所用范围内满足 $\Delta z/D > 0.205$ （其中， Δz 为设置在变焦透镜中的可变透镜之一的球面偏离量，并且 D 为在这种情况下的有效直径），则变形表面优选形成为非球面。

[0349] 与在上文中所述的设计例 3 和设计例 4 一样，通过设计可变透镜以满足如上所述这种条件，可以有利地抑制像差。

[0350] 6. 第四实施方式（相机模块）

[0351] 本发明的第四实施方式涉及包括本发明的变焦透镜的电子设备的实例。应注意，这里，在所述的实例中，本发明的变焦透镜例如应用于诸如相机的摄像装置。

[0352] 图 67 是示出了本实施方式的摄像装置的构造的示意性框图。本实施方式的摄像装置 160 包括具有变焦透镜 100 和摄像元件 161 的相机模块 170、图像信号处理部 162、图像信号记录和再生部 163、内部存储器 164、显示装置 165 以及控制部 166。下文描述了组件的构造和功能。

[0353] 变焦透镜 100 获取摄像对象光，并且在摄像元件 161 的摄像表面（未示出）上形成图像。作为变焦透镜 100，可以使用如上文第一实施方式至第三实施方式所述的变焦透镜 101～106 中的任一个。

[0354] 摄像元件 161 光电转换通过变焦透镜 100 而形成为图像的摄像对象光，以产生图像信号。摄像元件 161 的输出端子连接至图像信号处理部 162 的输入端子，并且将产生的图像信号输出至图像信号处理部 162。应注意，例如，可以将诸如 CCD 型和 CMOS 型的各种类型的图像传感器应用于摄像元件 161。

[0355] 图像信号处理部 162 执行从摄像元件 161 输入至其的图像信号的预定图像处理，诸如，例如校正处理和去噪处理。图像信号处理部 162 的输出端子连接至图像信号记录和再生部 163 的输入端子，并且将图像处理后的信号输出至图像信号记录和再生部 163。

[0356] 图像信号记录和再生部 163 由数学运算电路等（由例如微型计算机（CPU：中央处理单元）形成）而构成，并且控制从图像信号处理部 162 所输入的图像信号的记录处理和/或再生处理。特别地，图像信号记录和再生部 163 连接至内部存储器 164，并且在记录从

图像信号处理部 162 输入的图像信号的情况下, 将图像信号输出至内部存储器 164。图像信号记录和再生部 163 还连接至显示装置 165, 并且在执行从图像信号处理部 162 输入的图像信号的显示再生的情况下, 将图像信号输出至显示装置 165。

[0357] 内部存储器 164 可以例如由硬盘驱动器 (HDD)、半导体存储器或者光盘形成。内部存储器 164 存储从图像信号记录和再生部 163 输入至其的图像信号。

[0358] 显示装置 165 将从图像信号记录和再生部 163 提供的图像信号转换为可在显示监视器上显示的格式的信号, 并且在显示监视器上显示经转换的信号。应注意, 显示单元 165 不仅包括显示监视器, 而且包括用于驱动显示监视器的监视器驱动部。此外, 显示监视器可以例如由液晶显示 (LCD) 面板或者电致发光 (EL) 面板形成。

[0359] 控制部 166 控制摄像装置 160 的组件的操作。此外, 控制部 166 控制变焦透镜 100 的操作, 具体地, 基于通过例如变焦按钮的操作所产生的与焦距相对应的操作信号, 来控制变焦透镜 100 中的物体侧的透镜组和成像侧的透镜组的曲率。

[0360] 由于本实施方式的摄像装置 160 包括与如上所述的第一实施方式至第三实施方式有关的所述本发明的变焦透镜 100, 所以可以提供具有良好像差特性并且包括变焦功能的小型摄像装置 160。7. 第五实施方式 (电子设备)

[0361] 虽然在上述第四实施方式中, 本发明的变焦透镜应用于作为电子设备的摄像装置, 但本发明不限于此。例如, 本发明的变焦透镜还可以应用于具有摄像机构部和相机模块的信息终端装置, 诸如便携式通信终端装置、个人计算机或者个人数字助理 (PDA)。

[0362] 在本发明的第五实施方式中, 本发明的变焦透镜应用于具有相机模块的便携式通信终端装置。应注意, 这里, 便携式通信终端装置通常称作移动电话, 并且是用于执行与无线电话系统的基站的无线通信的终端装置。

[0363] [便携式通信终端装置的构造]

[0364] 图 68 示出了本实施方式的便携式通信终端装置。参考图 68, 便携式通信终端装置 200 包括控制部 201、ROM(只读存储器) 202、RAM(随机存取存储器) 203、天线 204、通信控制部 205、显示控制部 206 以及显示部 207。便携式通信终端装置 200 还包括相机模块 209 和相机控制部 208。

[0365] 便携式通信终端装置 200 还包括:语音处理部 211, 用于在通话时执行语音数据的数字至模拟转换;扬声器 212, 用于在通话时输出语音;以及麦克风 213, 用于在通话时收集语音。便携式通信终端装置 200 还包括:存储卡接口 214、存储卡 215、操作部 216、红外线接口 217 以及红外线通信部 218。如图 68 所示, 上述组件通过信号总线 210 直接或者间接地彼此电连接。以下描述了组件的构造和功能。

[0366] 控制部 201 由诸如 CPU 的数学运算控制装置形成, 并且控制整个便携式通信终端装置 200 的操作。具体地, 控制部 201 在 RAM 203 上扩展存储在 ROM 202 中的控制程序, 并且通过信号总线 210 控制整个便携式通信终端装置 200 的操作。

[0367] 通信控制部 205 通过天线 204 执行将发送信号发送到未示出的移动电话基站, 以及从未示出的移动电话基站接收接收信号。应注意, 通信控制部 205 还执行与移动电话基站所交换的无线电波的调制和解调。具体地, 在语音通话模式中, 通信控制部 205 执行所接收到的语音信息的预定处理, 并且通过语音处理部 211 将处理后的信号输出至扬声器 212。此外, 通信控制部 205 通过声音处理部 211 获取通过麦克风 213 所收集的语音, 并且执行对

于所获取的信息的预定处理,然后,通过天线 204 发送处理后的信号。

[0368] 显示控制部 206 将通过信号总线 210 提供的图像信号转换为可在显示部 207 上显示的格式的信号,并且将转换的信号输出至显示部 207。显示部 207 可以例如由 LCD 面板或者有机 EL 面板形成,并且在其显示屏幕上将从显示控制部 206 提供的信号显示为图像。

[0369] 相机模块 209 获取摄像对象光,以形成图像,然后,光电转换所形成的图像的摄像对象光,以产生图像信号。然后,相机模块 209 将图像信号输出至相机控制部 208。相机模块 209 包括变焦透镜 20 和摄像元件。

[0370] 变焦透镜获取摄像对象光,以在摄像元件的未示出摄像表面上形成图像。作为变焦透镜,可以使用与上文第一实施方式至第三实施方式相关的所述变焦透镜的任一个。摄像元件光电转换通过变焦透镜所形成的图像的摄像对象光,以产生图像信号。应注意,作为摄像元件,可以应用诸如 CCD 型和 CMOS 型的各种类型的图像传感器。

[0371] 存储卡 215 可以由例如半导体存储器等形成。存储卡 215 通过存储卡接口 214 获取并存储通过相机模块 209 所获取的静态图像、动态图像等的信息以及在通话时的语音信息等。

[0372] 例如,操作部 216 由转点通 (jog dial) 和键盘等形成。可以将电话号码、邮件文本等的输入操作、各种模式的设置操作等的输入操作信号输入至操作部 216。还通过操作部 216 执行关于相机模块 209 的摄像操作和模式设置操作。

[0373] 尽管没有示出,但红外线通信部 218 包括红外线发射元件和红外线接收元件,并且可以执行将信息发送至可以执行红外线通信的外部信息装置,诸如移动电话、个人计算机或者 PDA,并且可以从中接收信息。更具体地,红外线通信部 218 通过红外线接口 217 获取存储在存储卡 215 等中的图像信息、语音信息等,并且将获取的信息发送至外部信息装置。此外,红外线通信部 218 从外部信息装置接收发送至其的信息,并且通过红外线接口 217 将接收到的信号输出至存储卡 215 等。

[0374] 应注意,尽管在图 68 中没有示出,但便携式通信终端装置 200 包括电源部,使得将电力从电源部提供给组件。

[0375] [图像信息的记录和再生操作]

[0376] 这里,简单描述了通过本实施方式的便携式通信终端装置 200 中的相机模块 209 所获取的图像信号的记录和再生处理。

[0377] 首先,相机控制部 208 控制并驱动相机模块 209,以执行诸如静态图像、动态图像等的图像的获取。例如,相机控制部 208 对于所获取的图像信息,利用诸如 JPEG 方法或者 MPEG 方法的压缩技术,来执行诸如压缩处理等的处理。然后,相机控制部 208 将压缩的信息输出至信号总线 210。

[0378] RAM 203 通过信号总线 210 获取图像信息,并且将该信息临时存储在其中。此时, RAM 203 可以获取图像信息并且在摄像的同时获取通过麦克风 213 所记录的语音信息,并且将获取的信息临时存储在其中。

[0379] 应注意,此时,在需要时,控制部 201 可以通过存储卡接口 214 将图像信息和 / 或语音信息存储在存储卡 215 中。此外,此时,在需要时,控制部 201 可以通过显示控制部 206 在显示部 207 上显示图像信息,并且可以通过语音处理部 211 将语音信息输出至扬声器 212。

[0380] 此外,在需要时,控制部 201 可以将获取的图像信息和语音信息输出至可以通过红外线通信部 218 来执行红外线通信的外部设备。

[0381] 应注意,当读出存储在 RAM 203 或者存储卡 215 中的图像信息,以在显示部 207 上显示动态图像或者静态图像时,相机控制部 208 一次读出存储在 RAM 203 或者存储卡 215 中的数据,然后执行该数据解码或者解压缩。然后,相机控制部 208 通过通信总线 210 将处理的图像数据提供给显示控制部 206。

[0382] 如上所述,本实施方式的便携式通信终端装置 200 包括相机模块 209,该相机模块包括与第一实施方式至第三实施方式有关的所述的本发明的变焦透镜 101 ~ 106 中的任一个。因此,通过本实施方式,通过使用可变透镜,可以提供尺寸小并且具有良好像差特性的变焦功能的便携式通信终端装置 200。

[0383] 应注意,虽然在第五实施方式中描述了相机模块 209 和相机控制部 208 彼此分离而设置的实例,但本发明不限于此,并且相机模块 209 可以包括相机控制部 208。此外,在通过控制部 201 执行与上述相机控制部 208 类似的控制处理的情况下,可以应用没有设置相机控制部 208 的另一构造。

[0384] 本领域技术人员应当理解,根据设计要求和其他因素,可以进行多种修改、组合、子组合和变形,只要它们包含在所附权利要求或其等同物的范围之内。

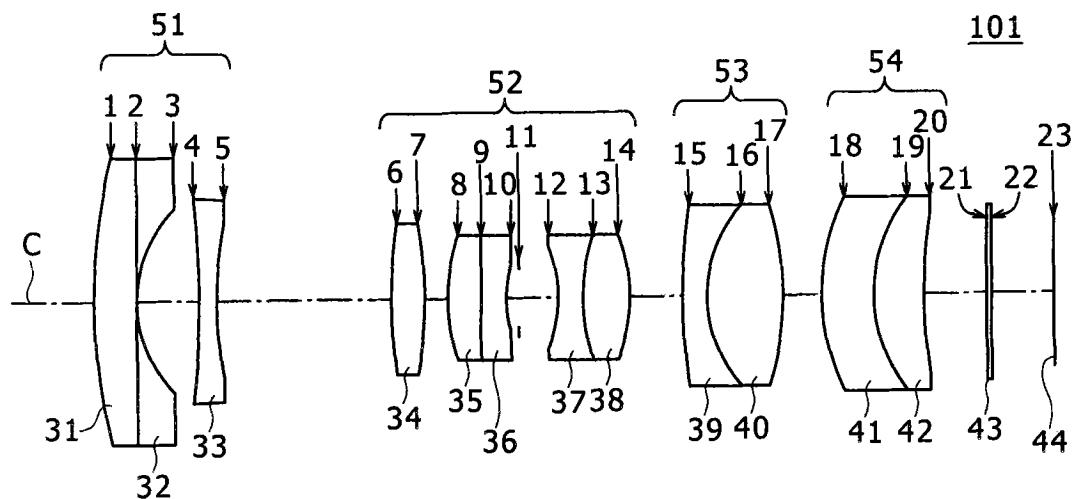


图 1A

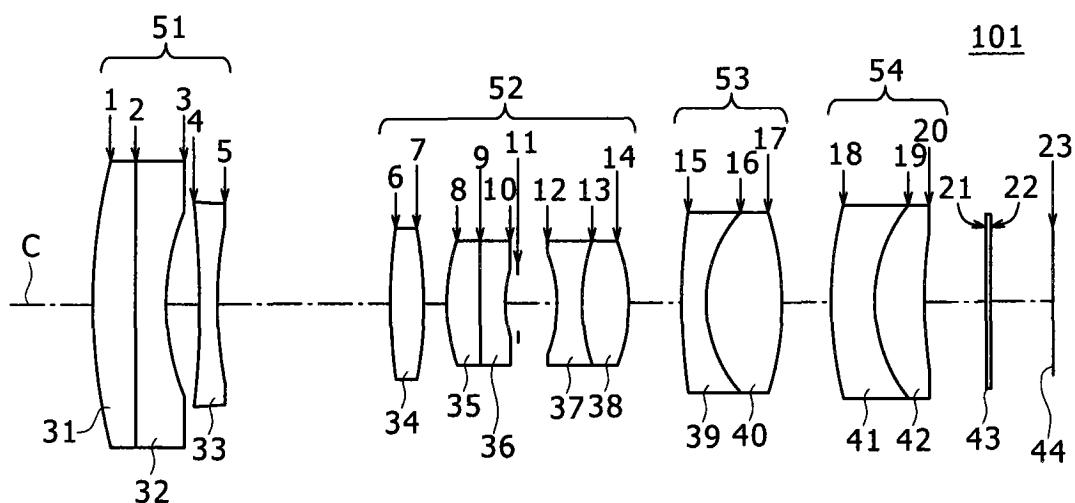


图 1B

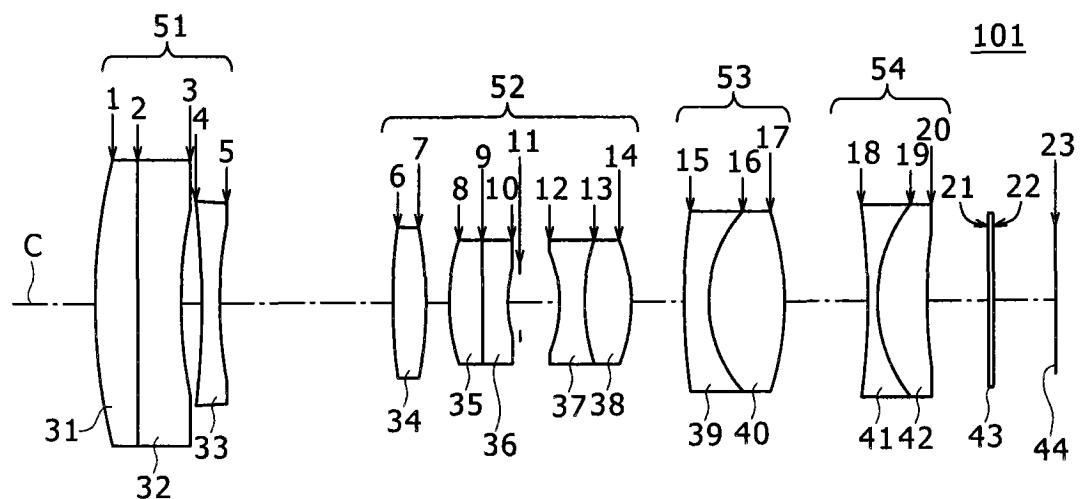
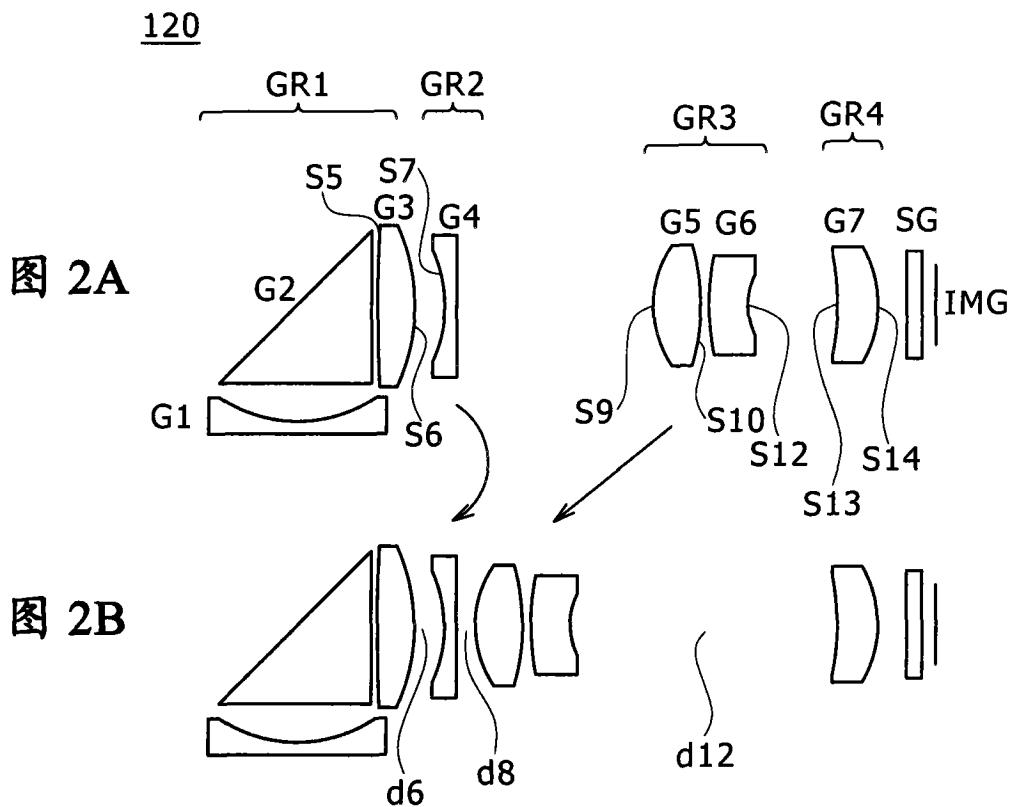


图 1C



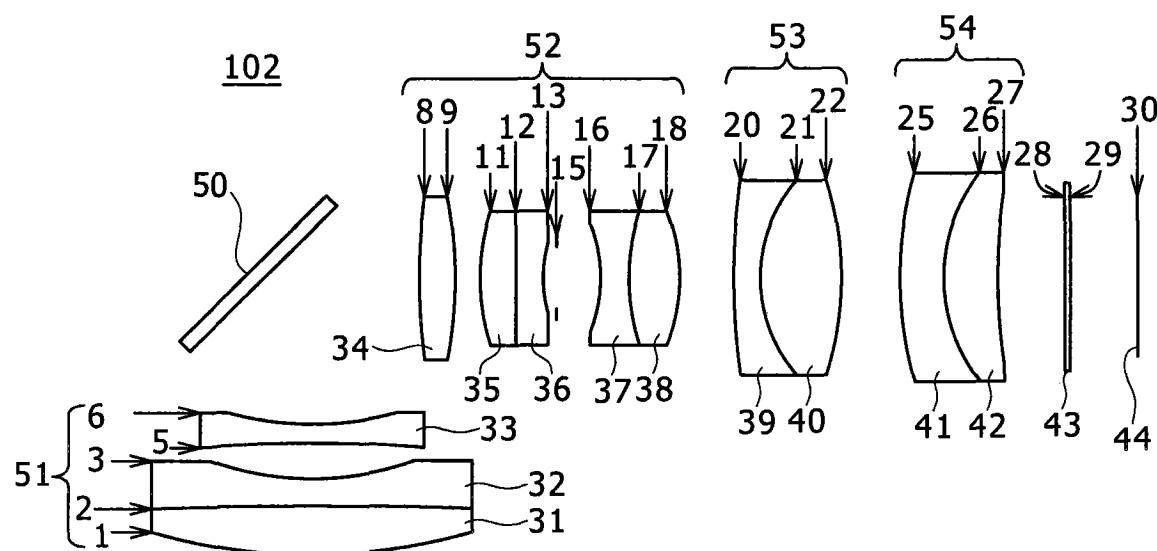


图 3

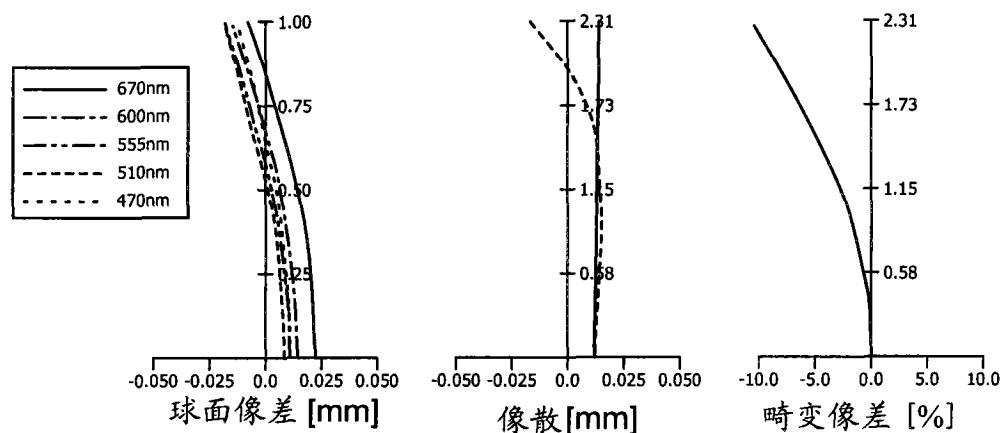


图 4A

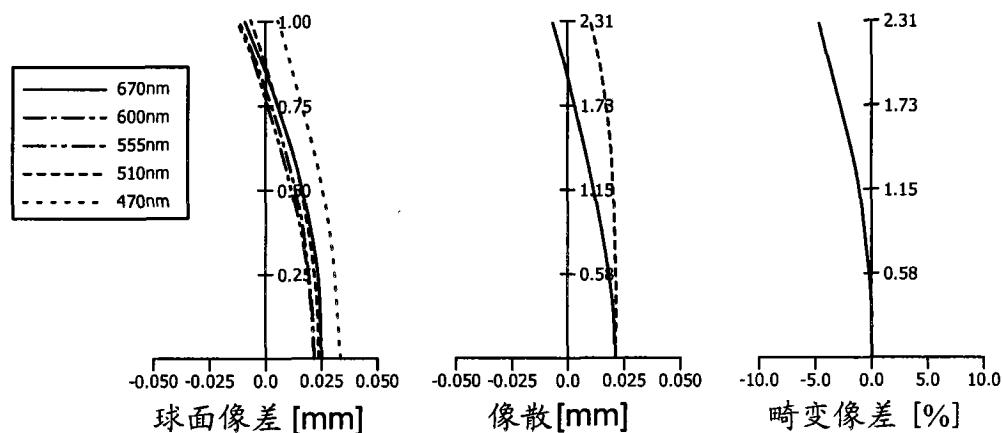


图 4B

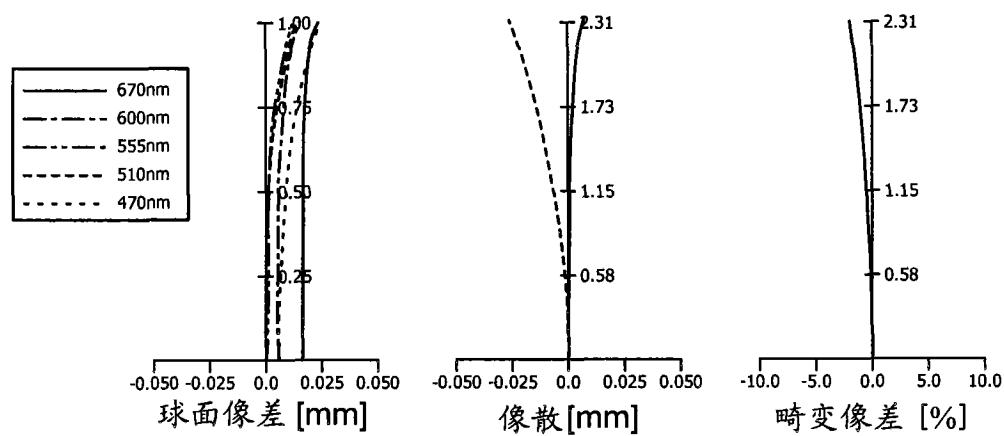


图 4C

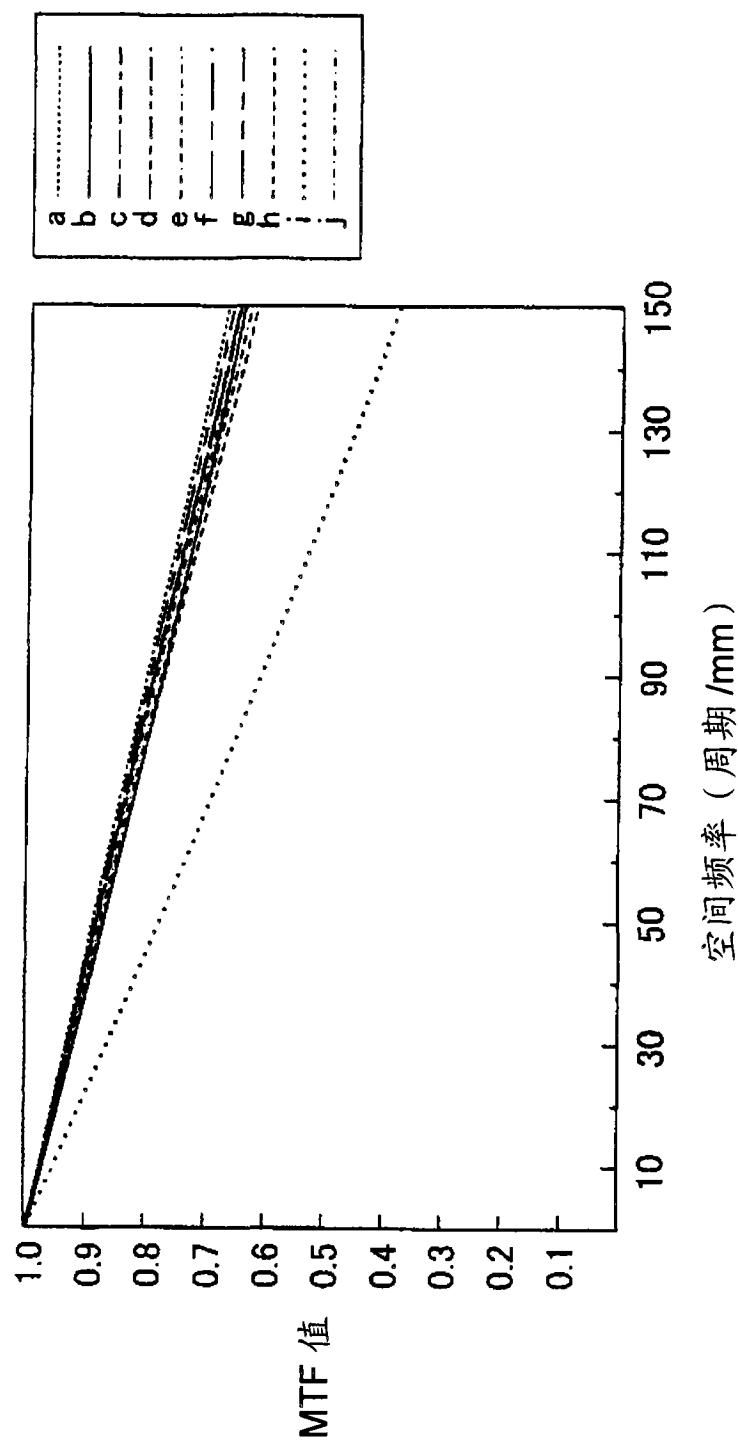


图 5A

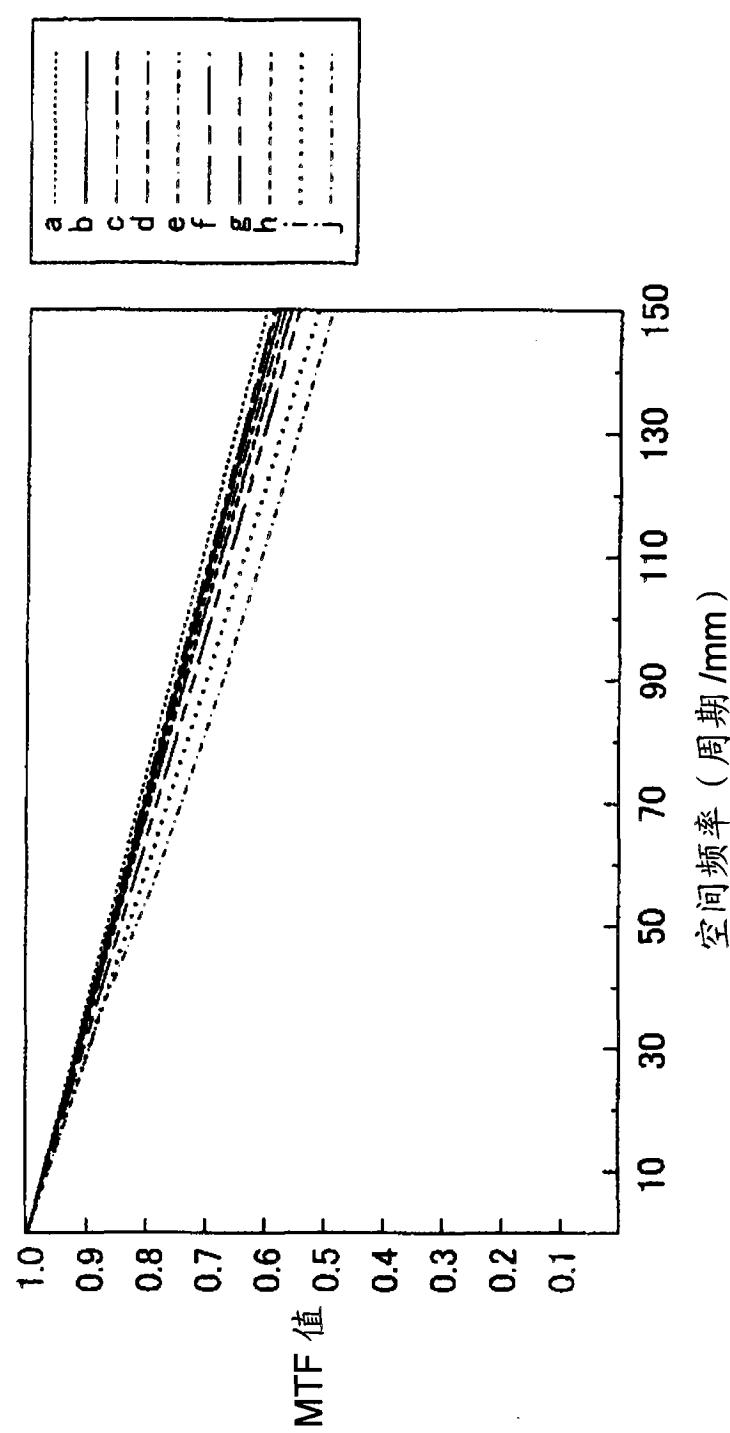


图 5B

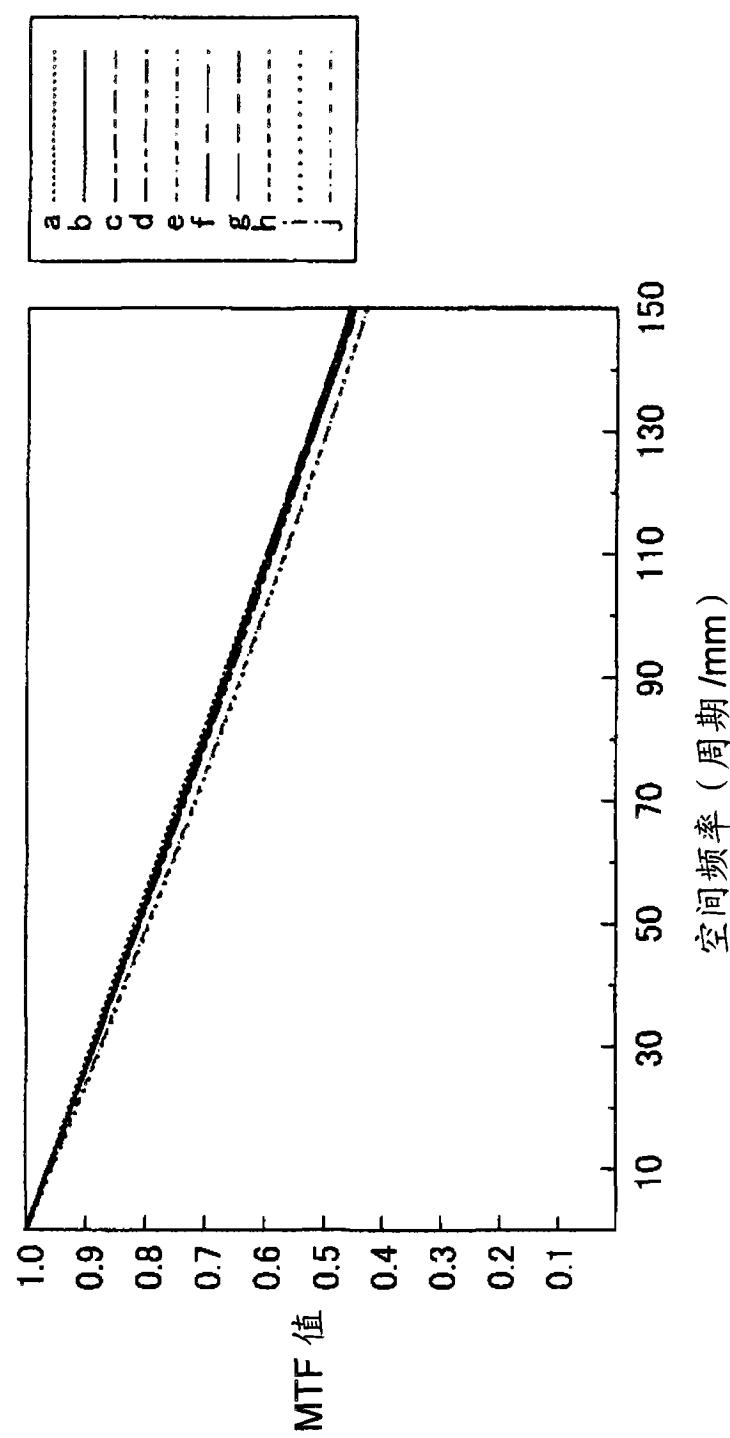


图 5C

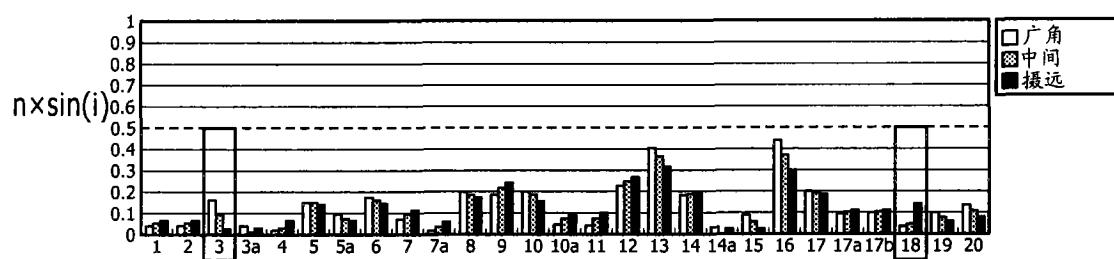


图 6

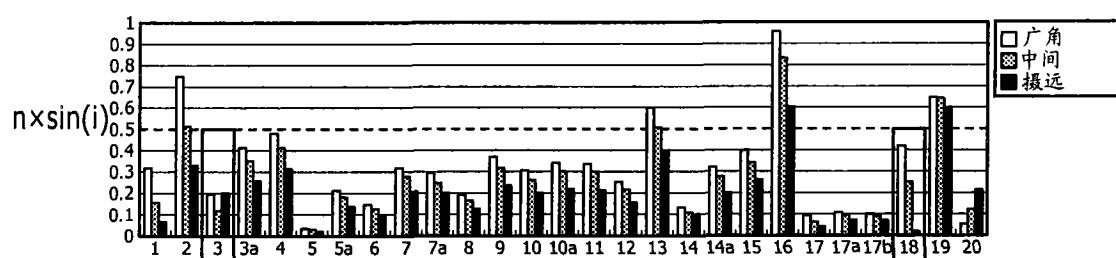


图 7

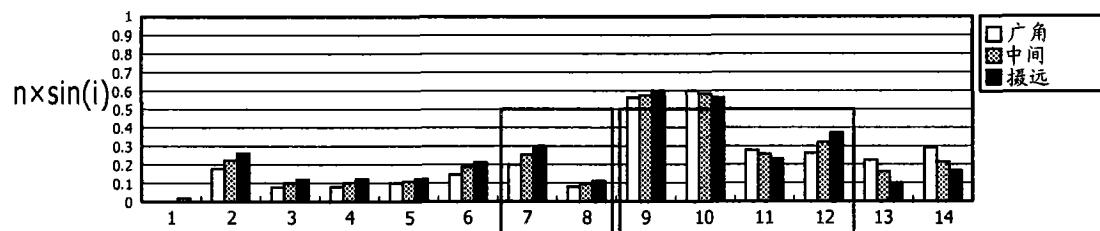


图 8

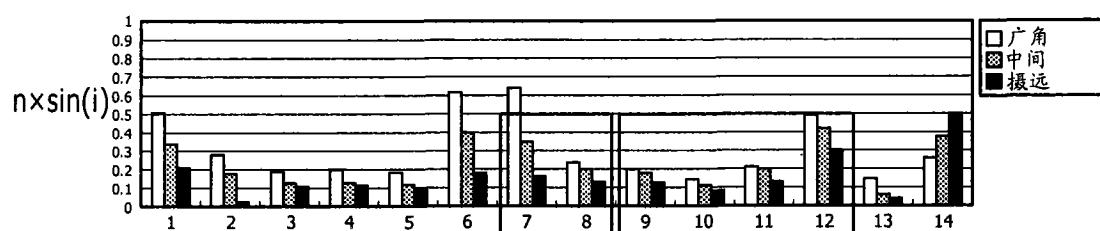


图 9

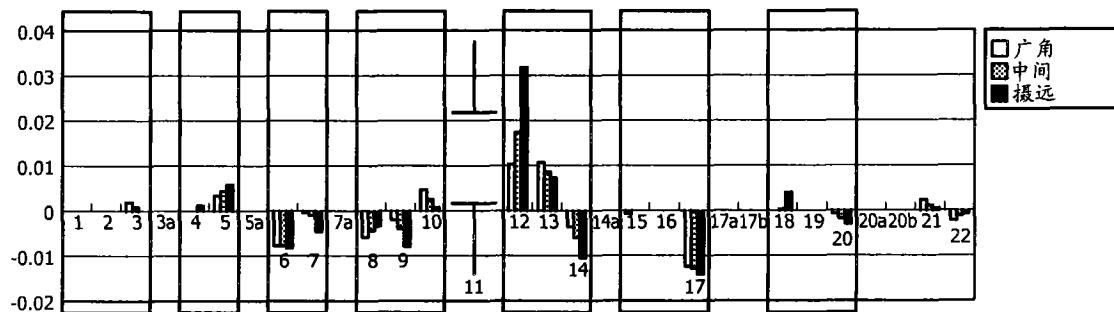


图 10

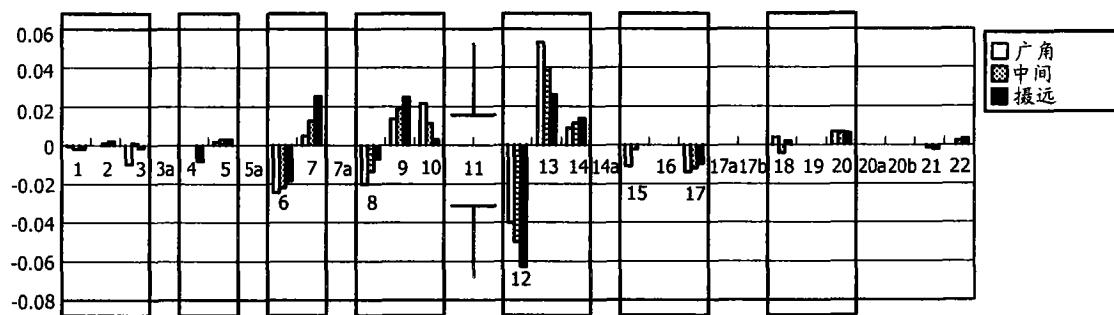


图 11

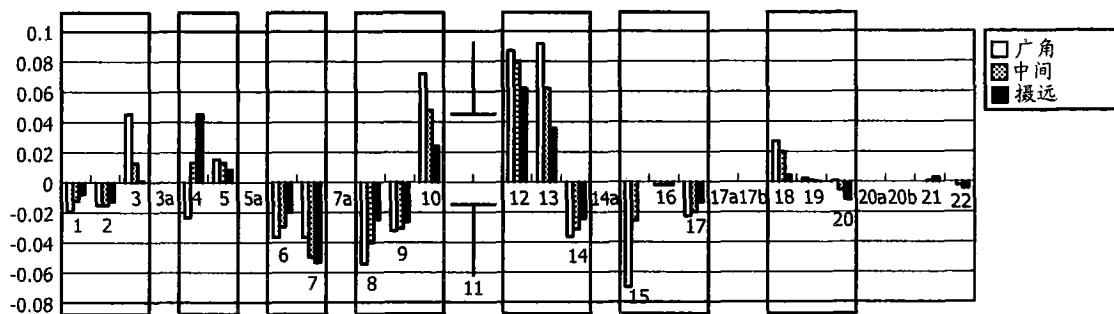


图 12

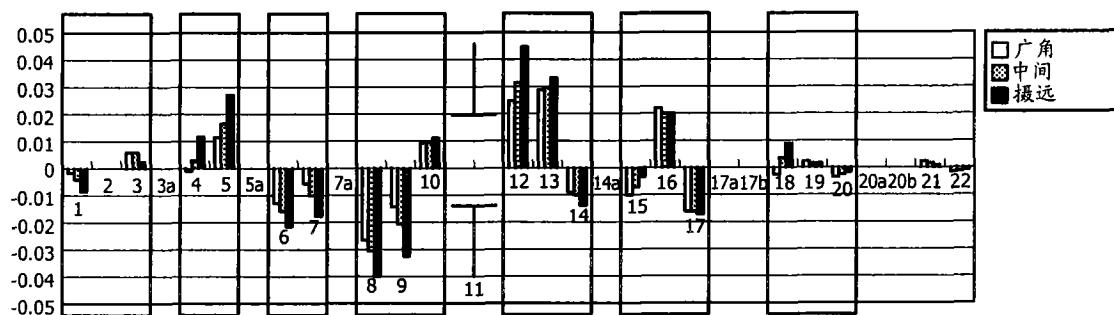


图 13

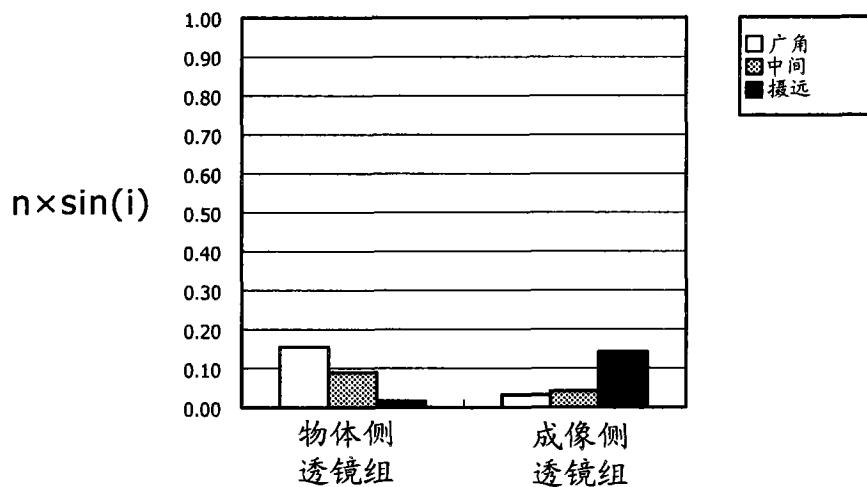


图 14

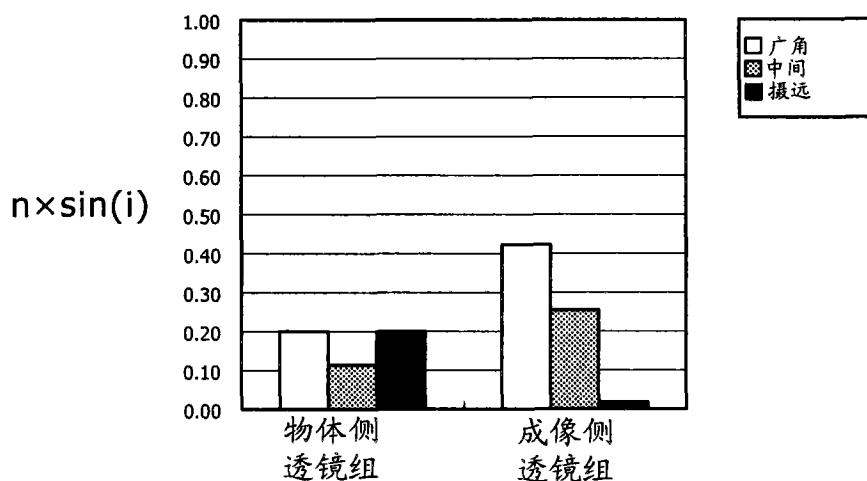


图 15

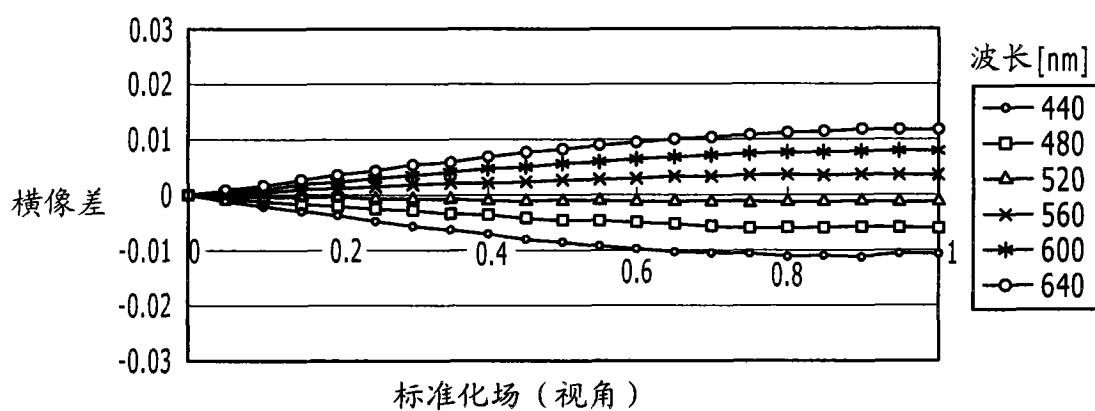


图 16

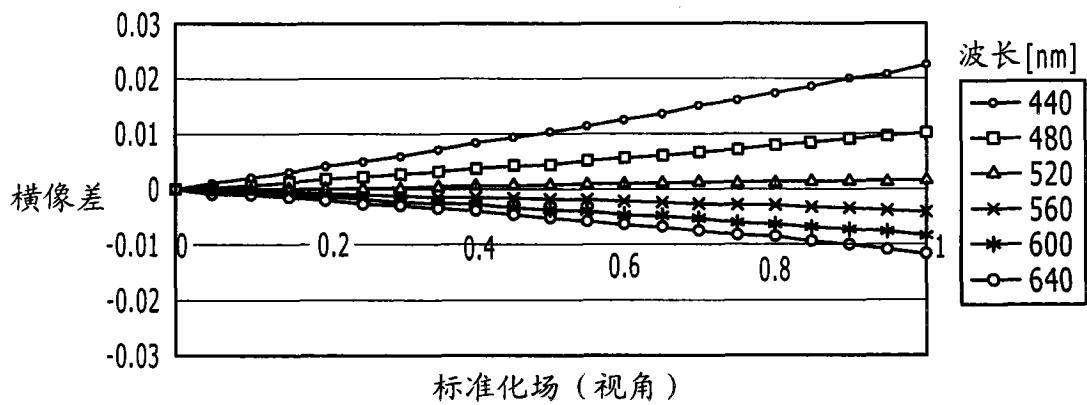


图 17

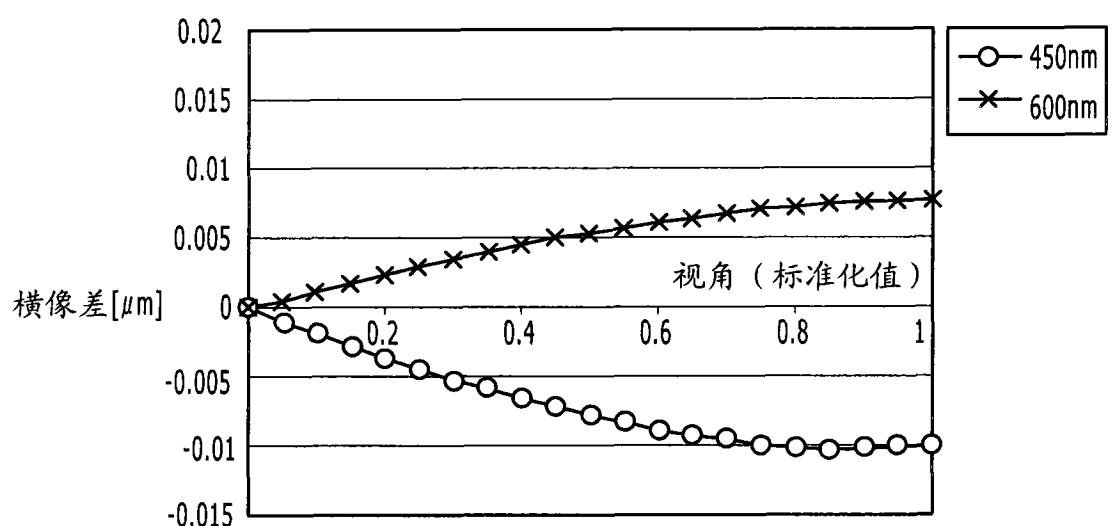


图 18

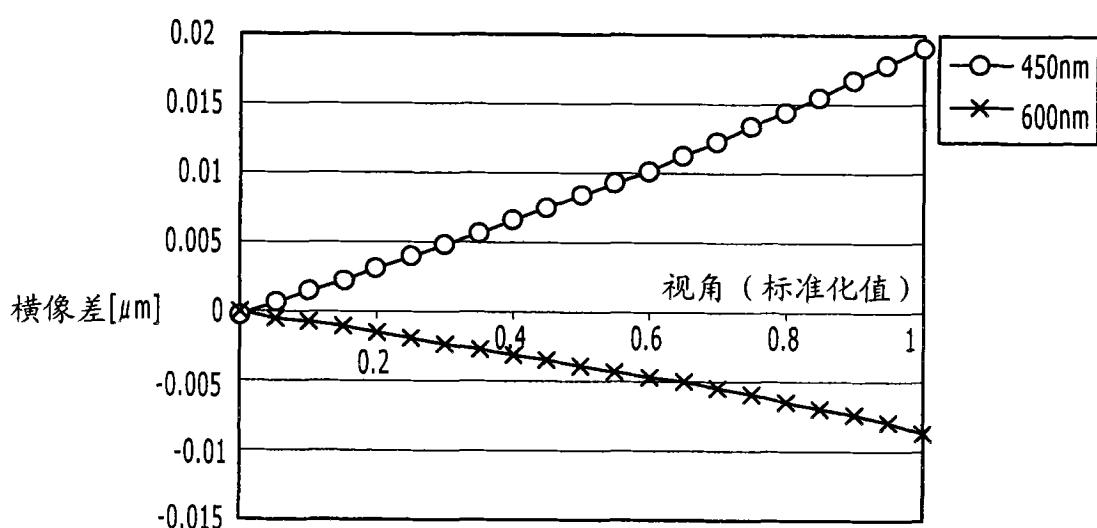


图 19

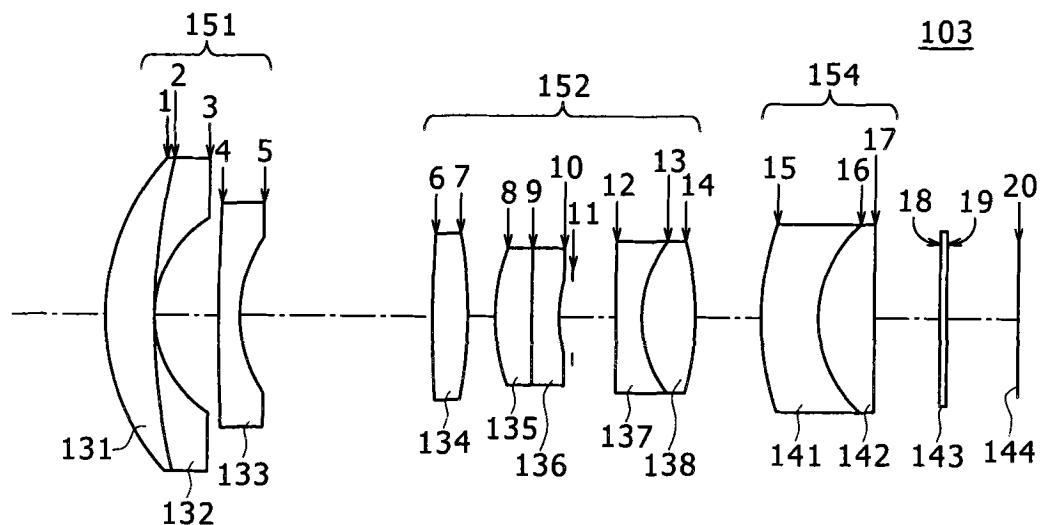


图 20A

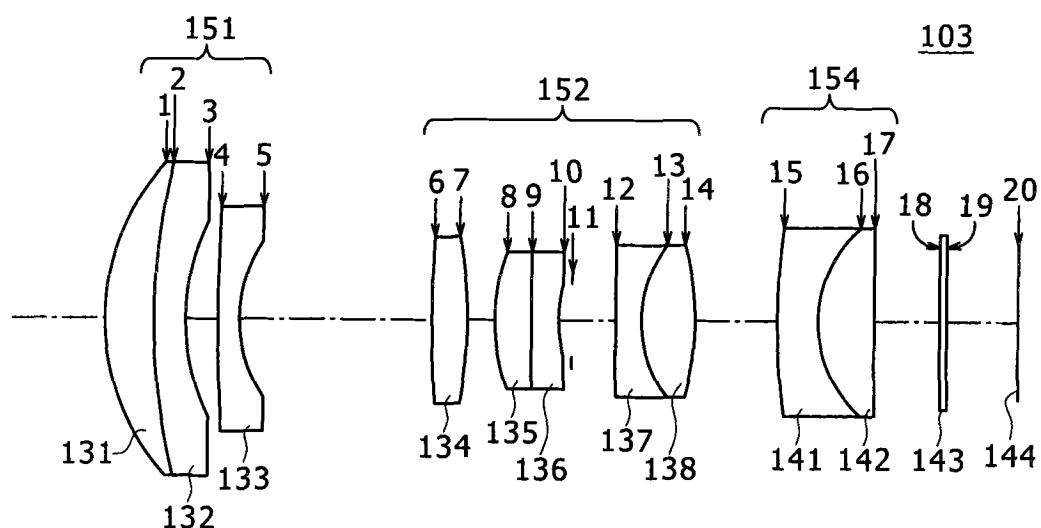


图 20B

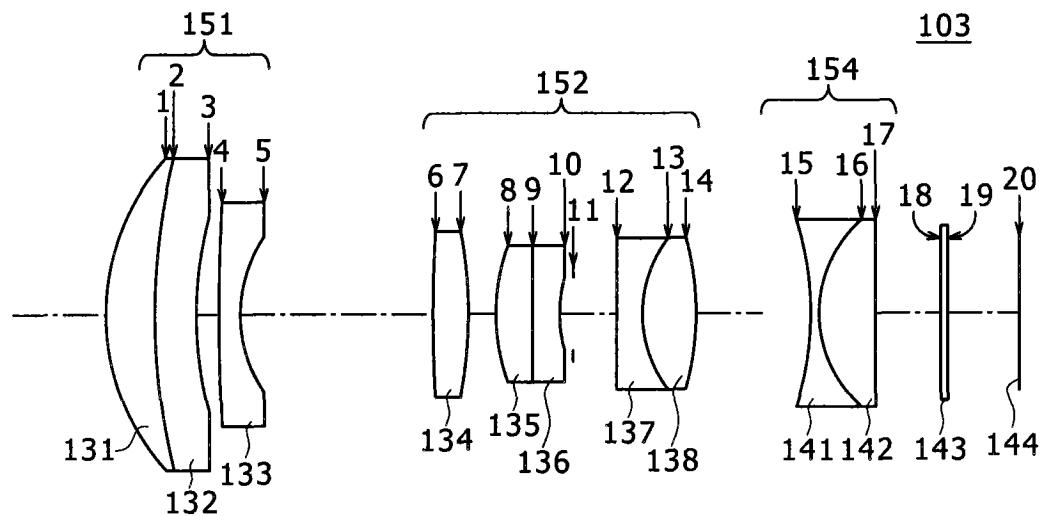


图 20C

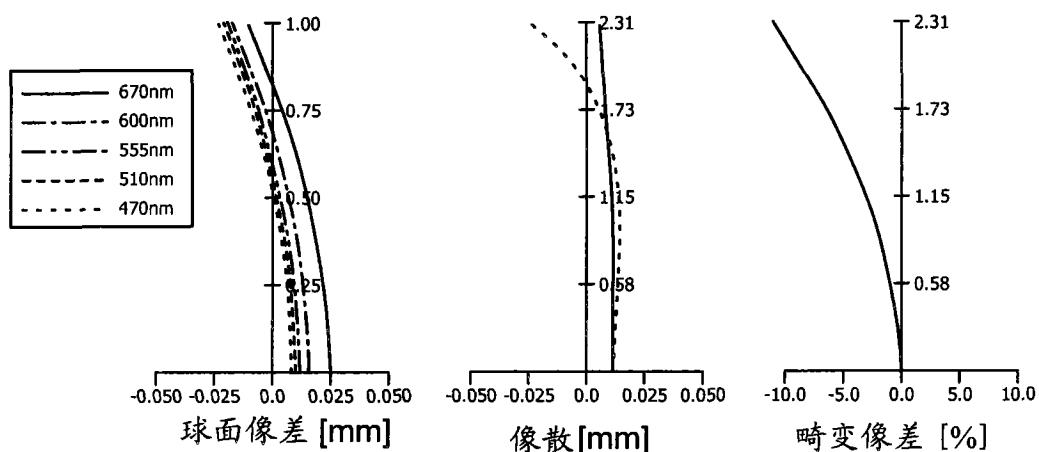


图 21A

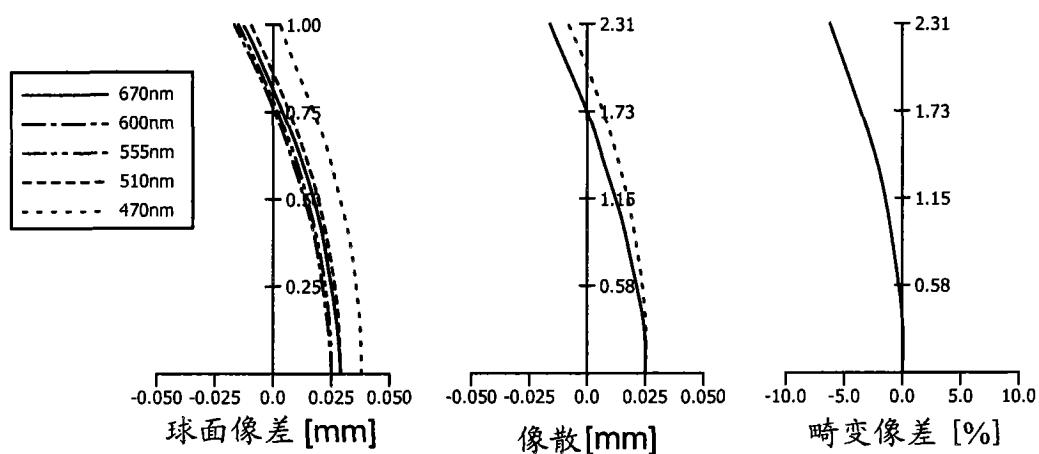


图 21B

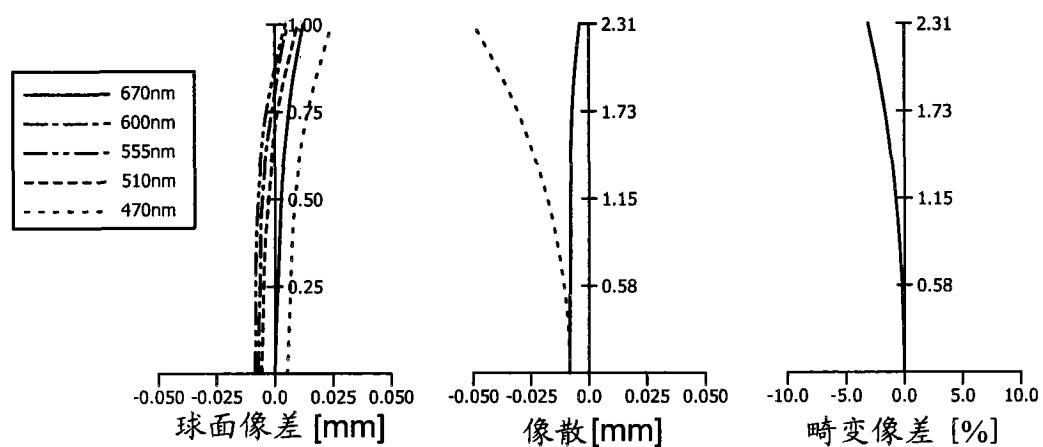


图 21C

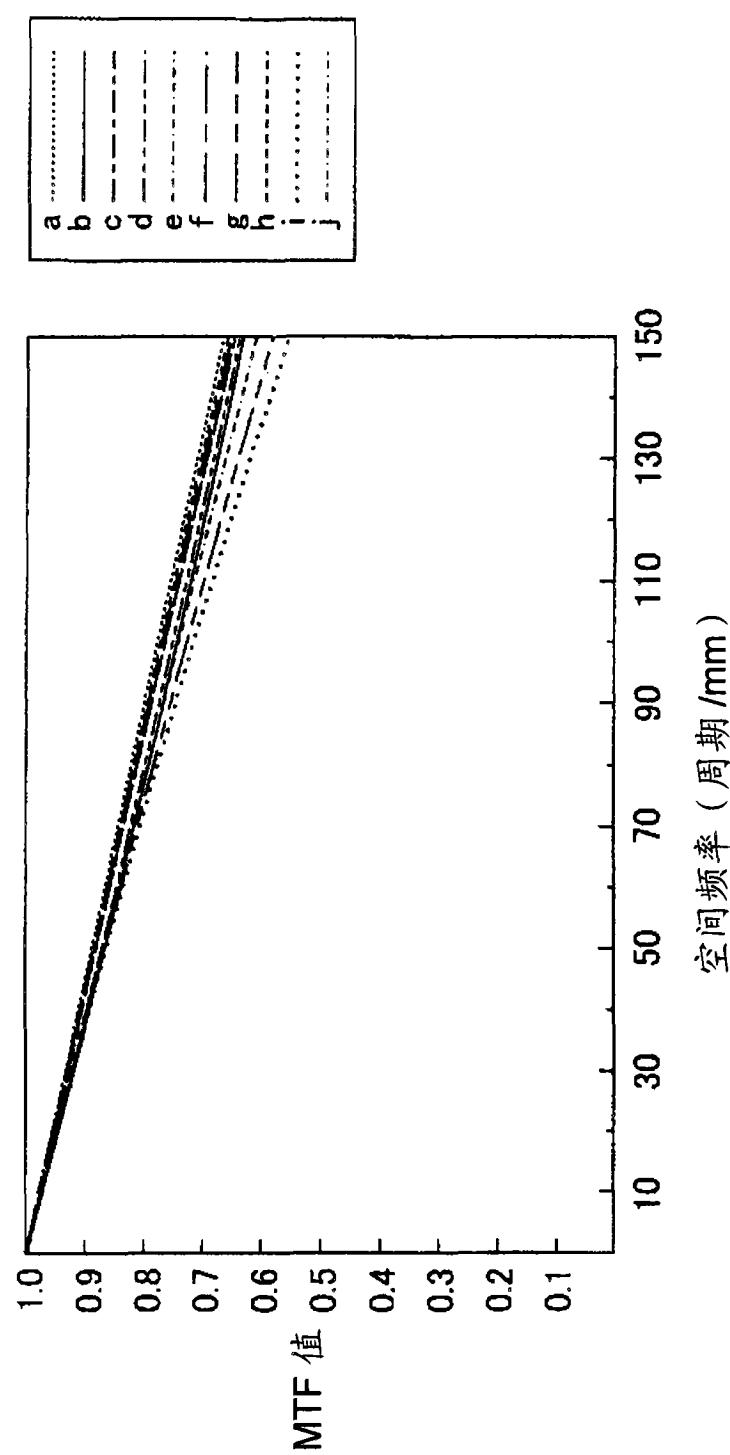


图 22A

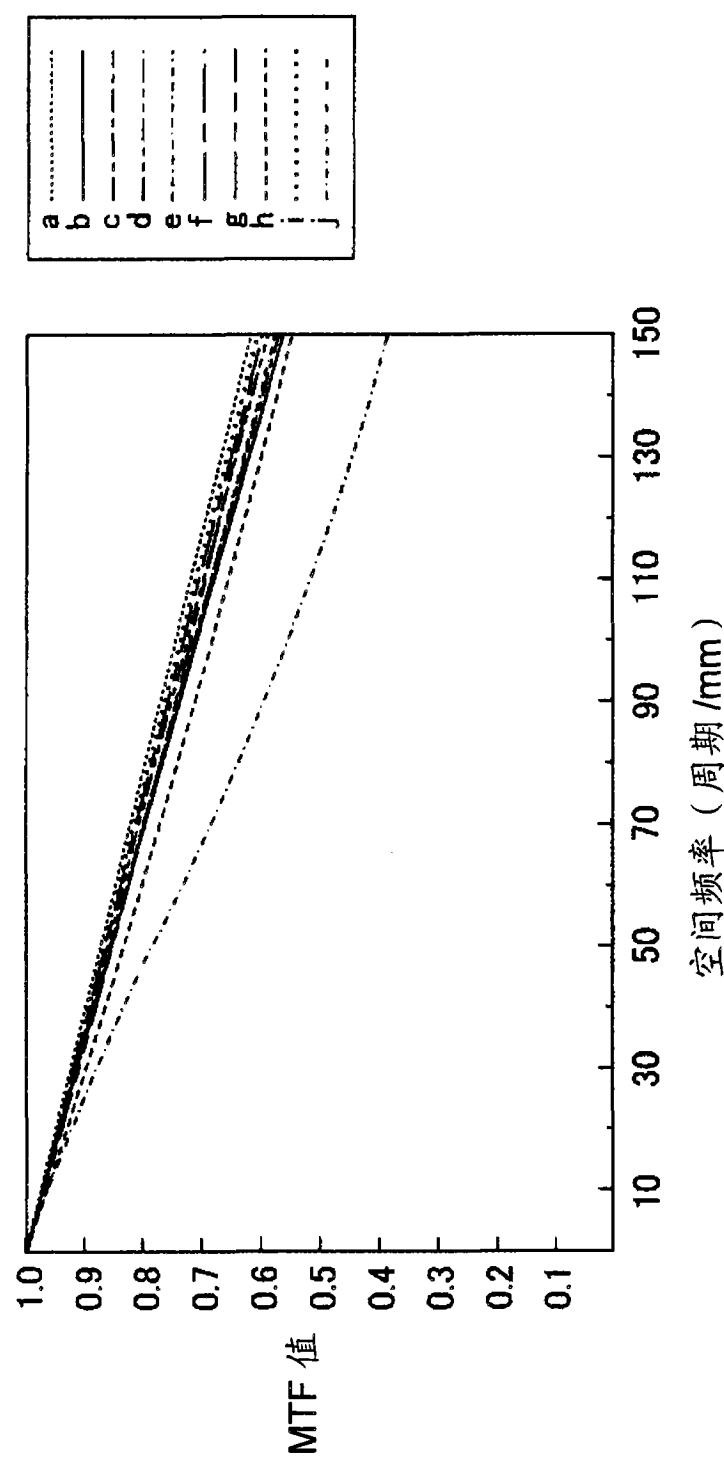


图 22B

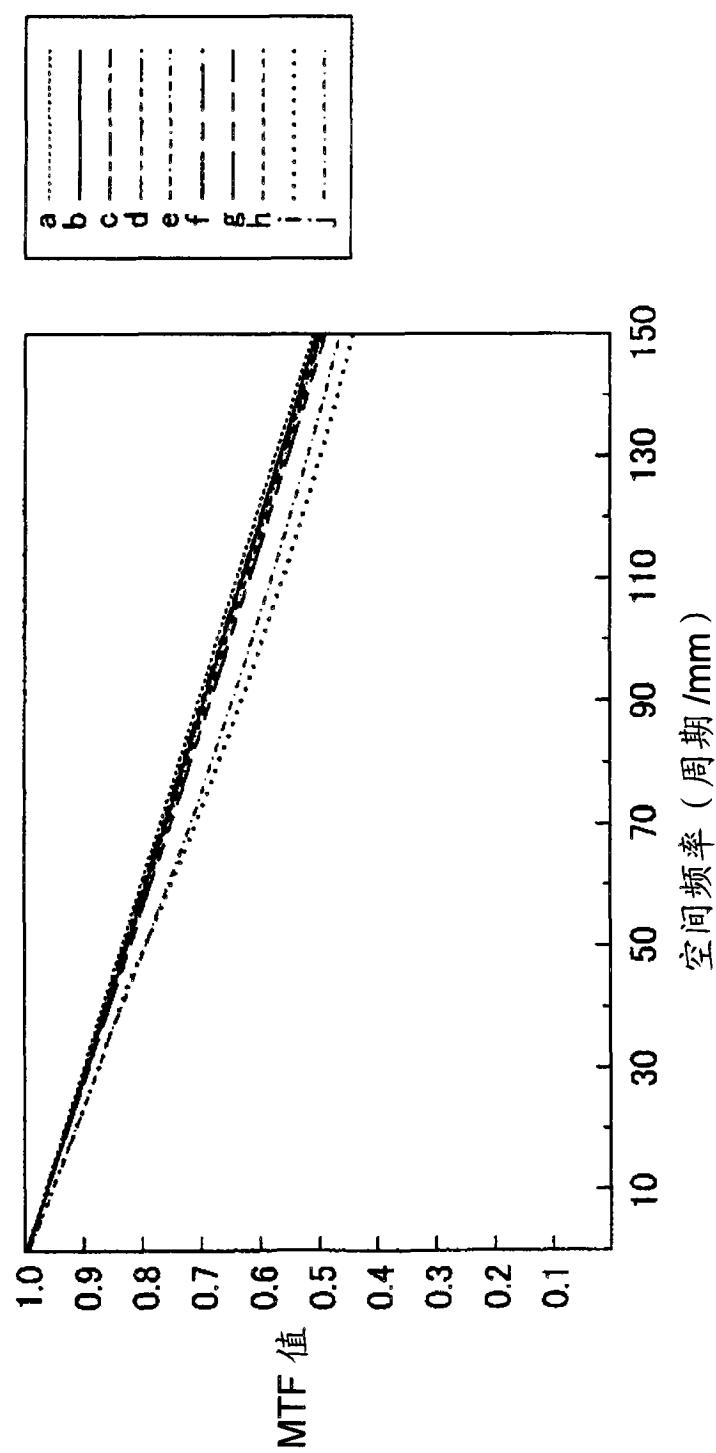


图 22C

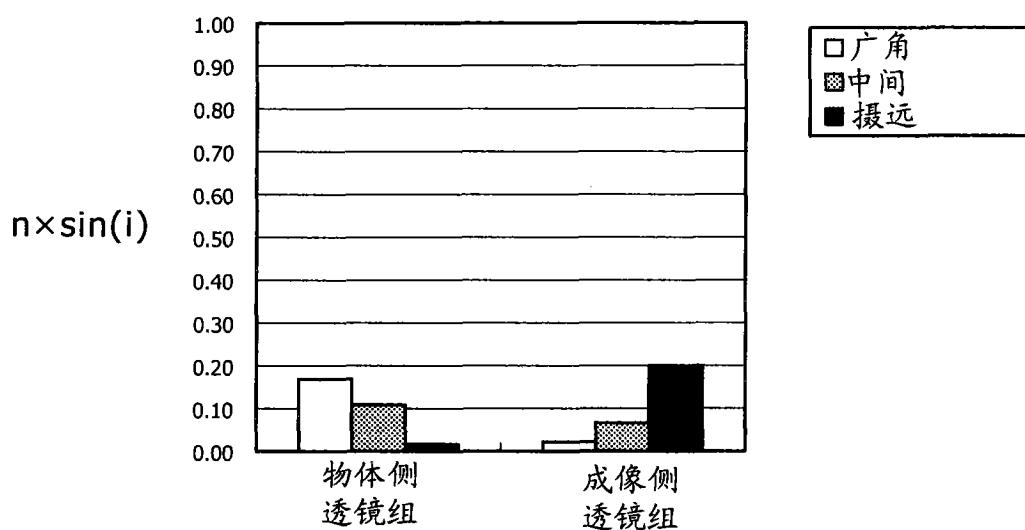


图 23

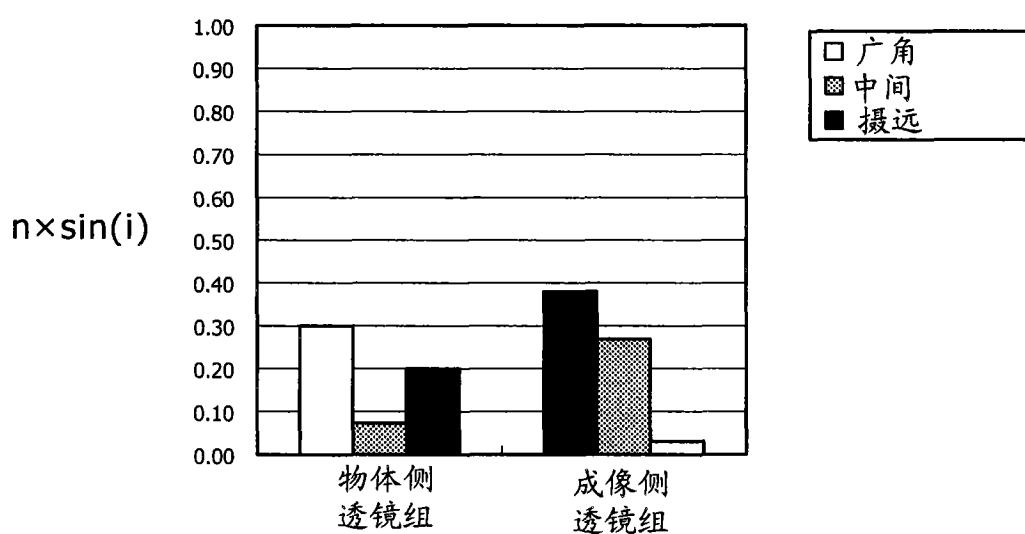


图 24

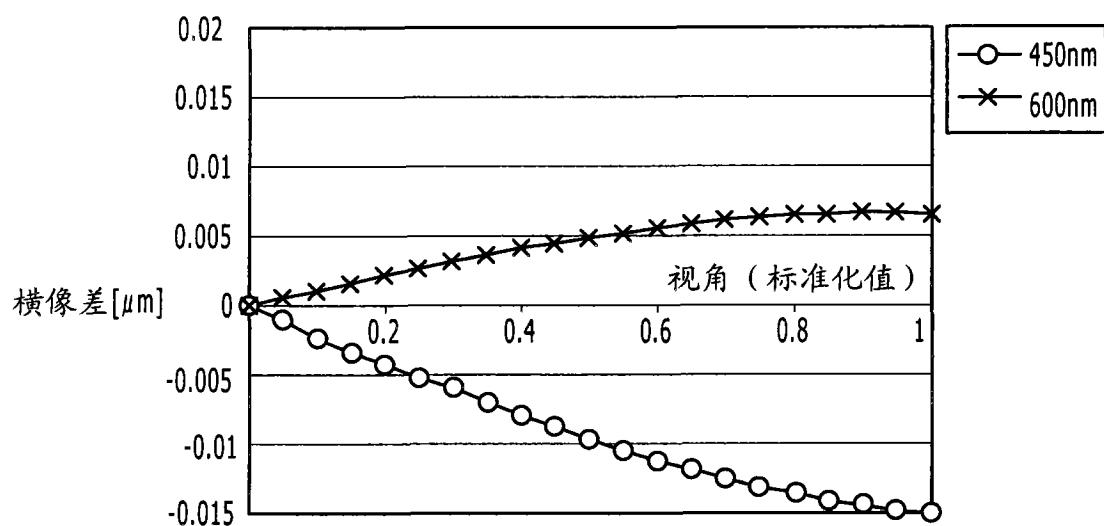


图 25

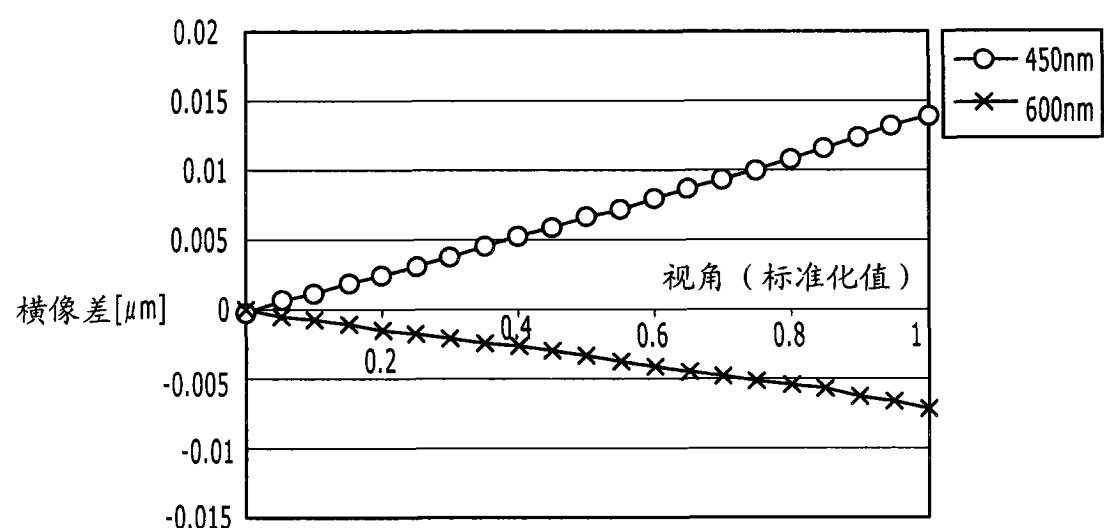


图 26

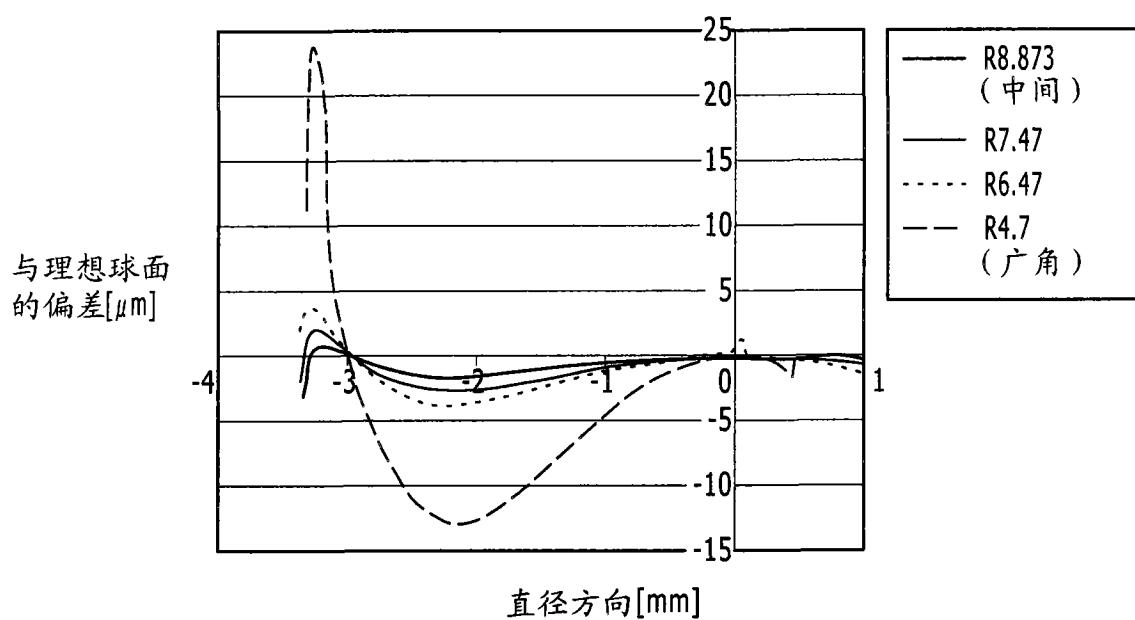


图 27

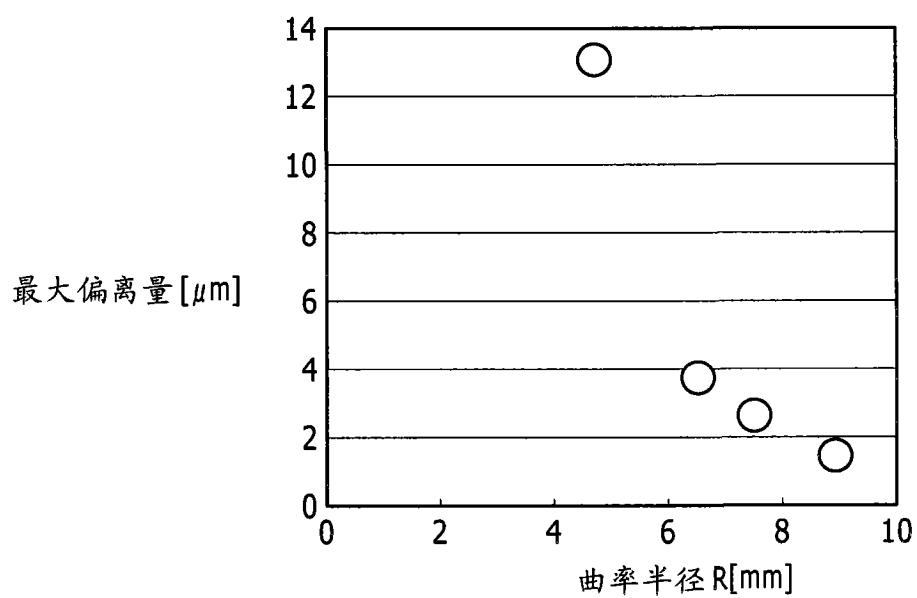


图 28

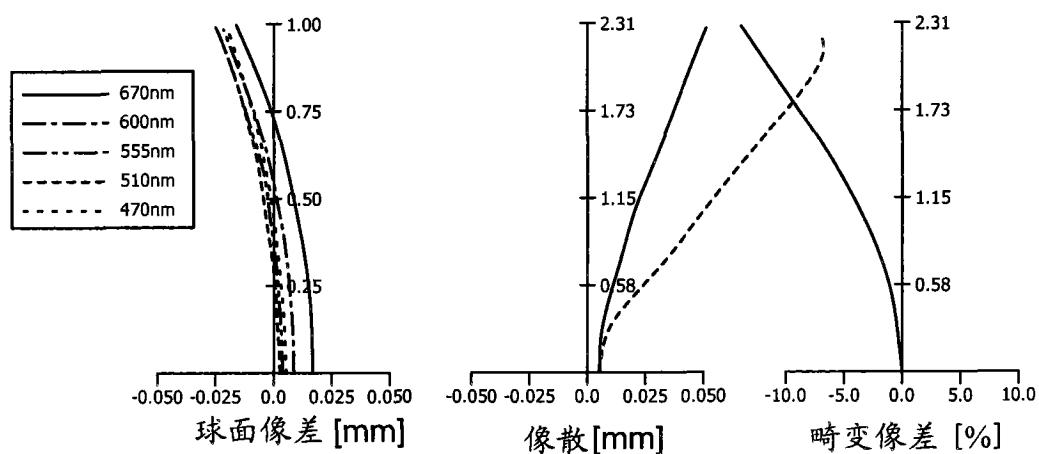


图 29A

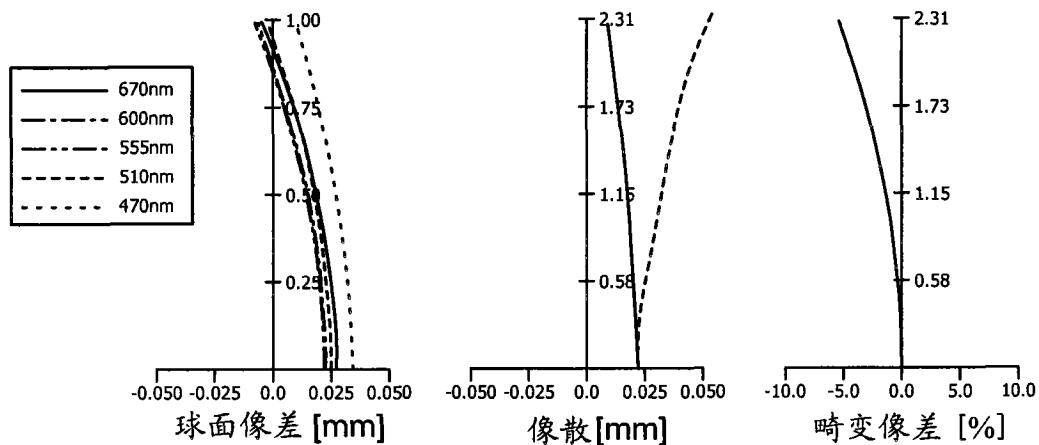


图 29B

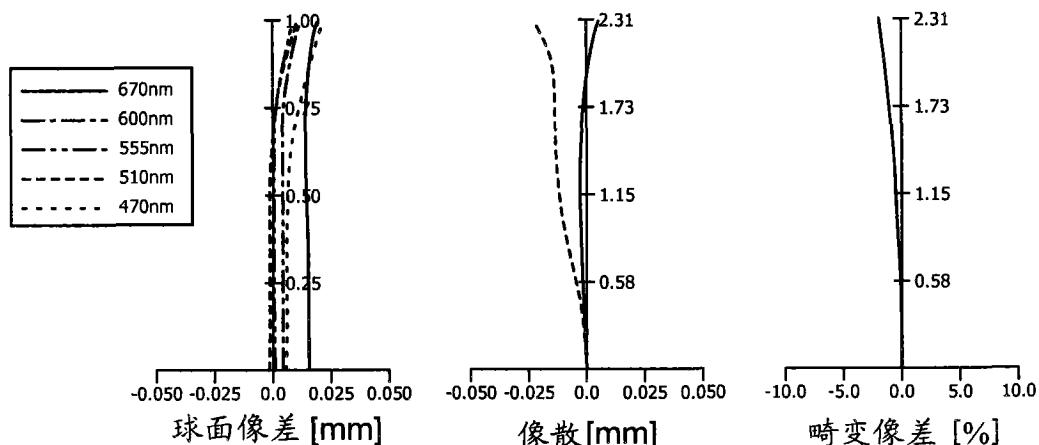


图 29C

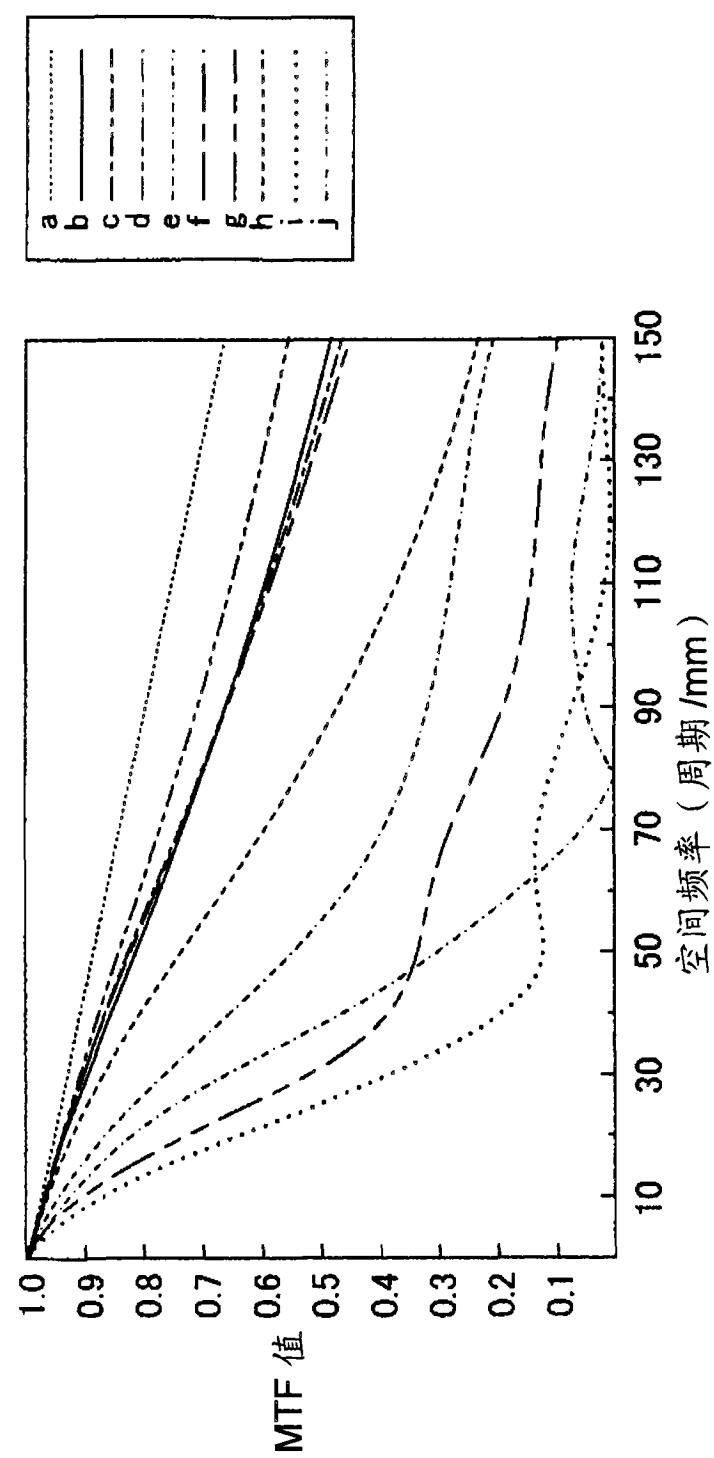


图 30A

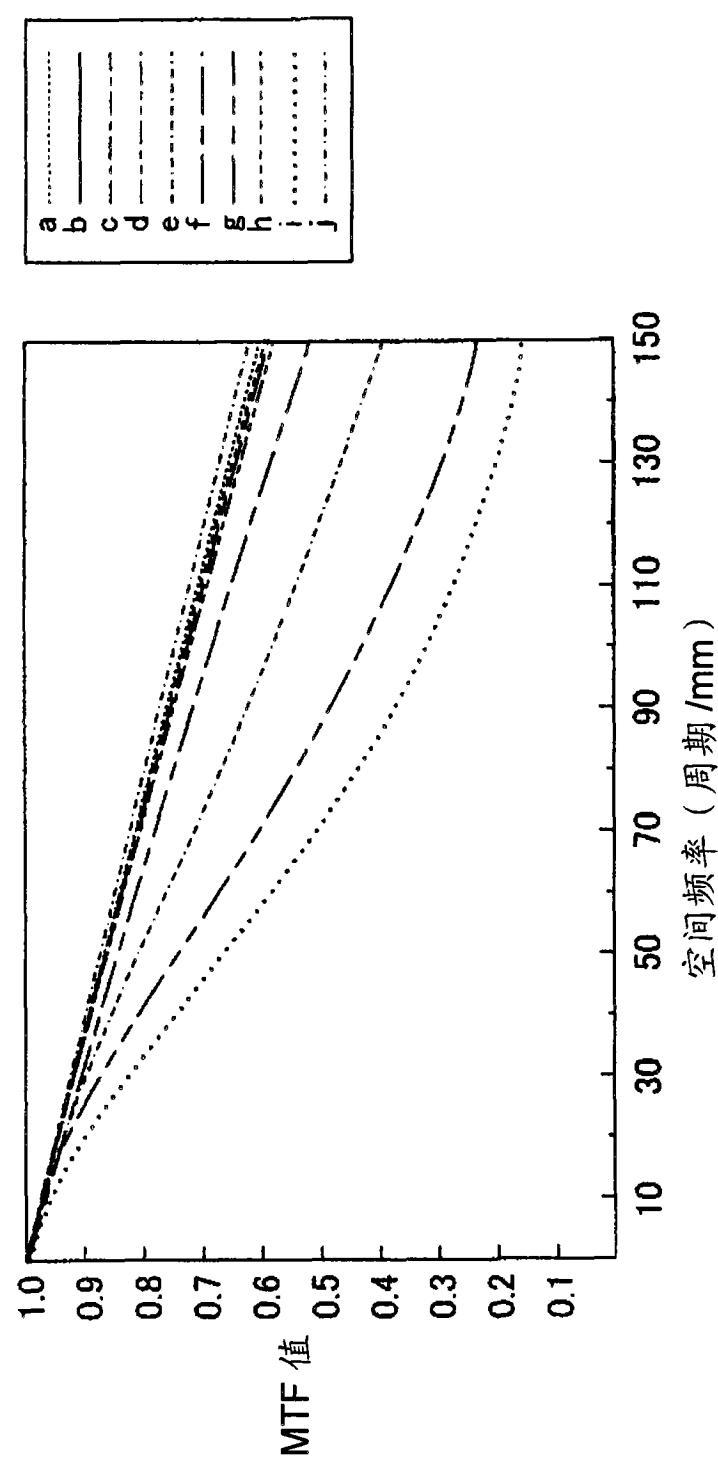


图 30B

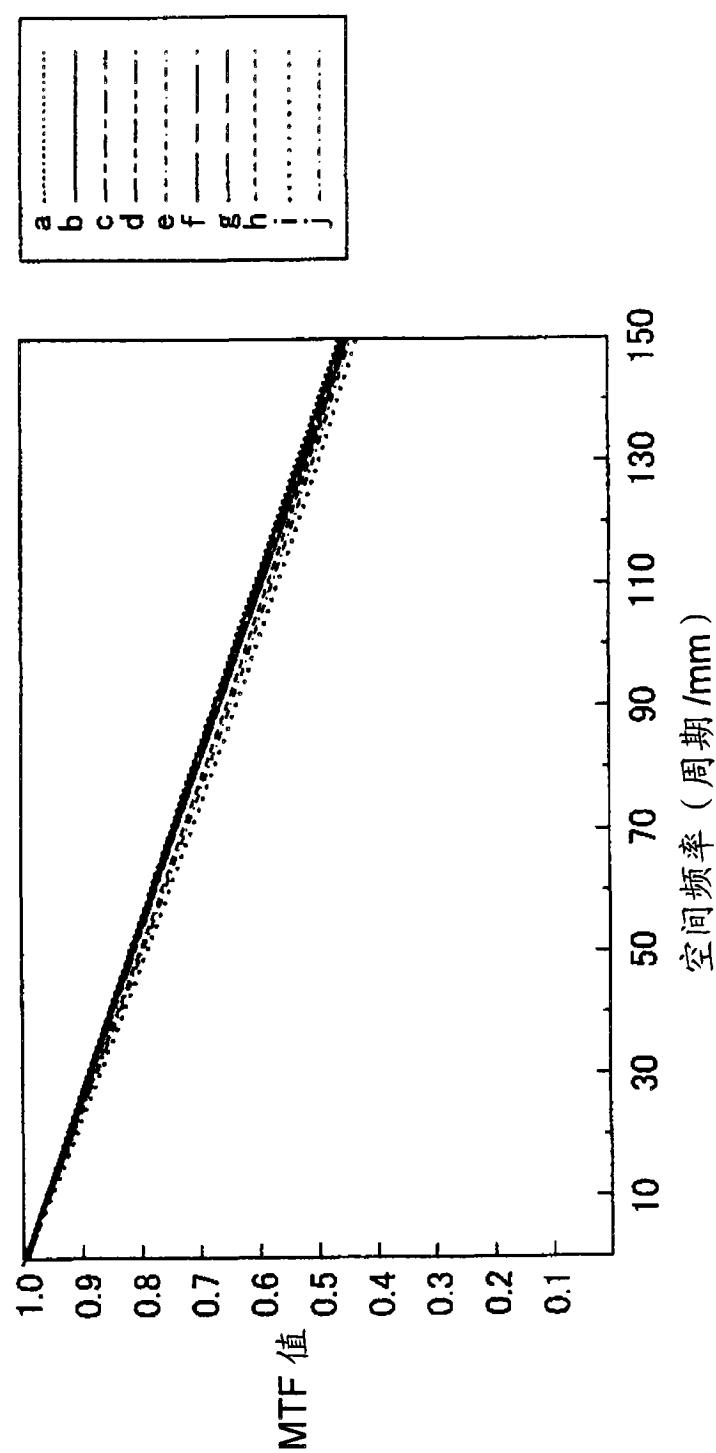


图 30C

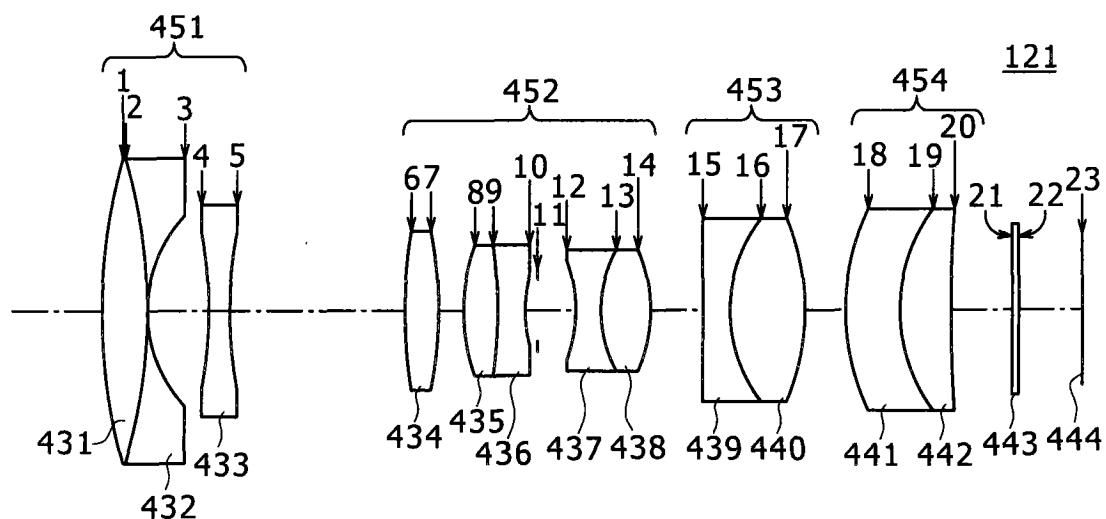


图 31A

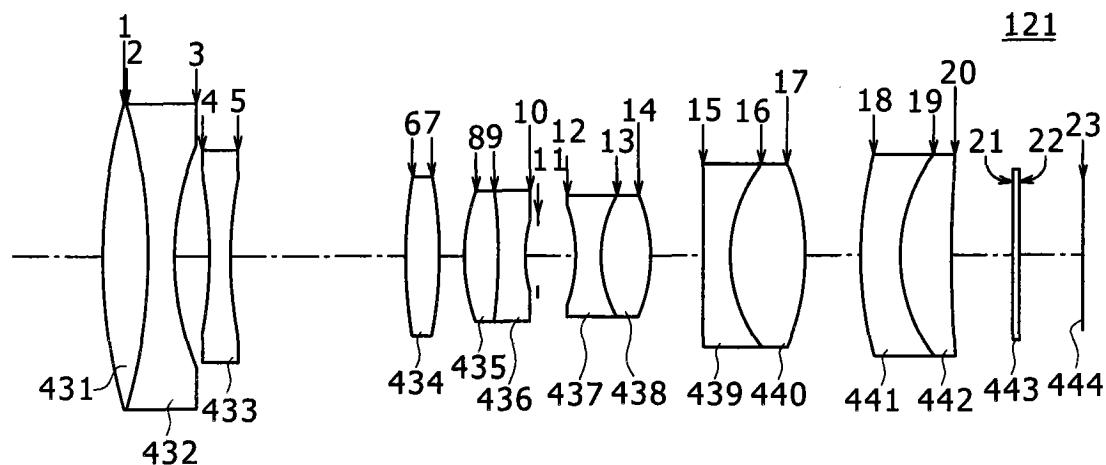


图 31B

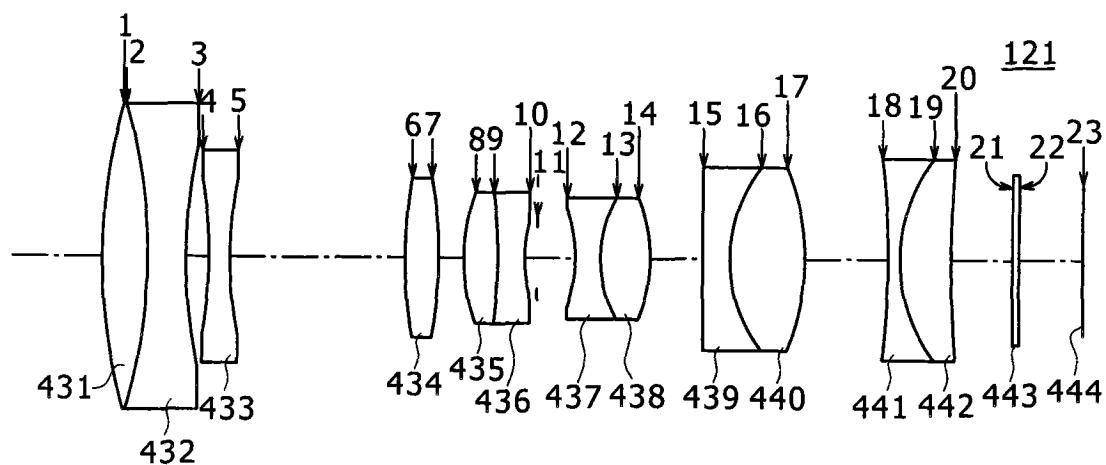


图 31C

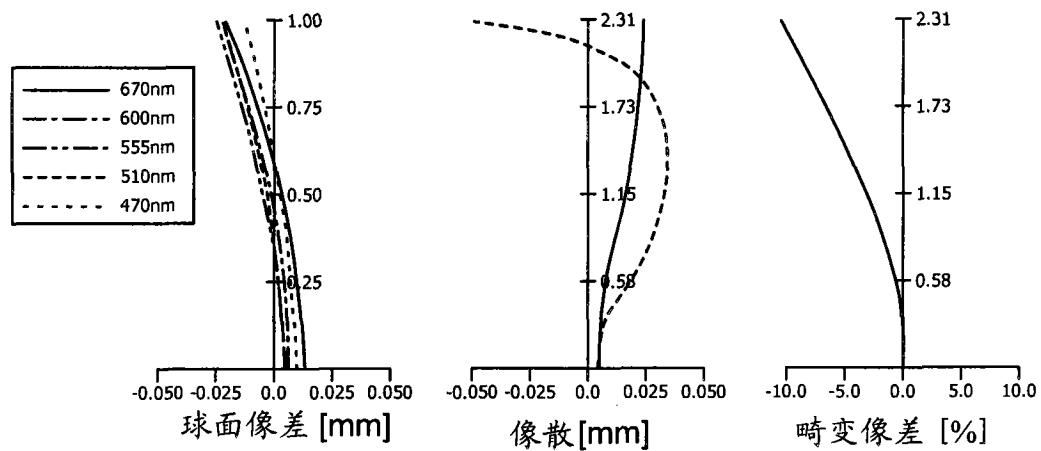


图 32A

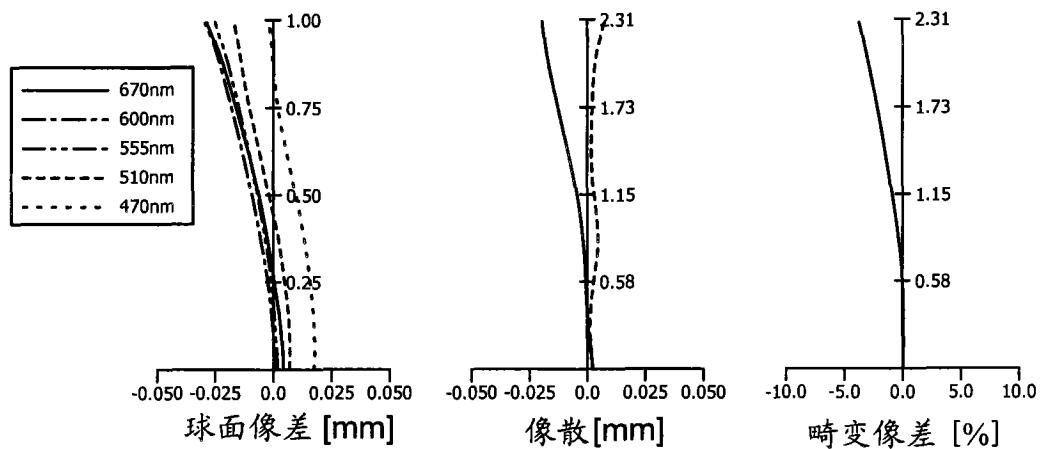


图 32B

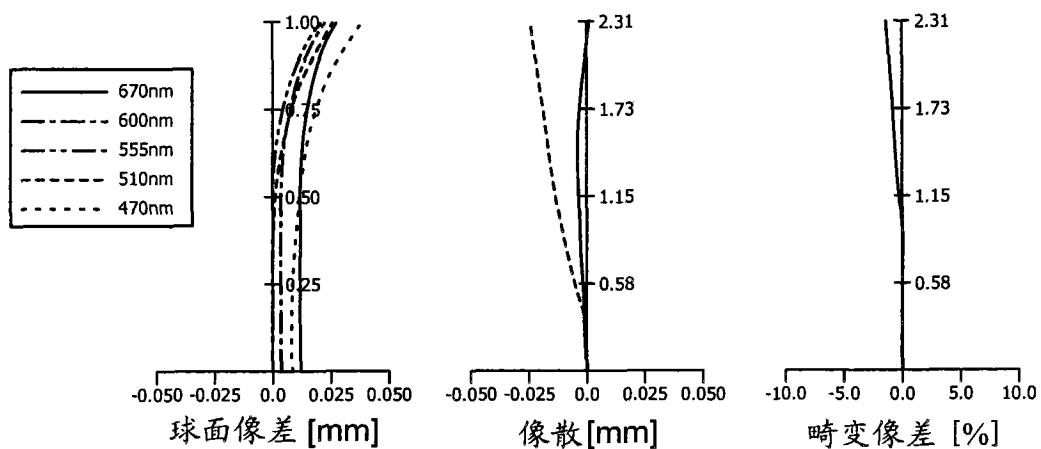


图 32C

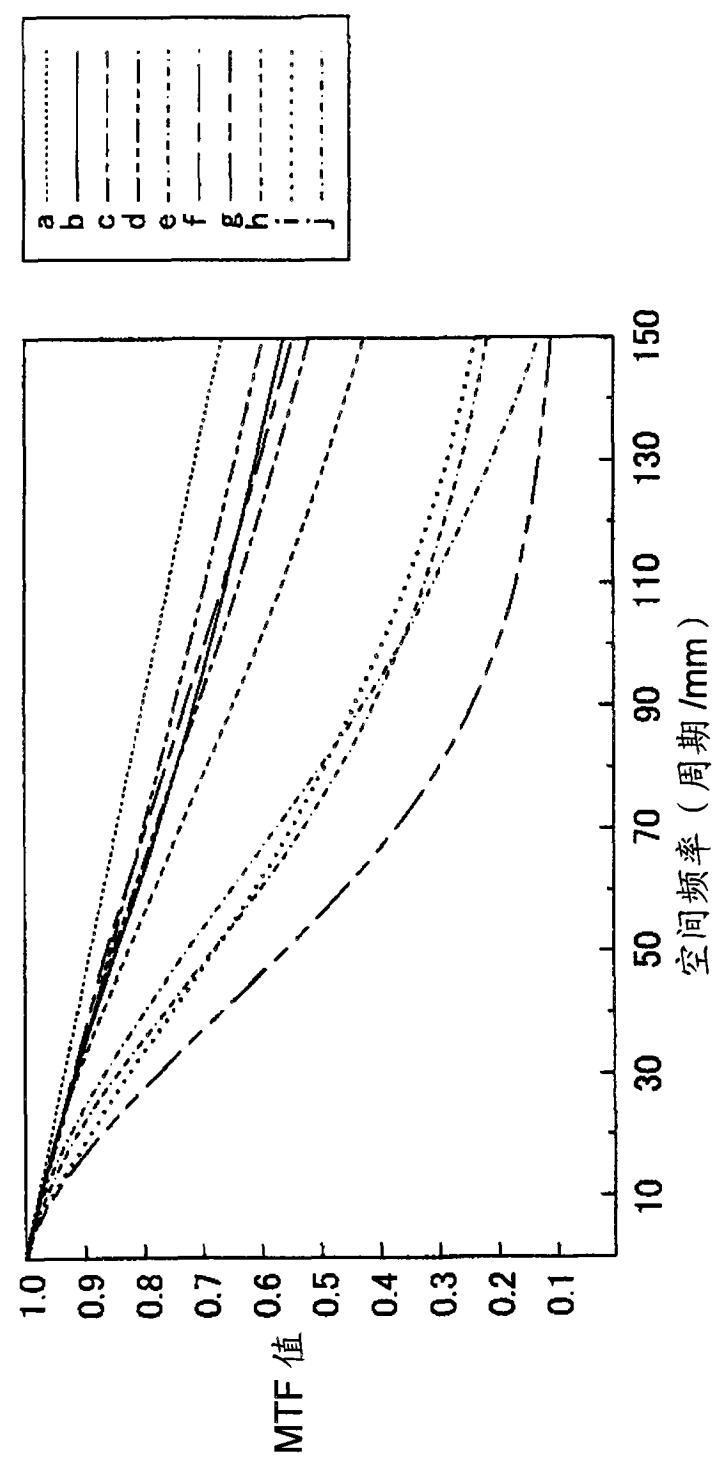


图 33A

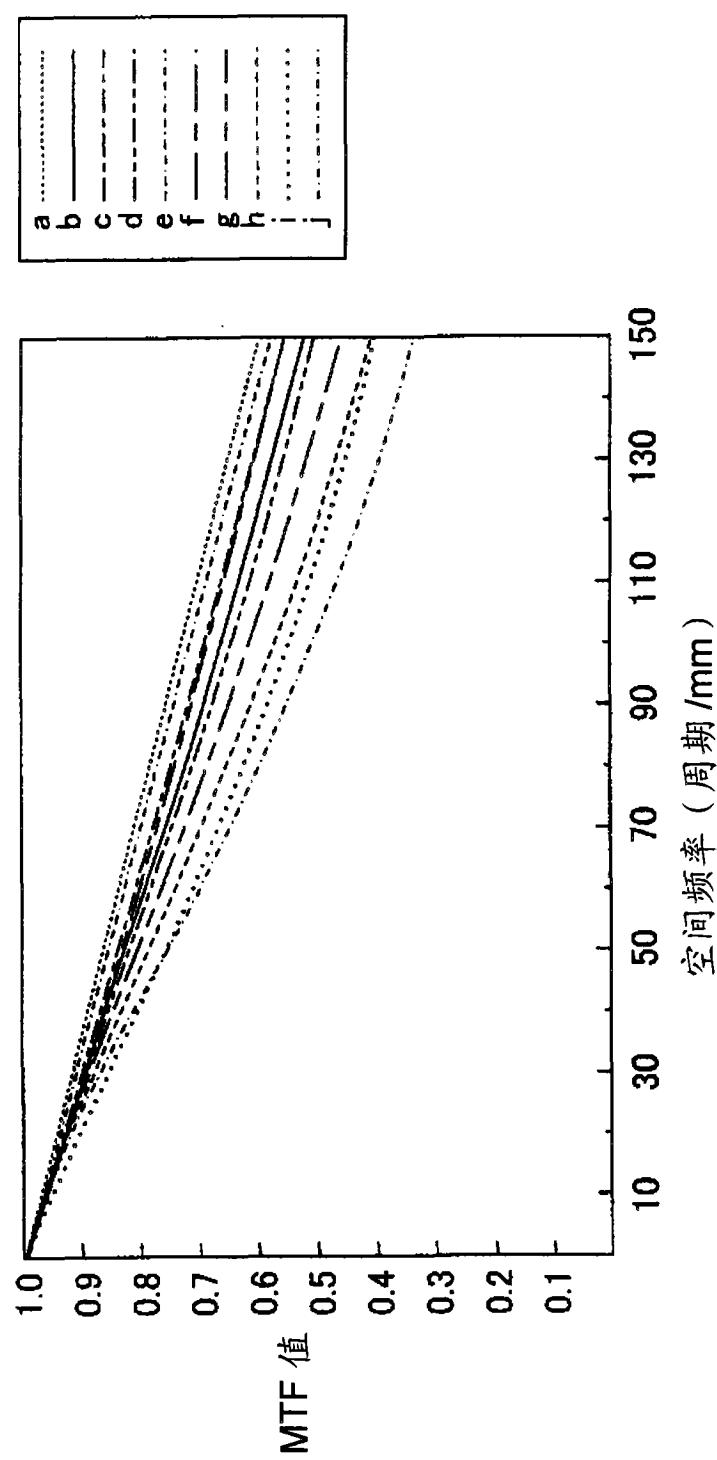


图 33B

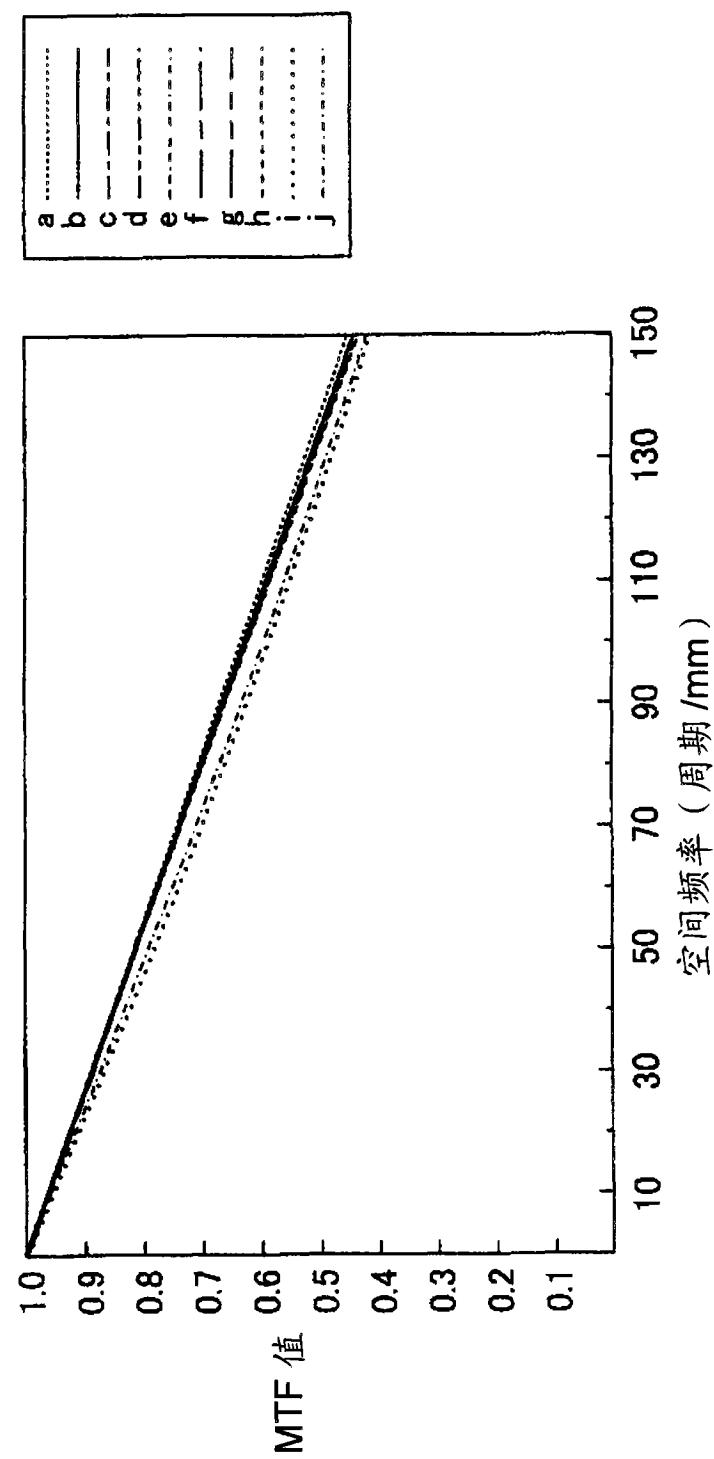


图 33C

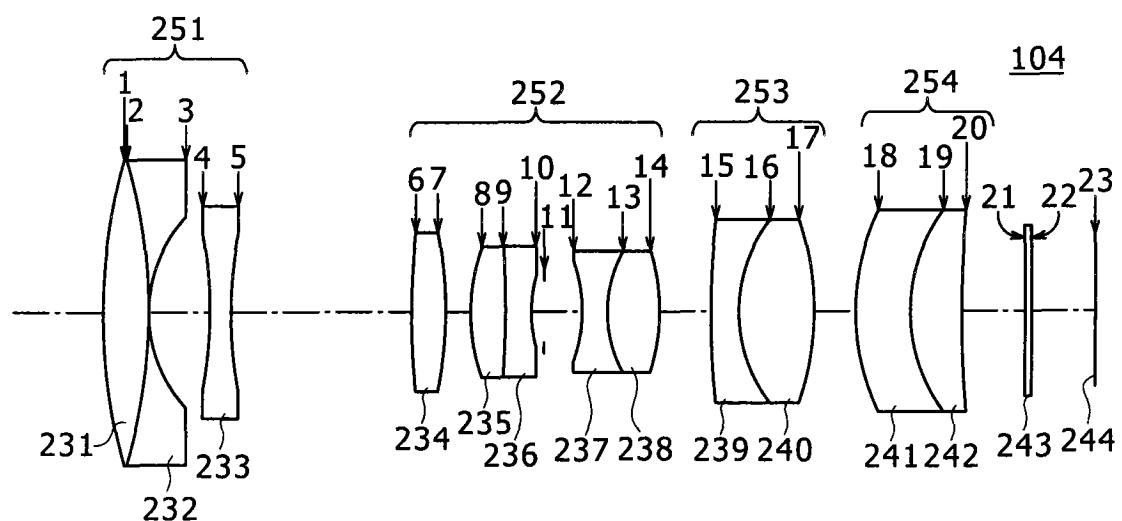


图 34A

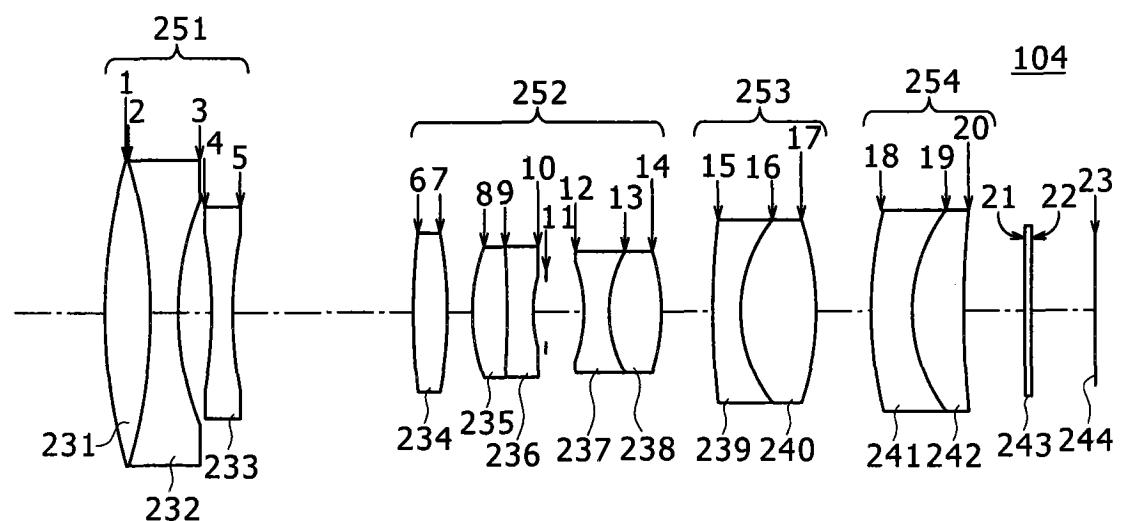


图 34B

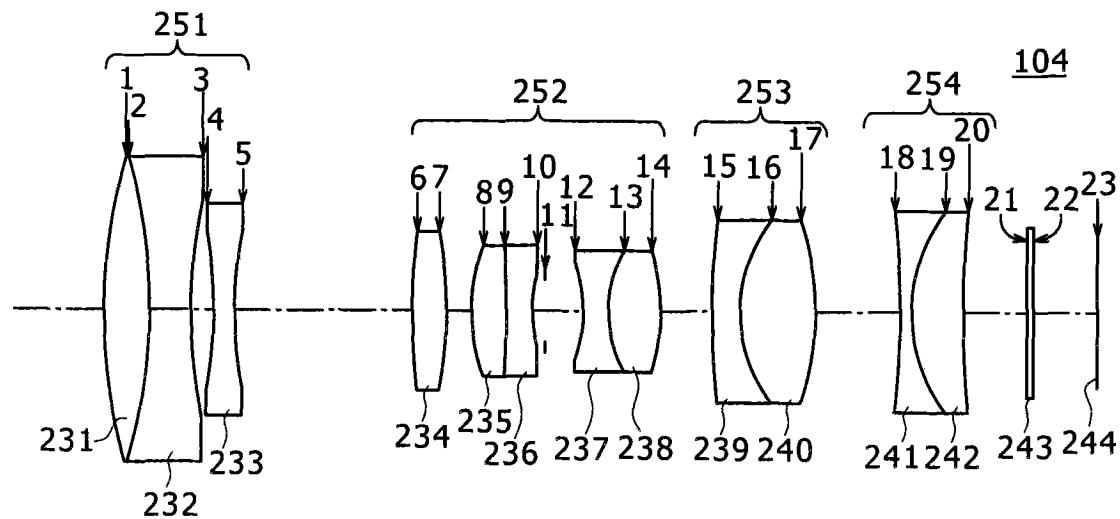


图 34C

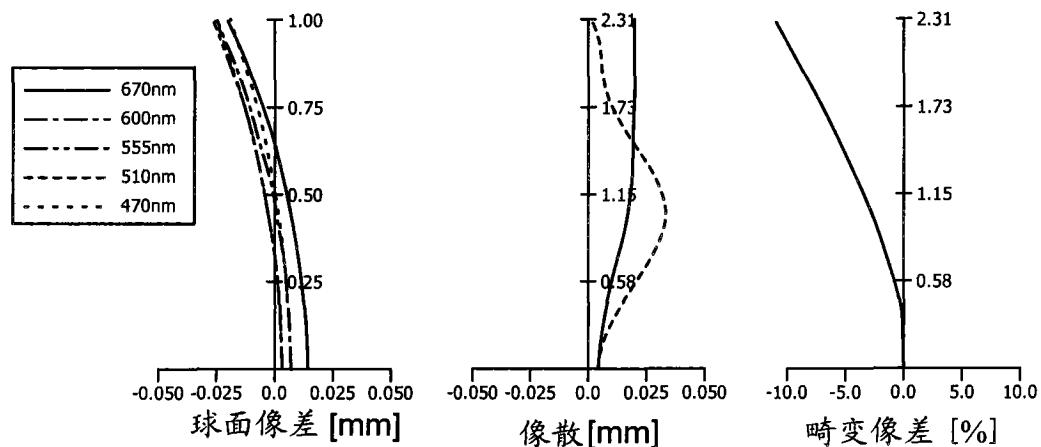


图 35A

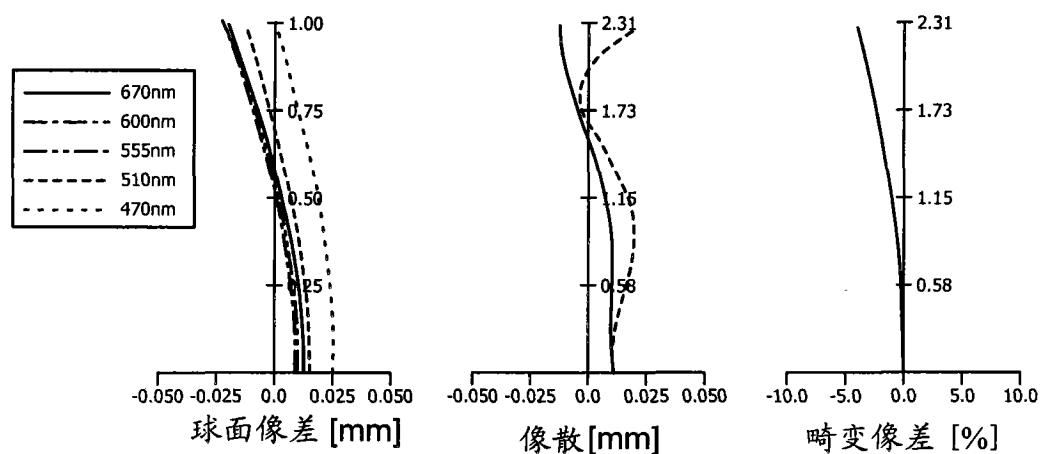


图 35B

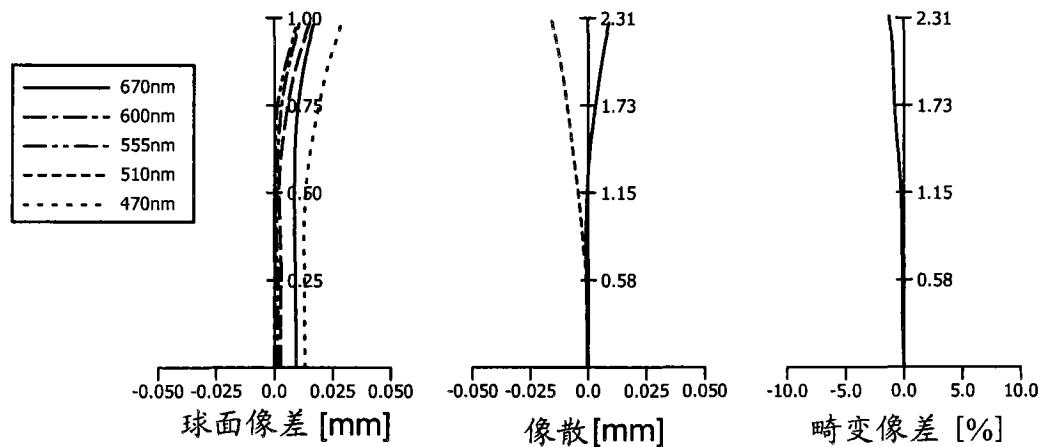


图 35C

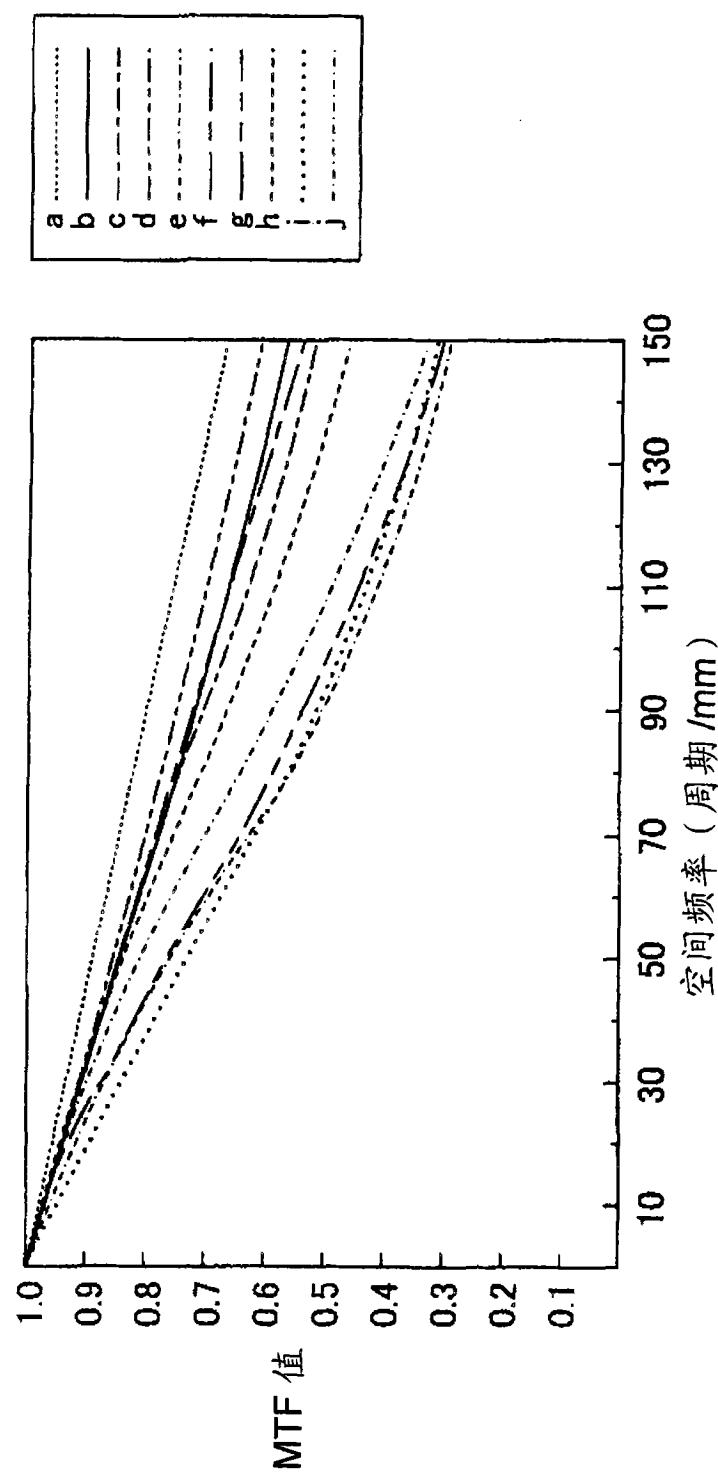


图 36A

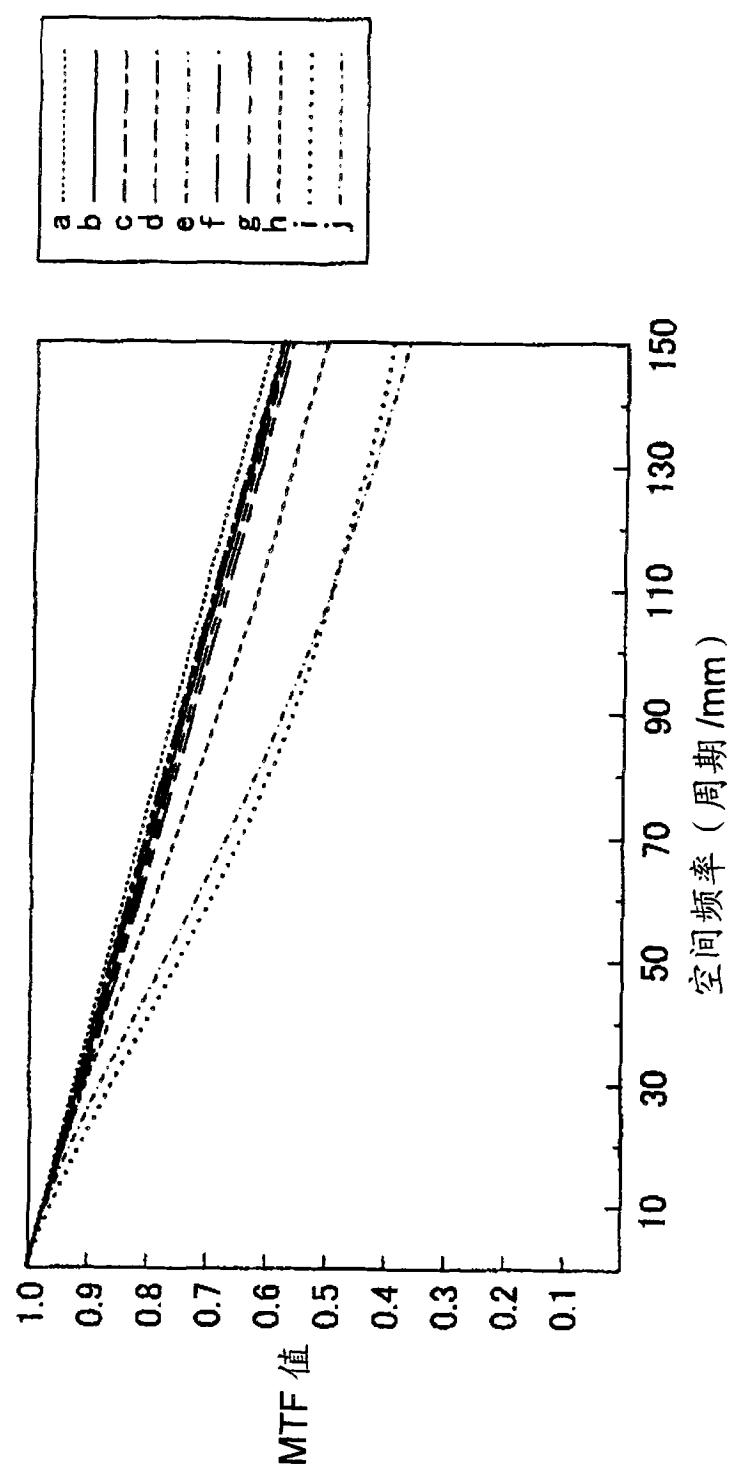


图 36B

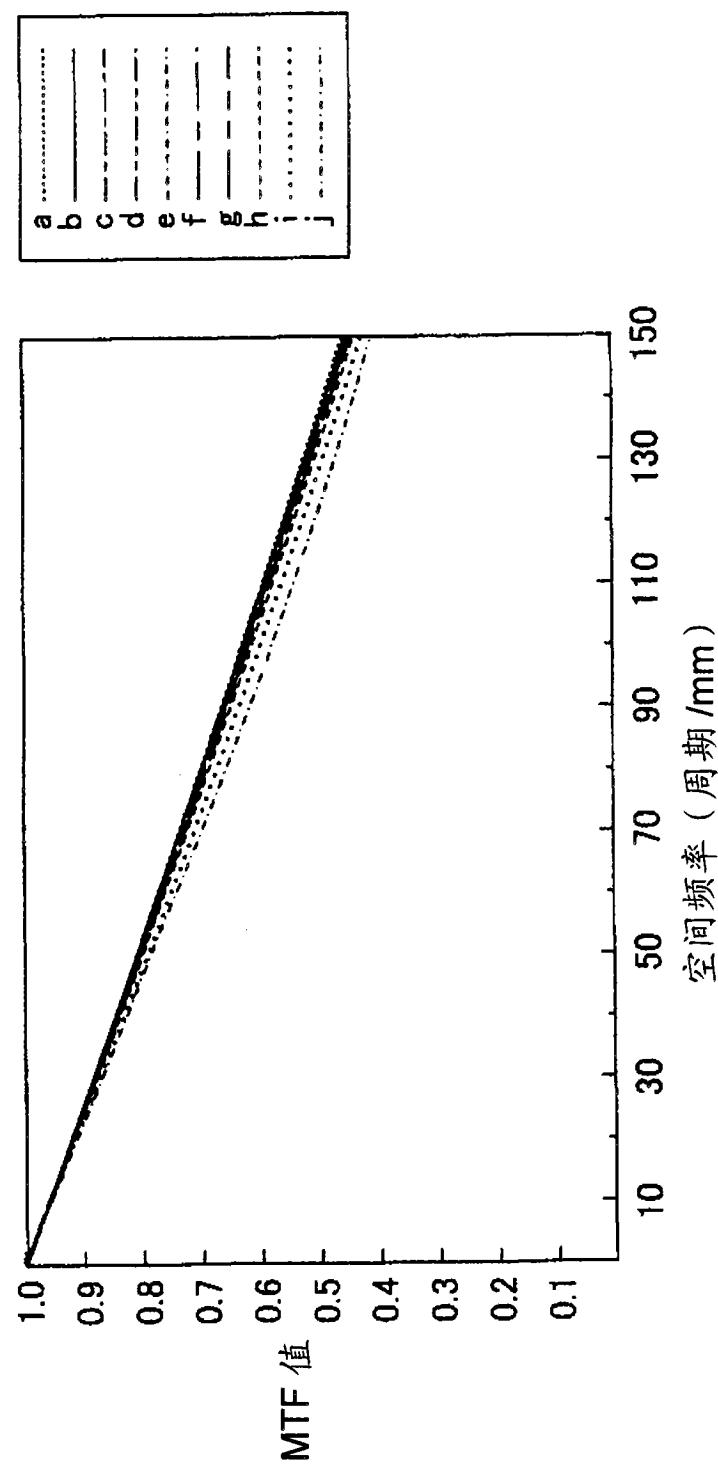


图 36C

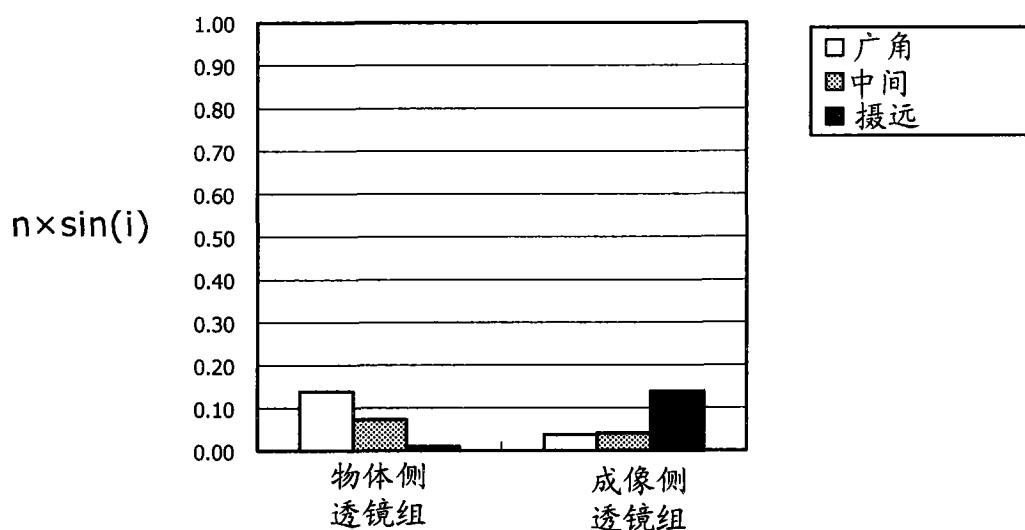


图 37

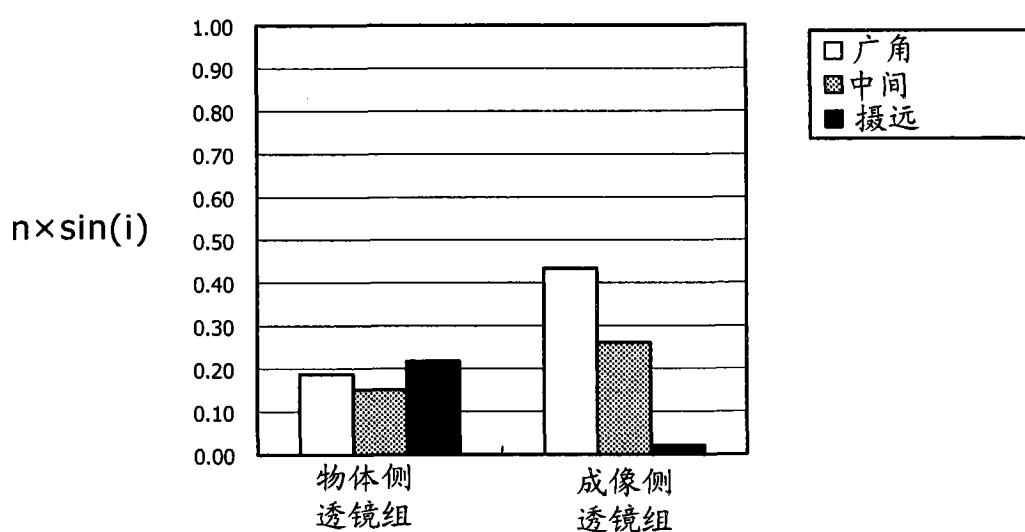
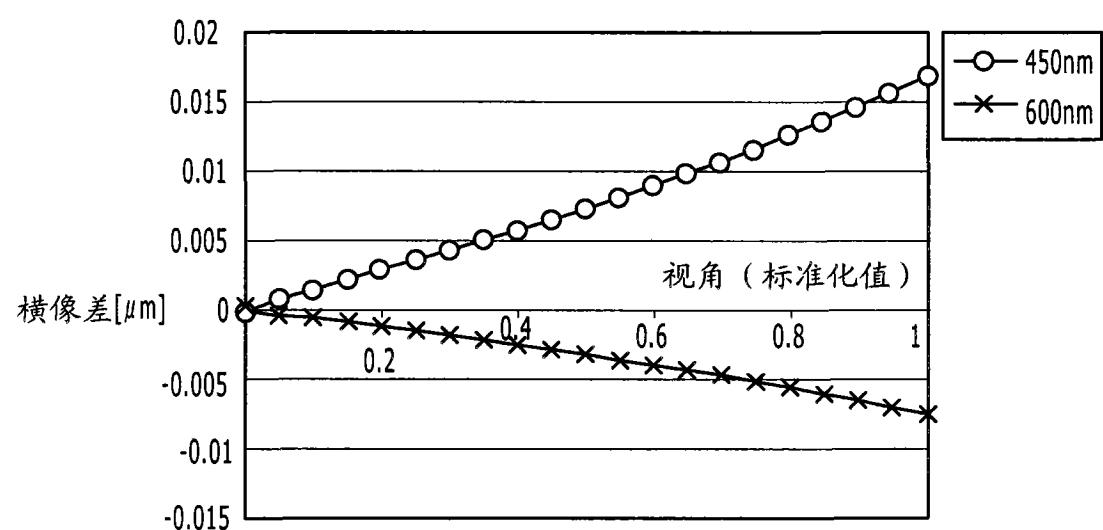
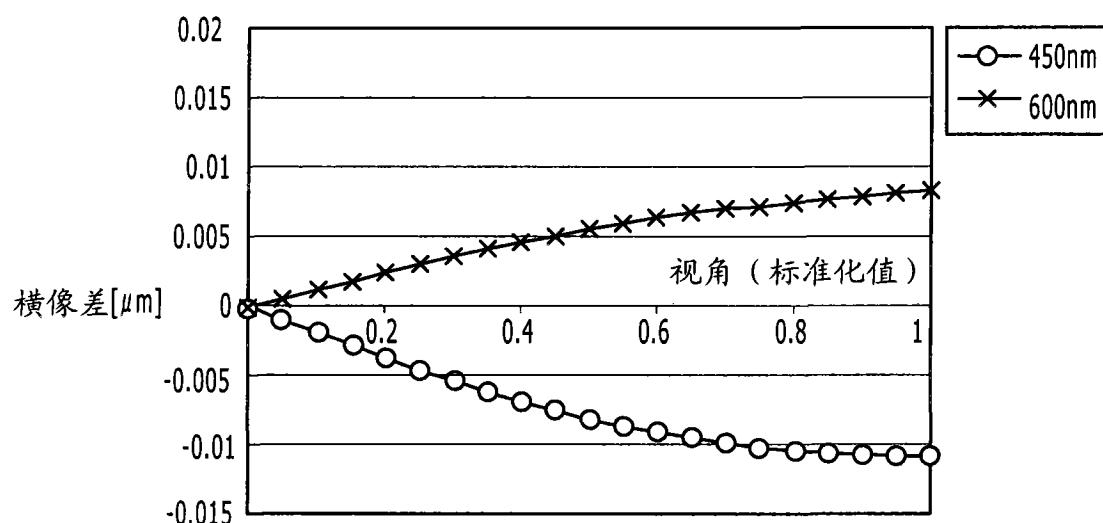


图 38



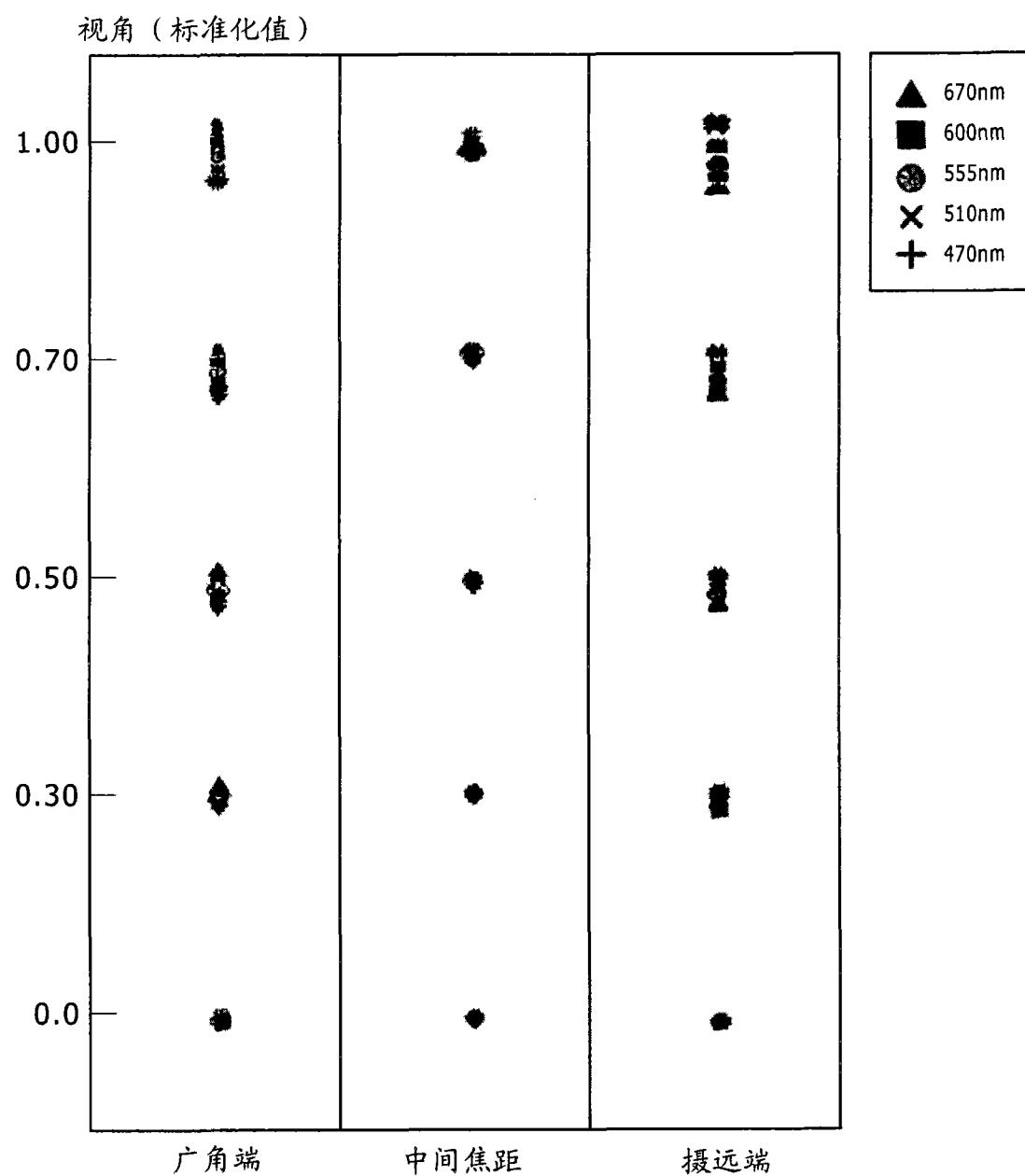


图 41

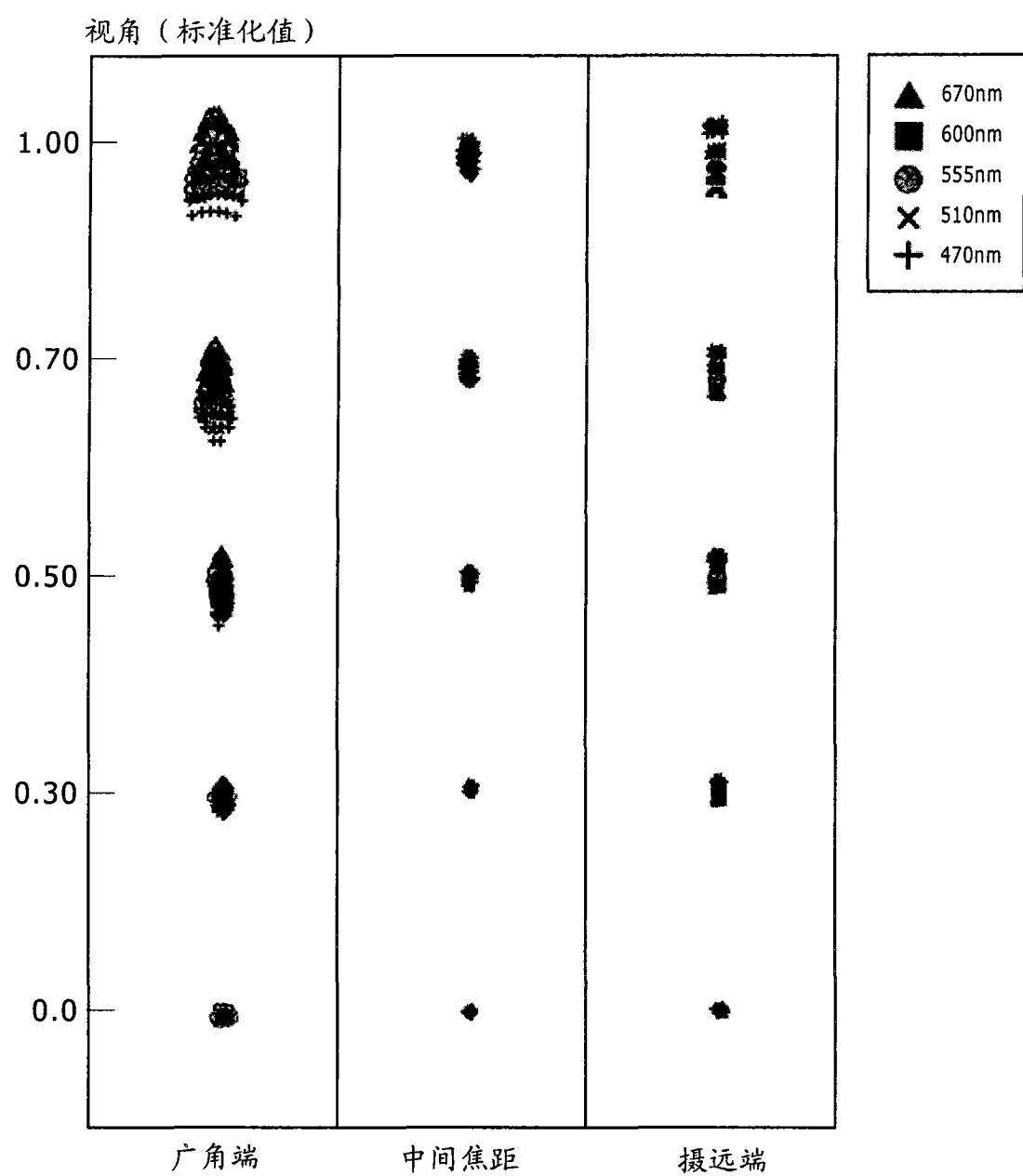


图 42

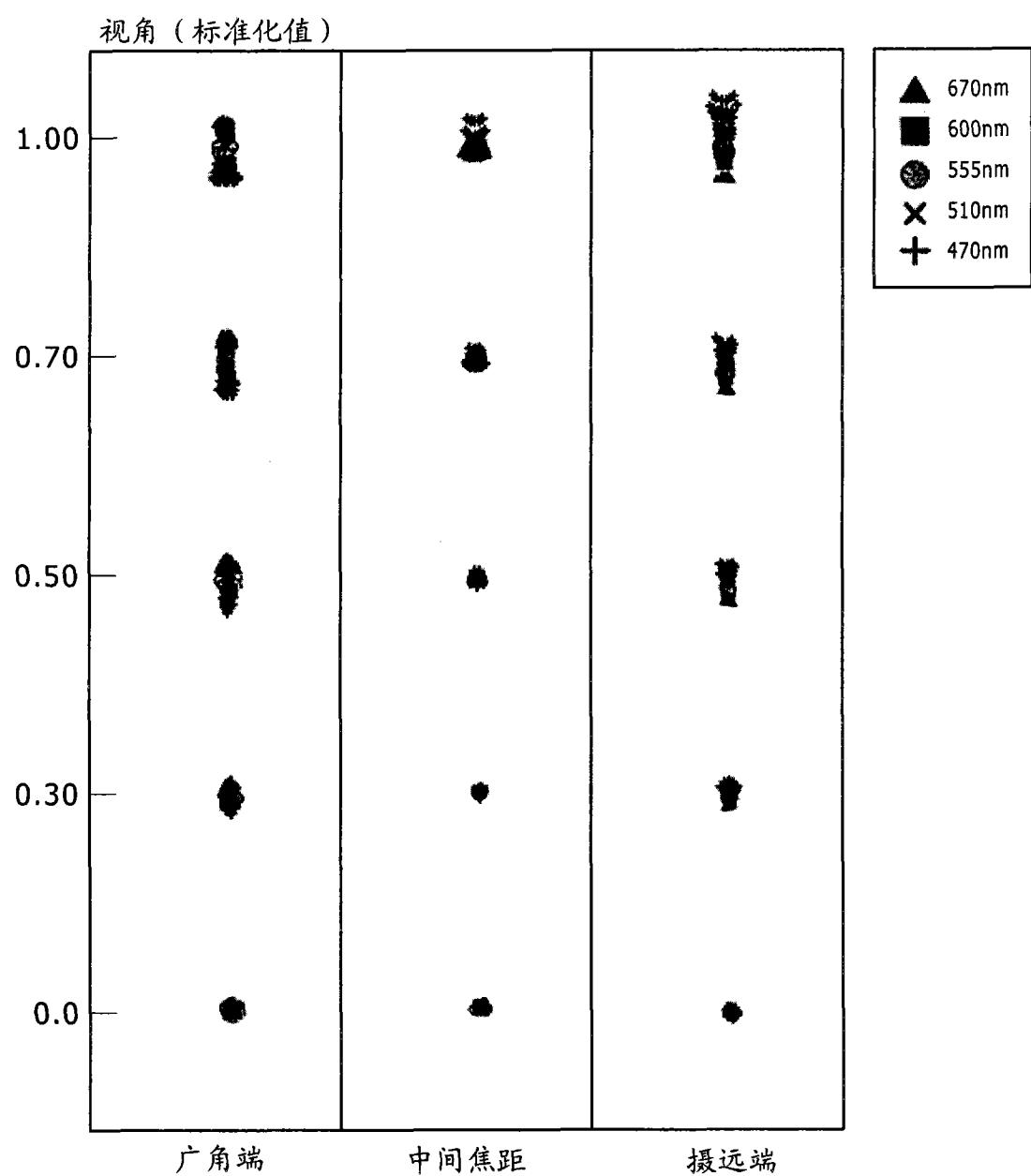


图 43

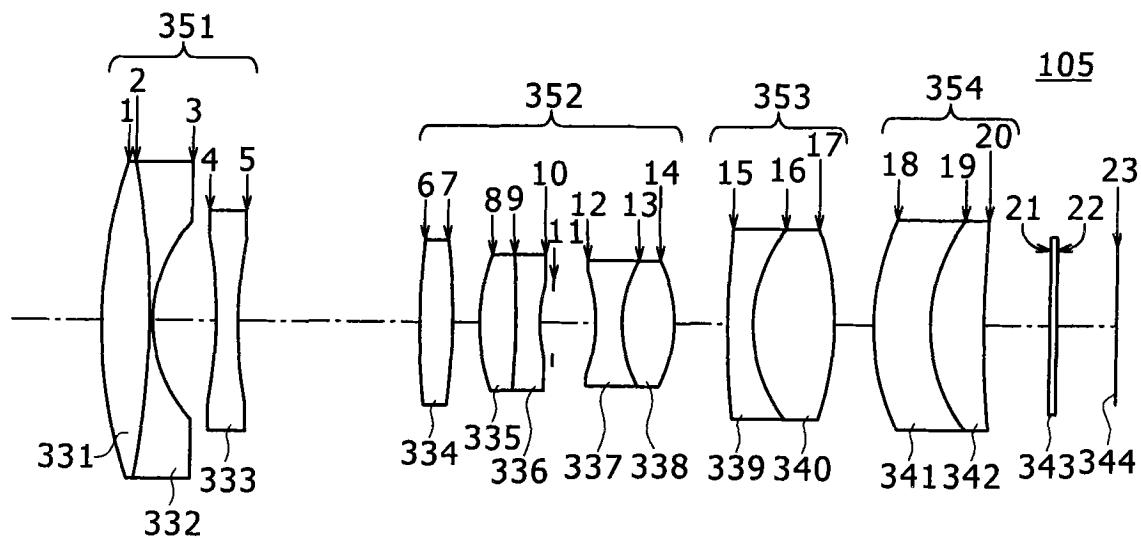


图 44A

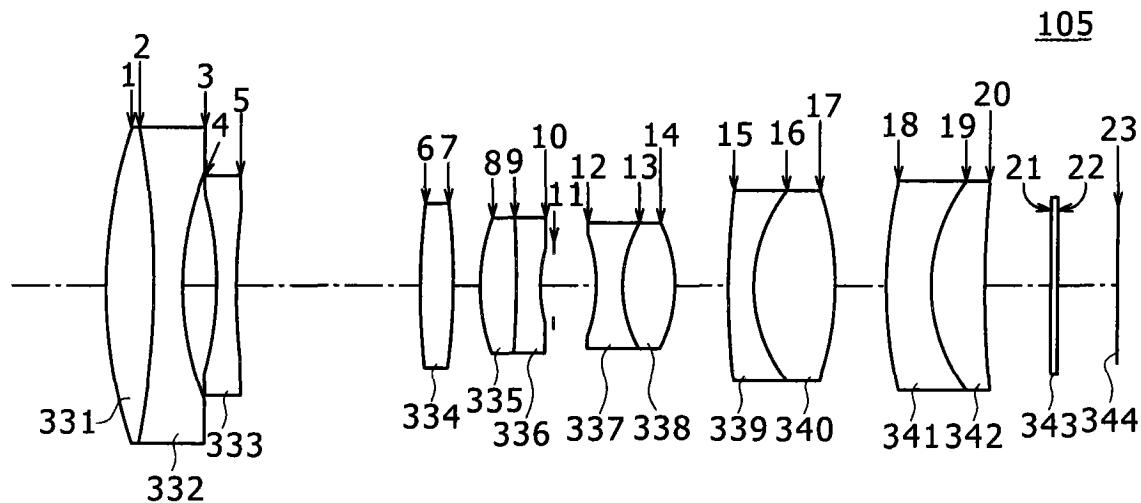


图 44B

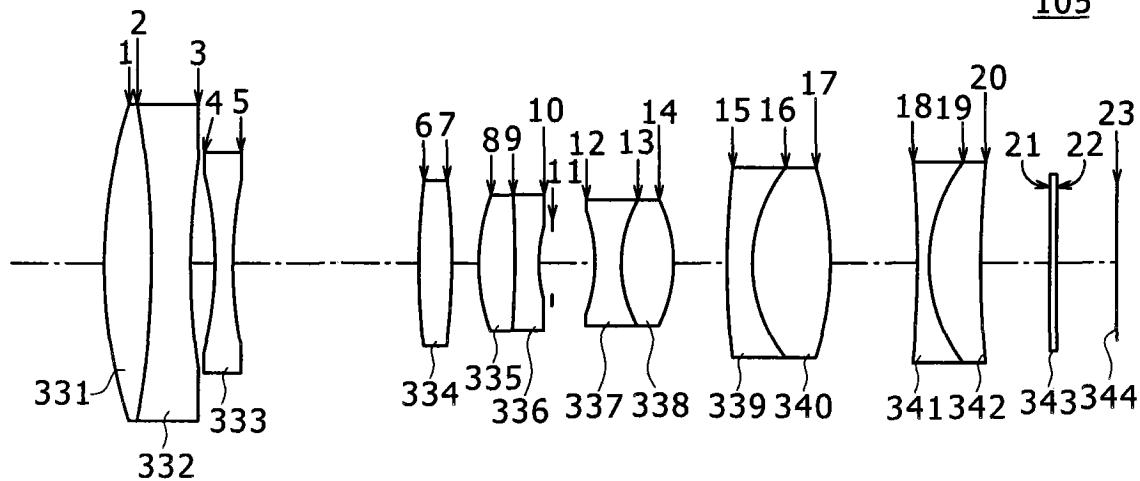
105

图 44C

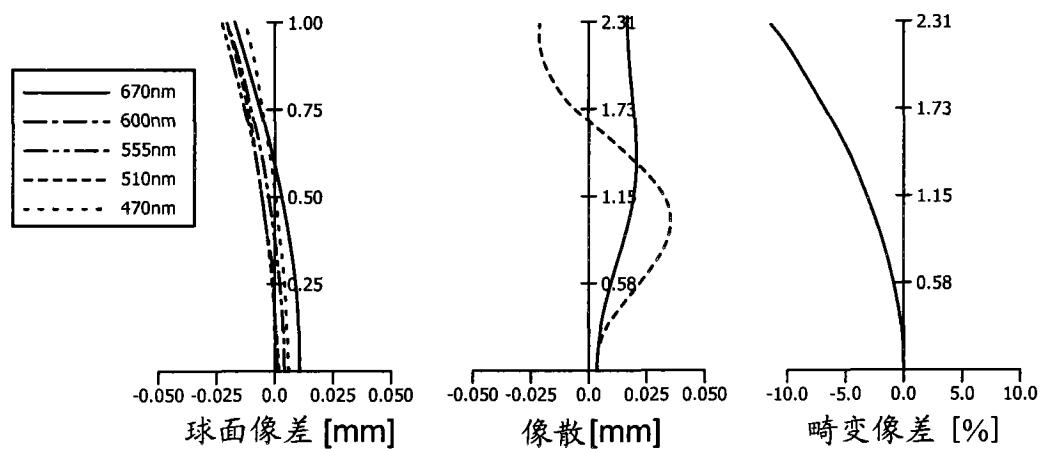


图 45A

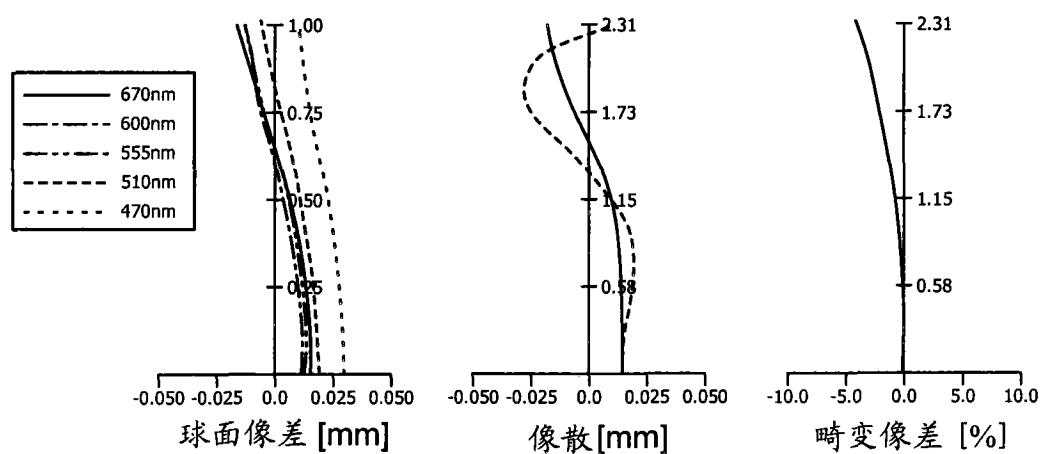


图 45B

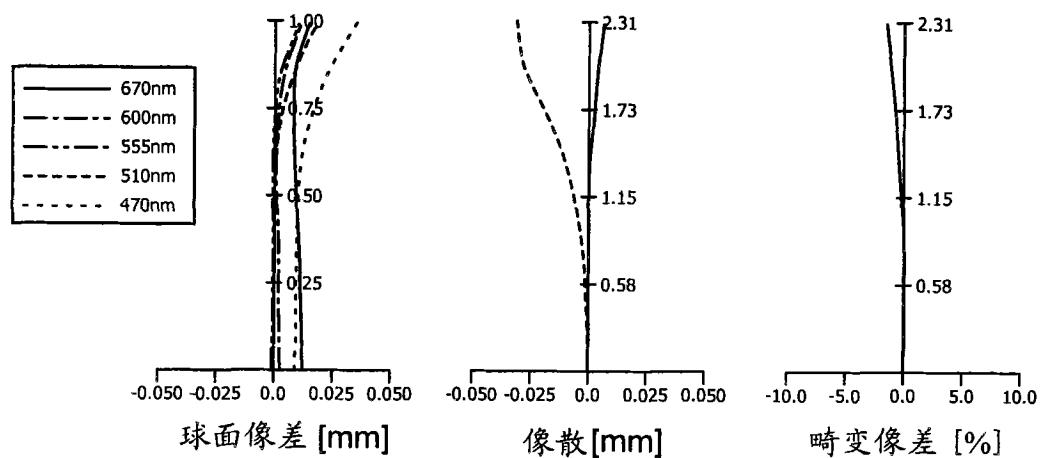


图 45C

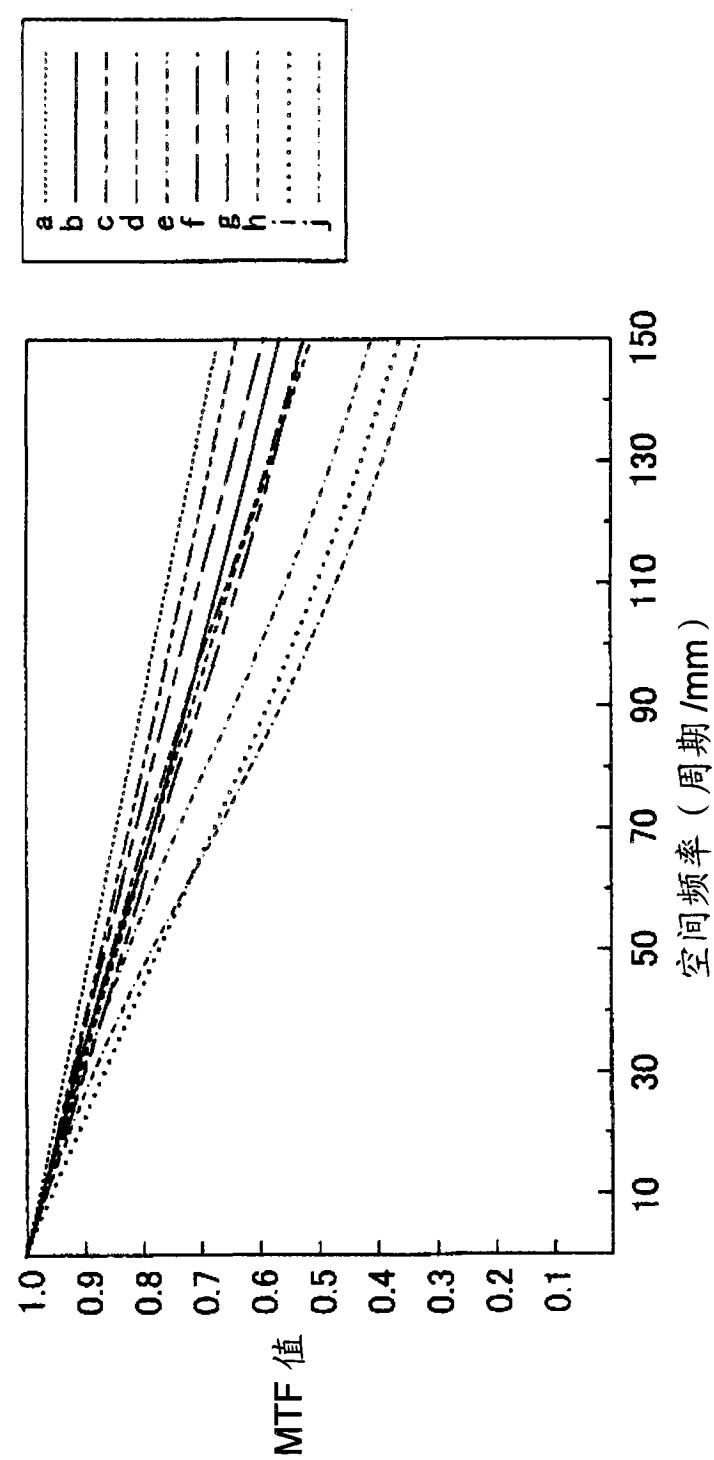


图 46A

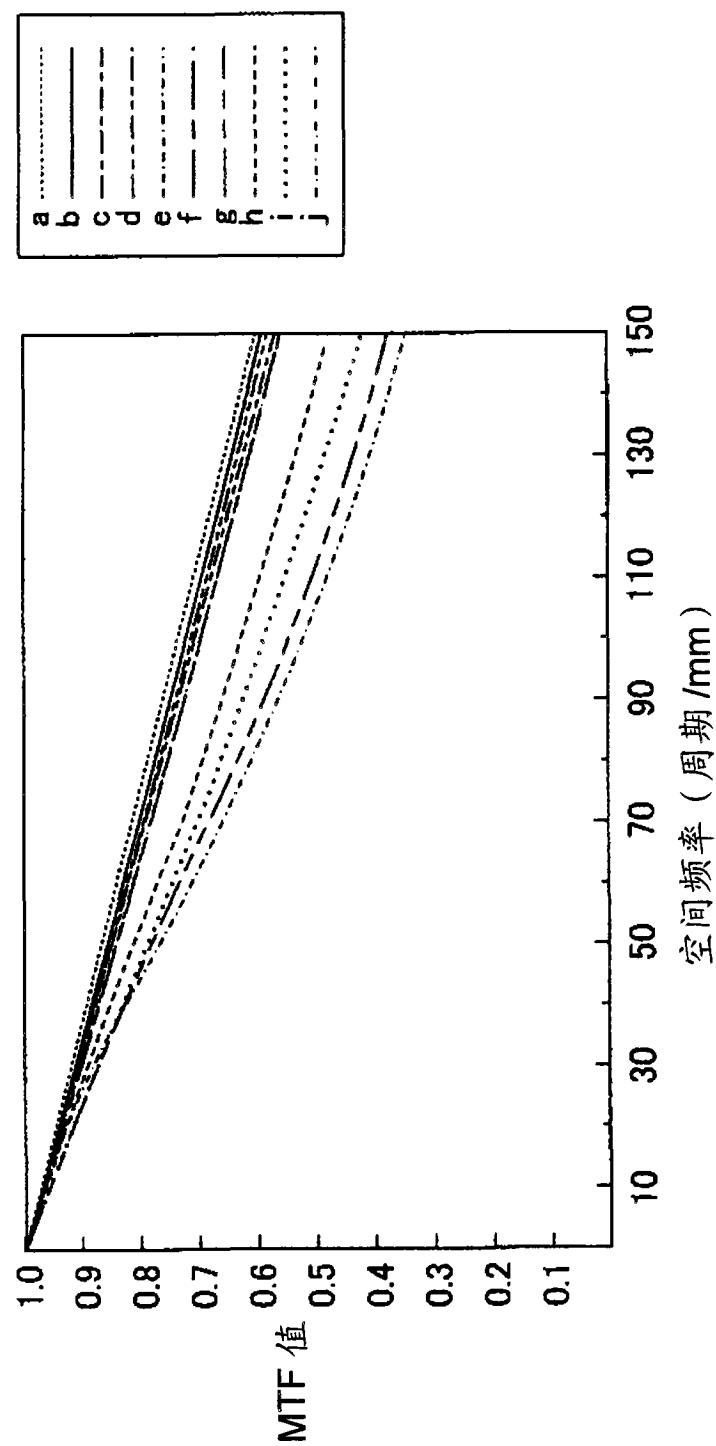


图 46B

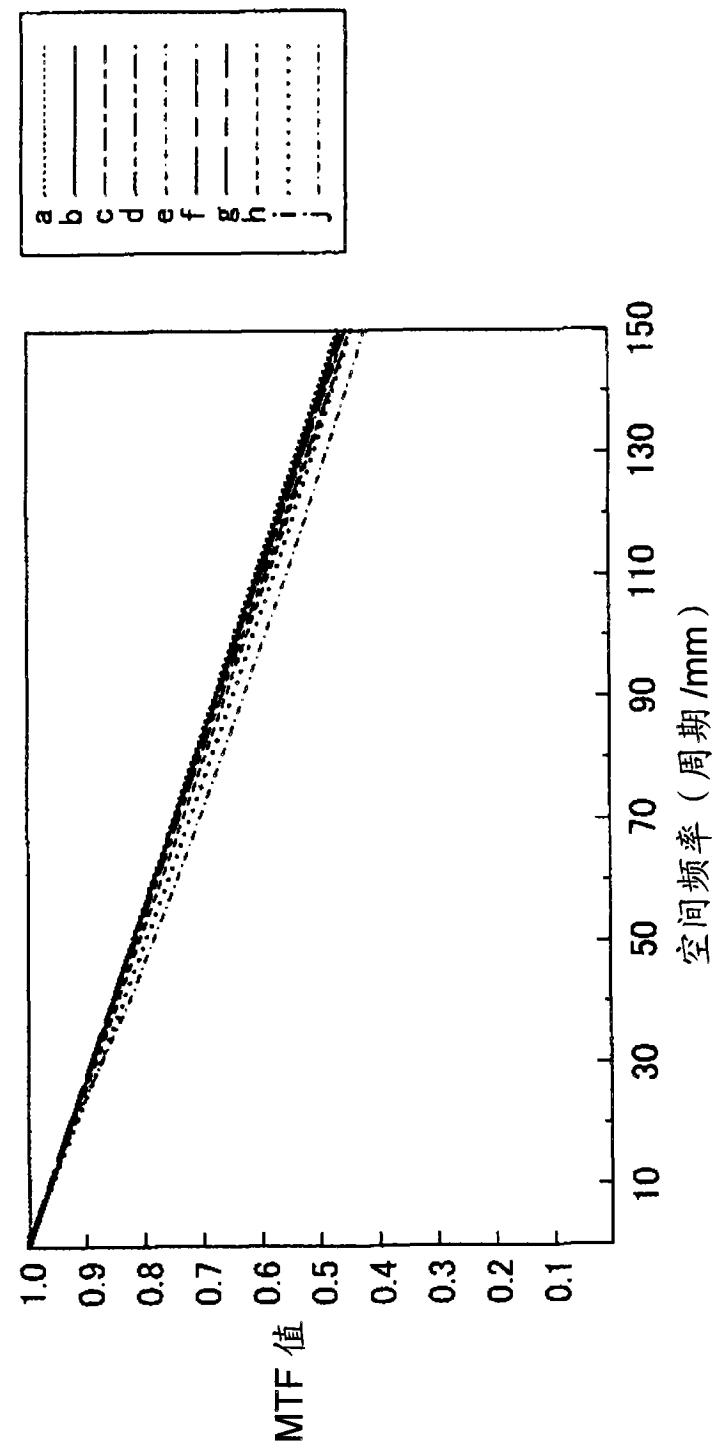


图 46C

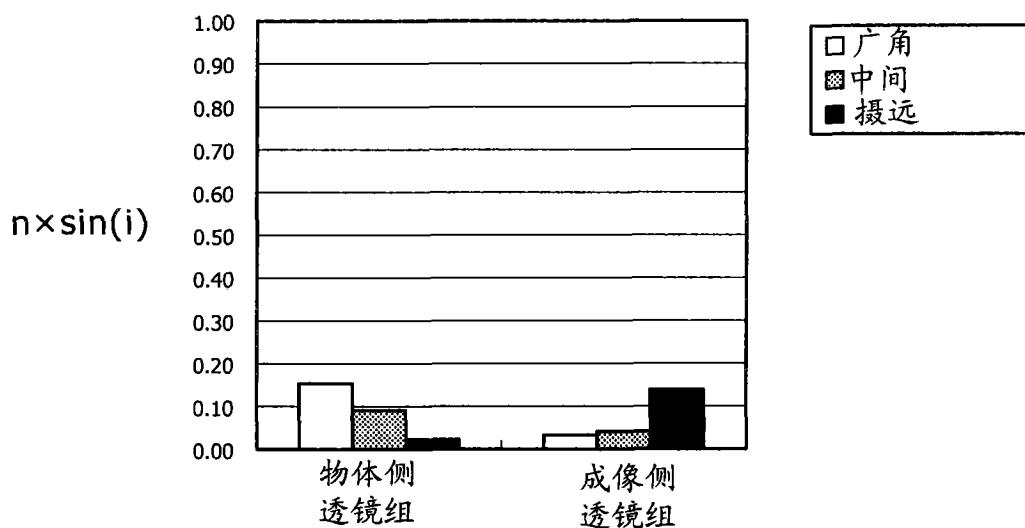


图 47

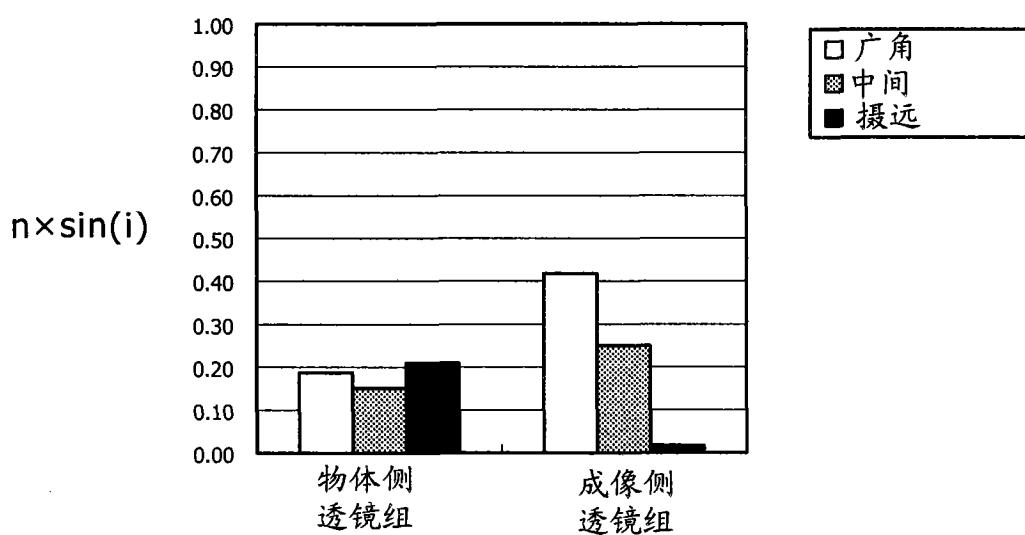


图 48

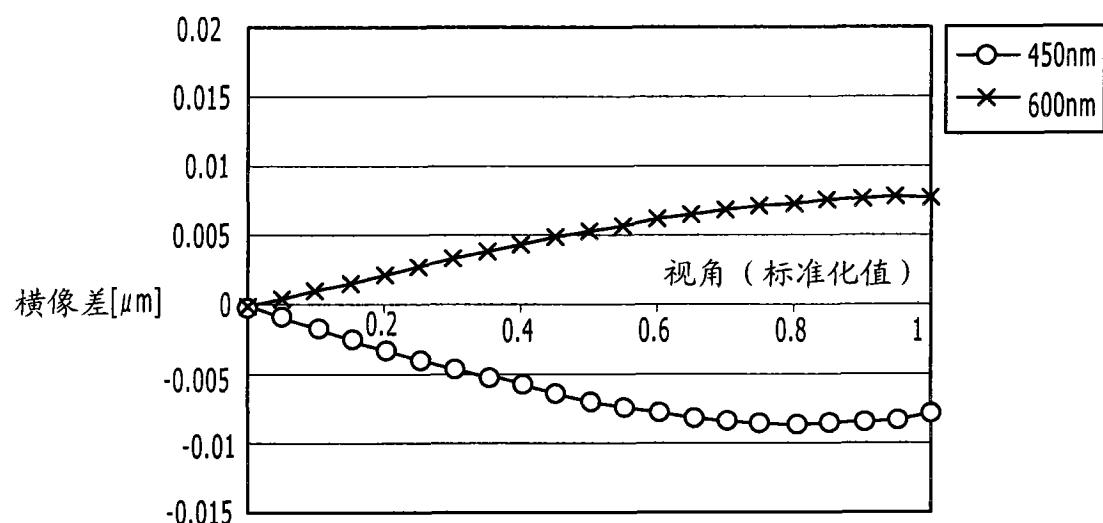


图 49

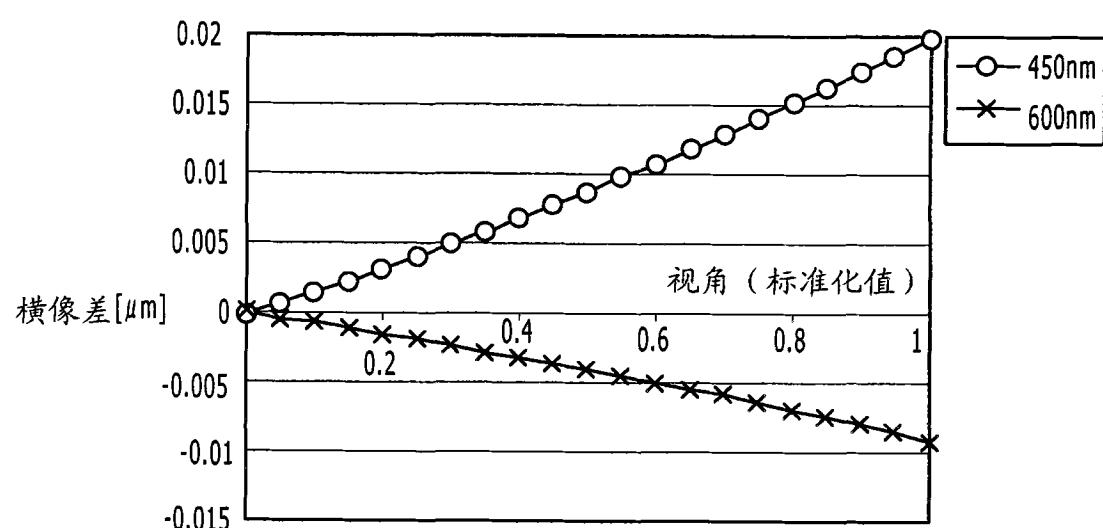


图 50

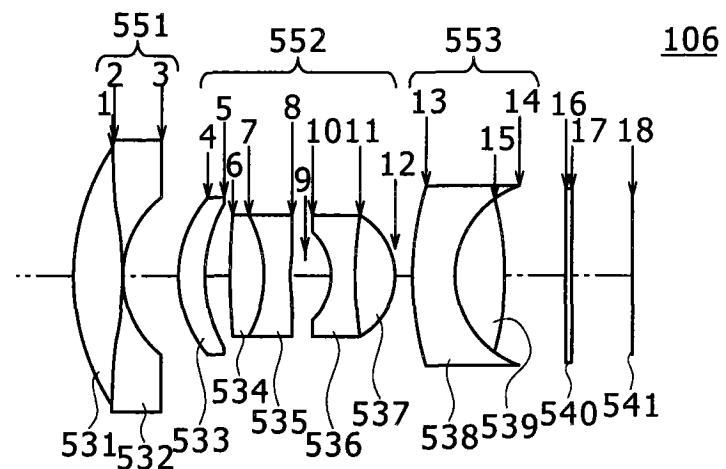


图 51A

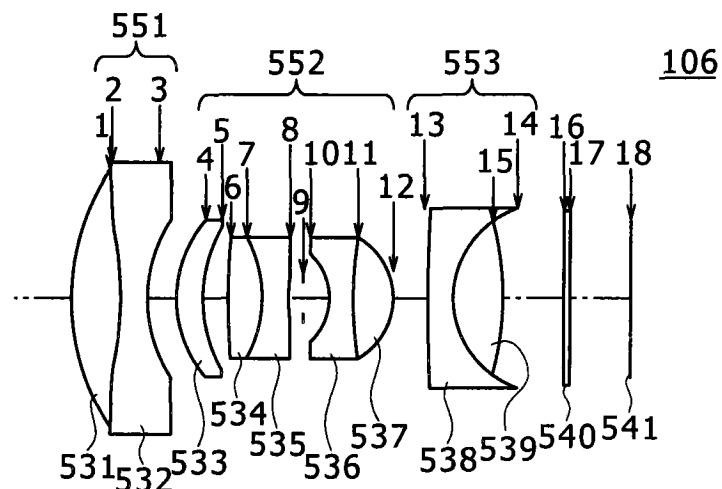


图 51B

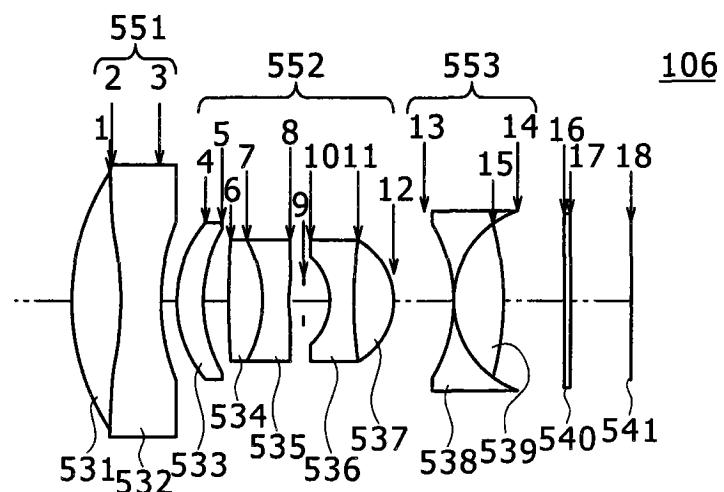


图 51C

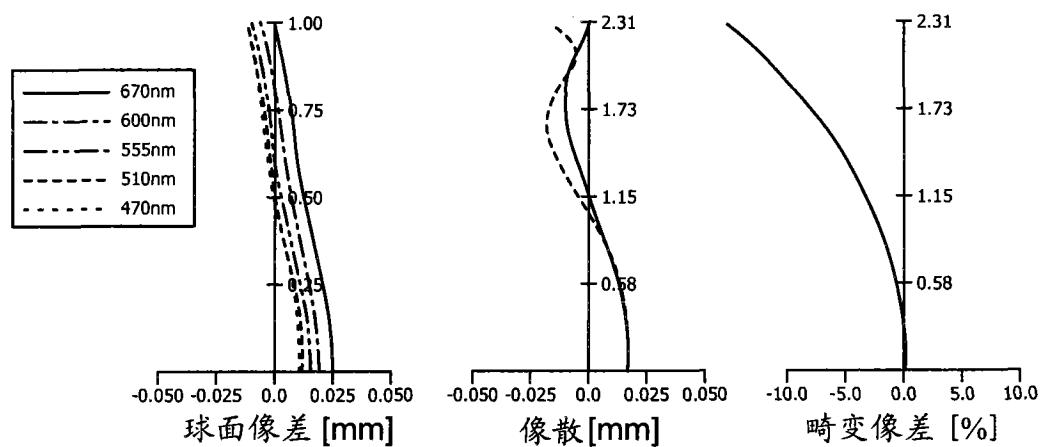


图 52A

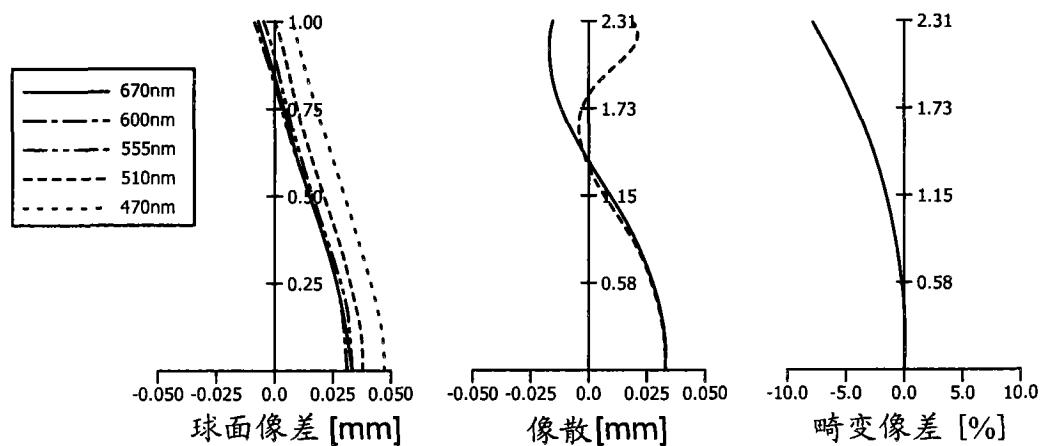


图 52B

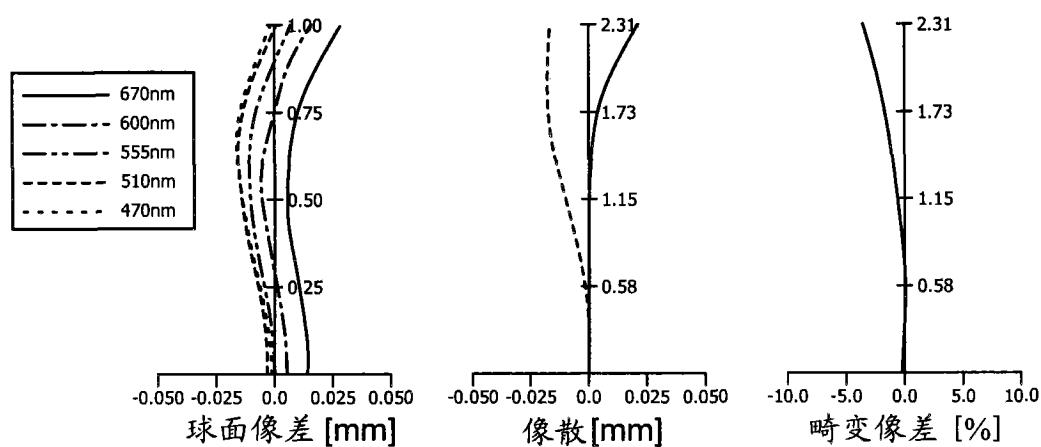


图 52C

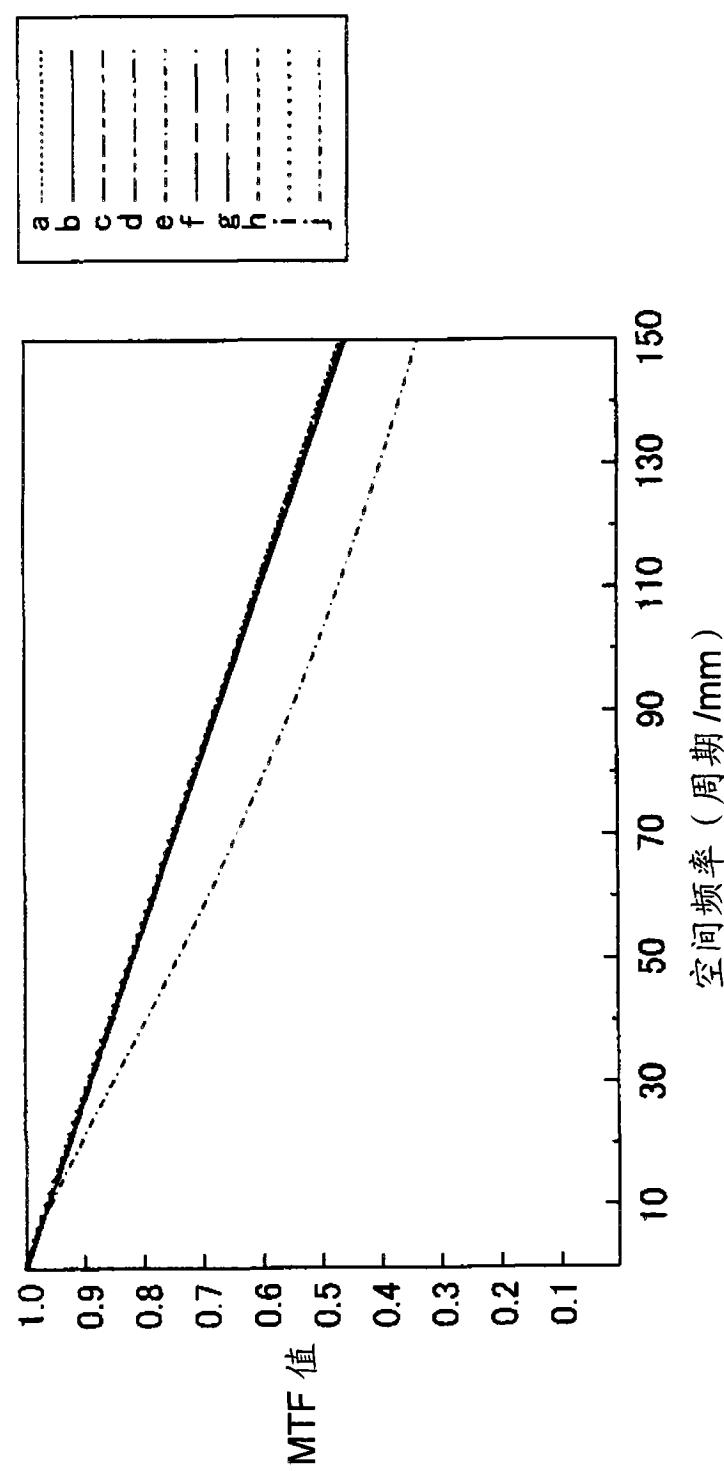


图 53A

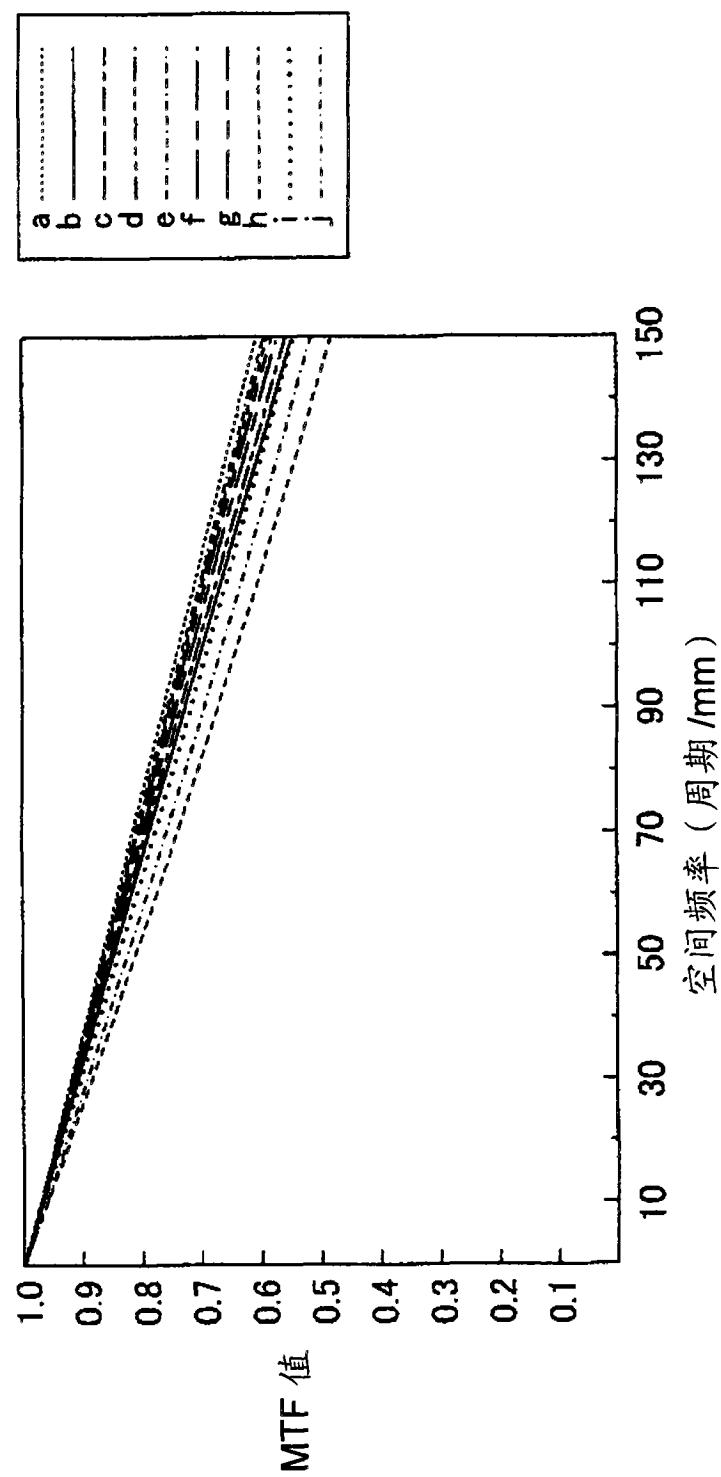


图 53B

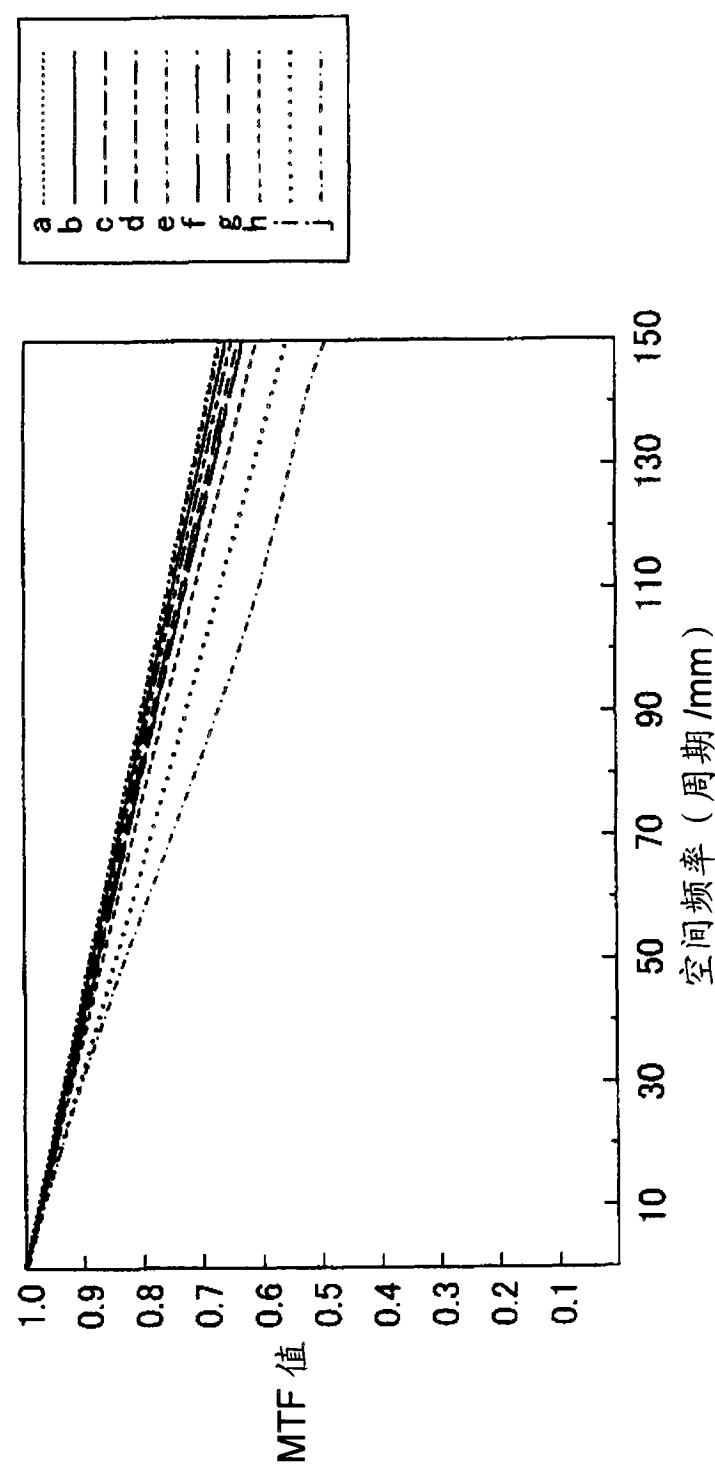


图 53C

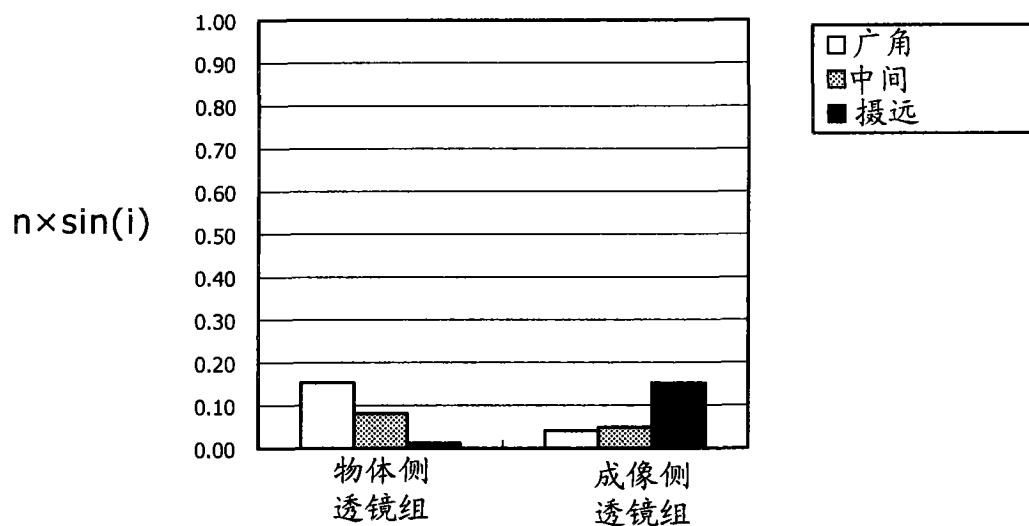


图 54

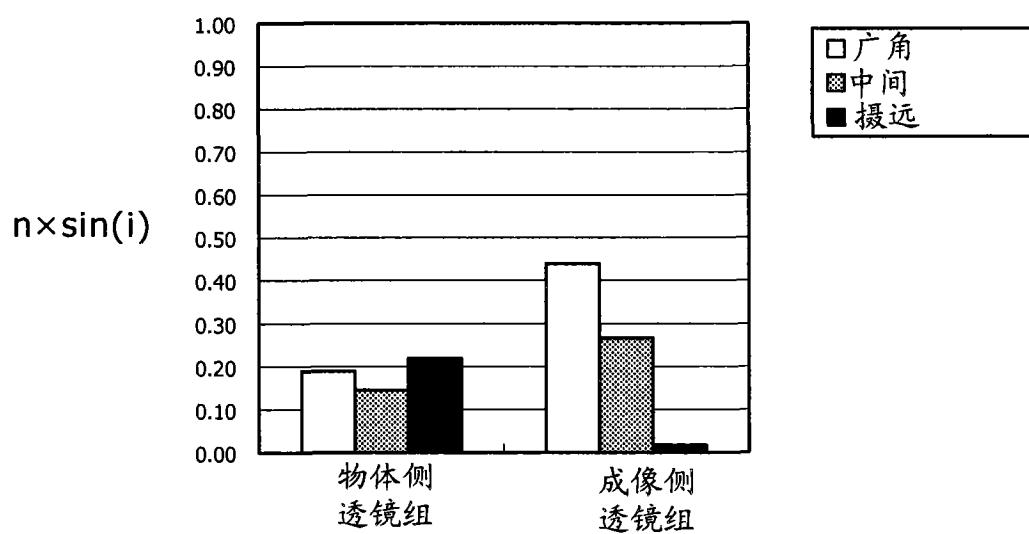


图 55

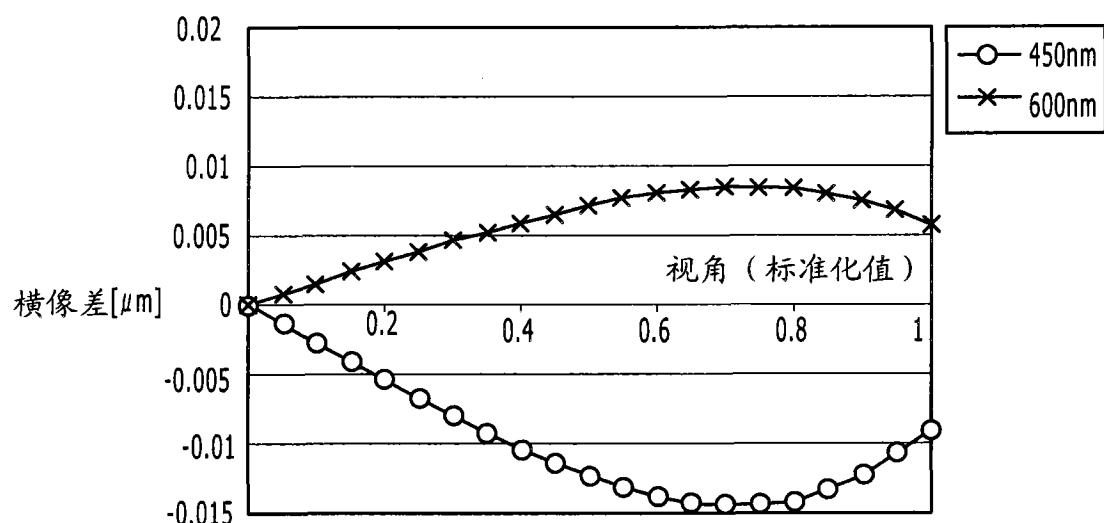


图 56

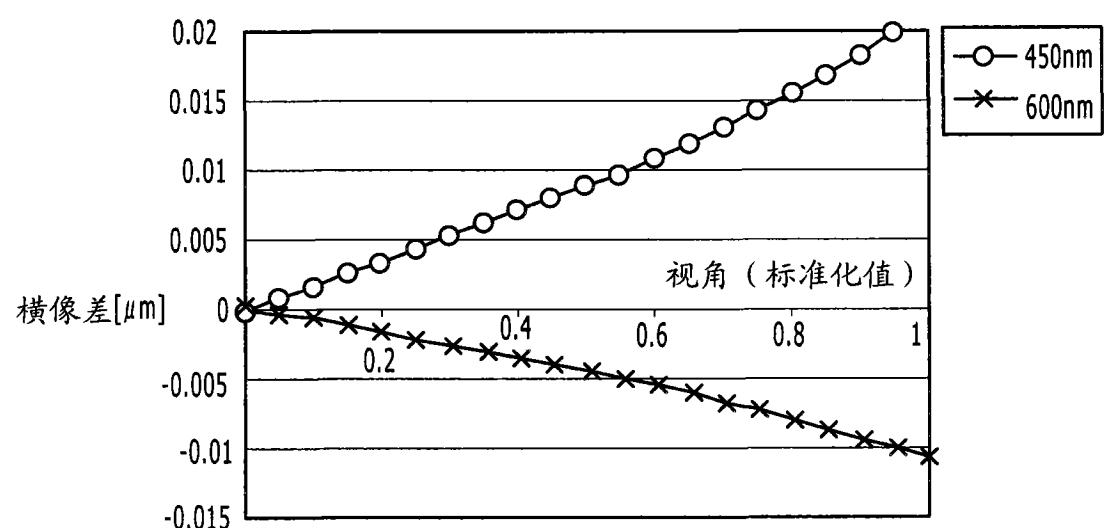


图 57

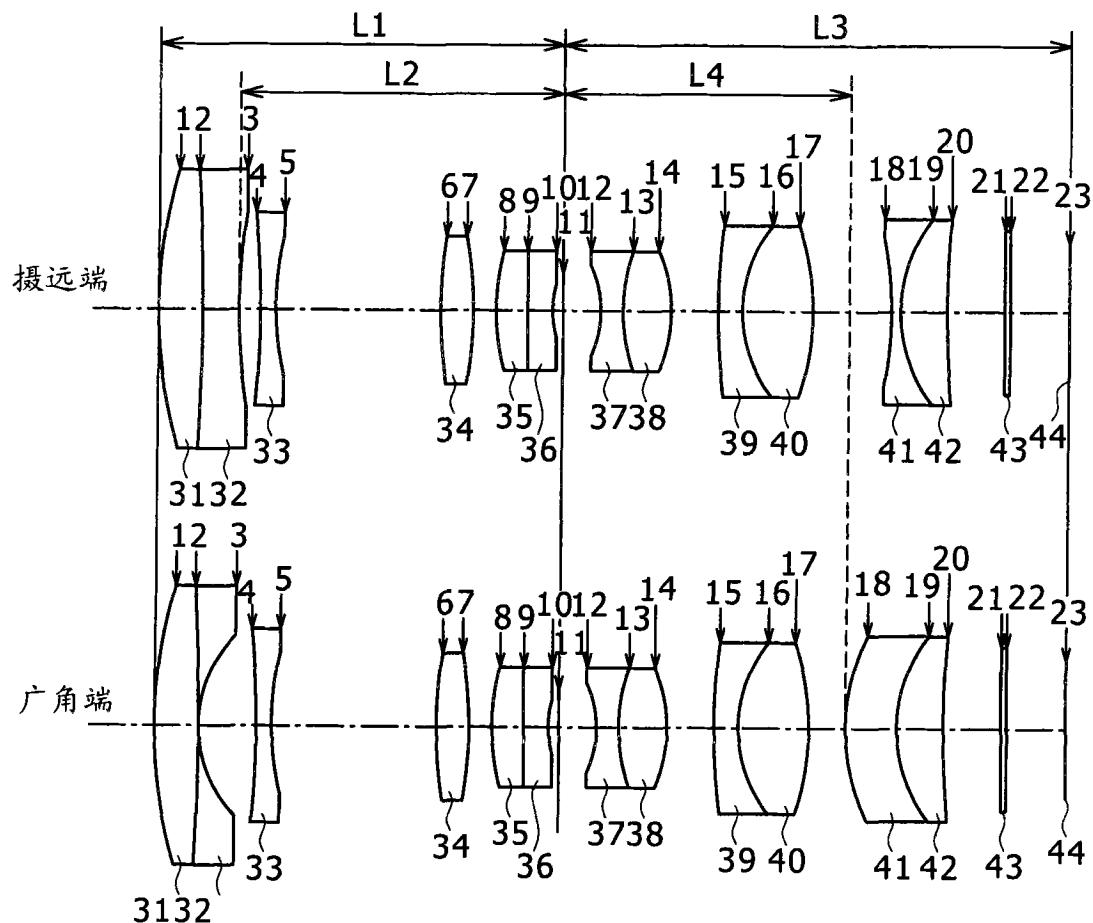


图 58

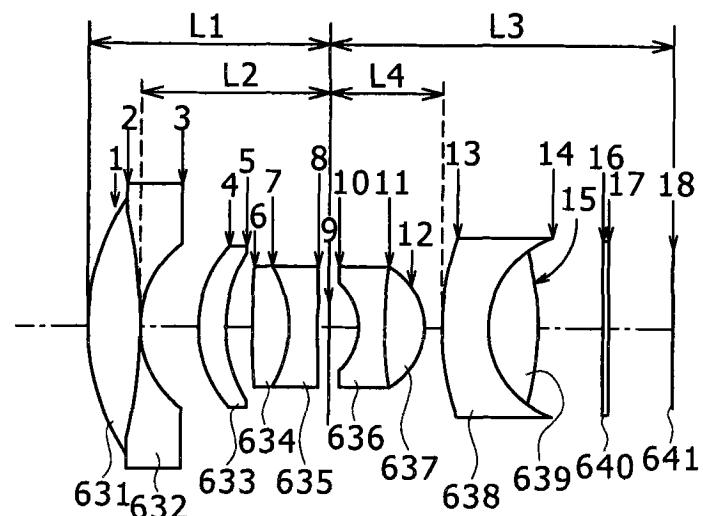


图 59

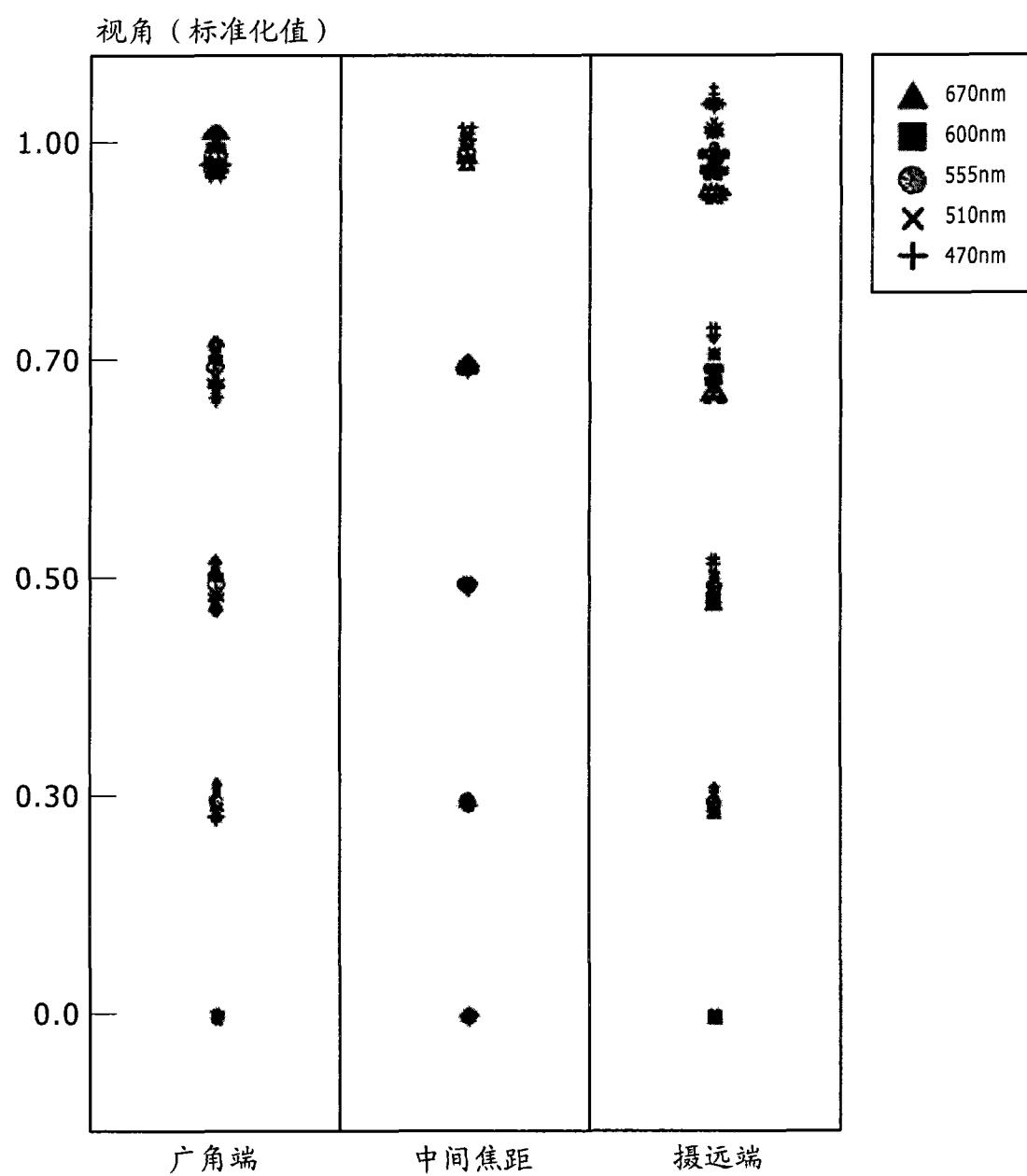


图 60

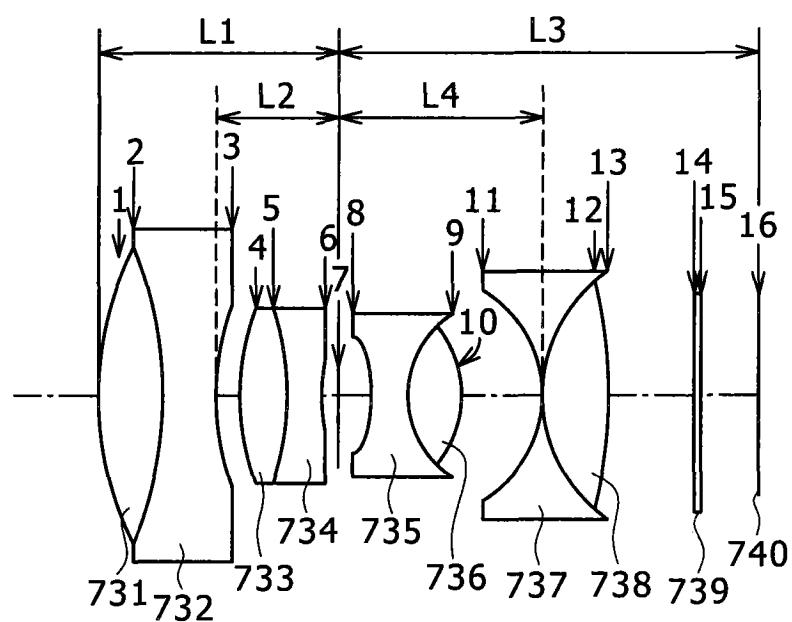


图 61

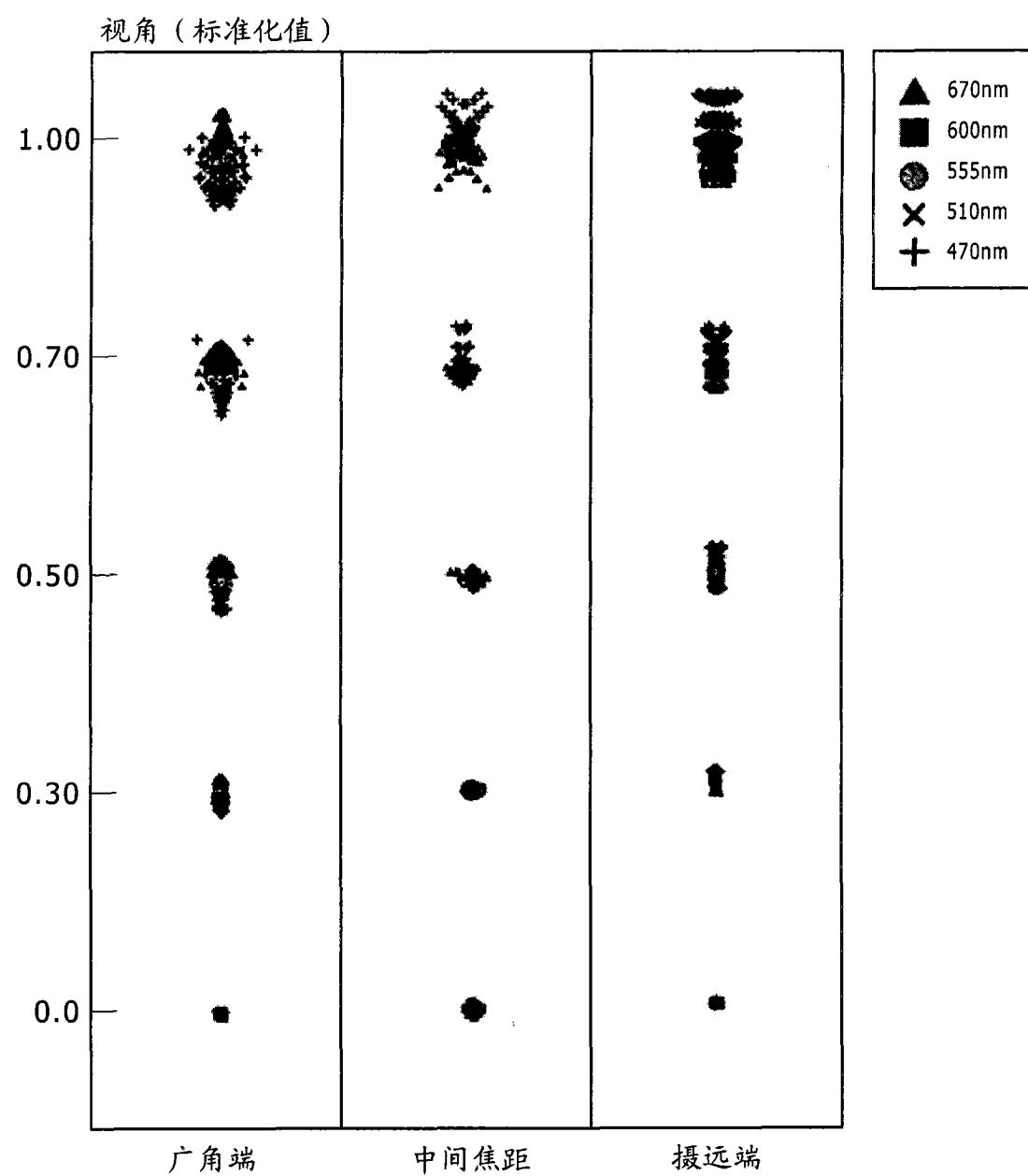


图 62

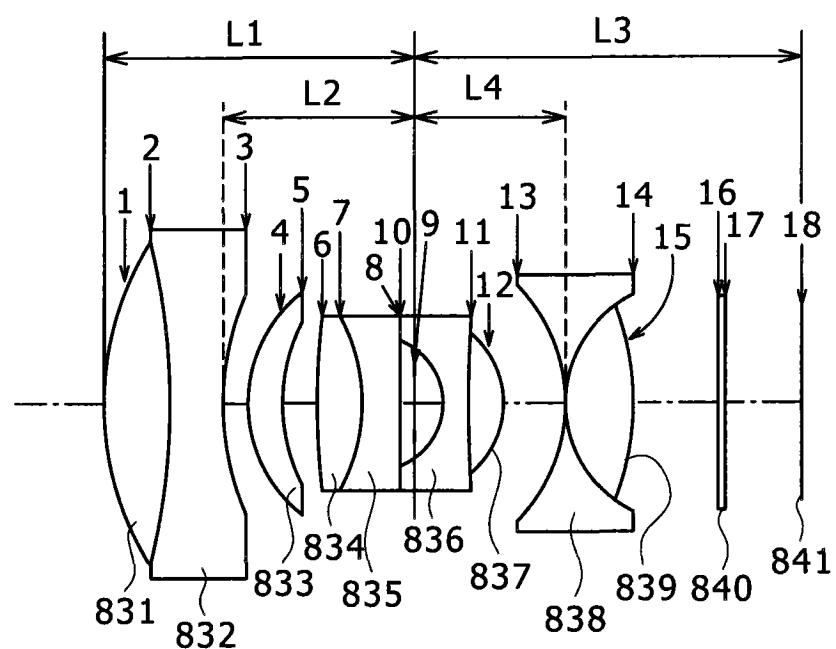


图 63

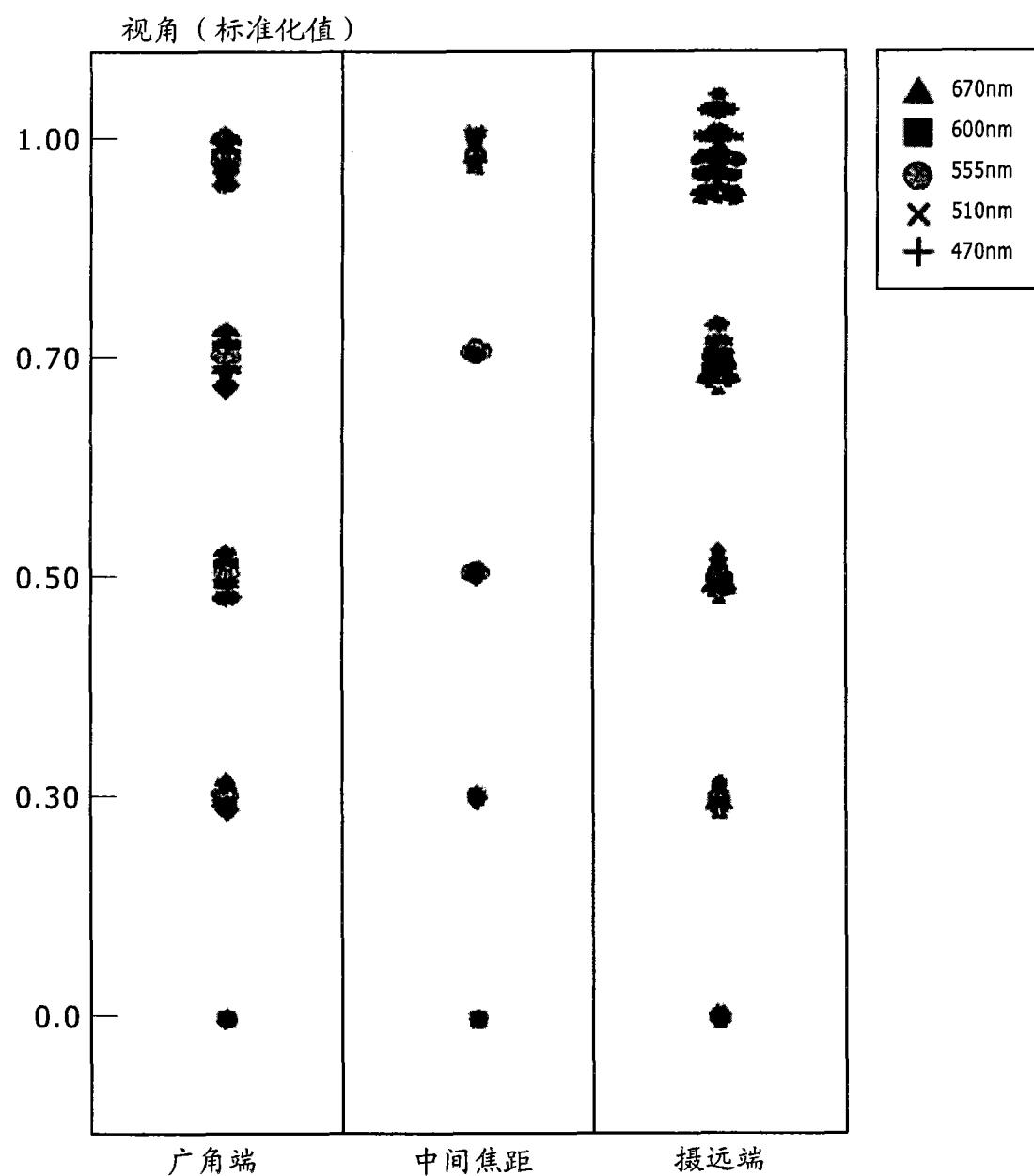


图 64

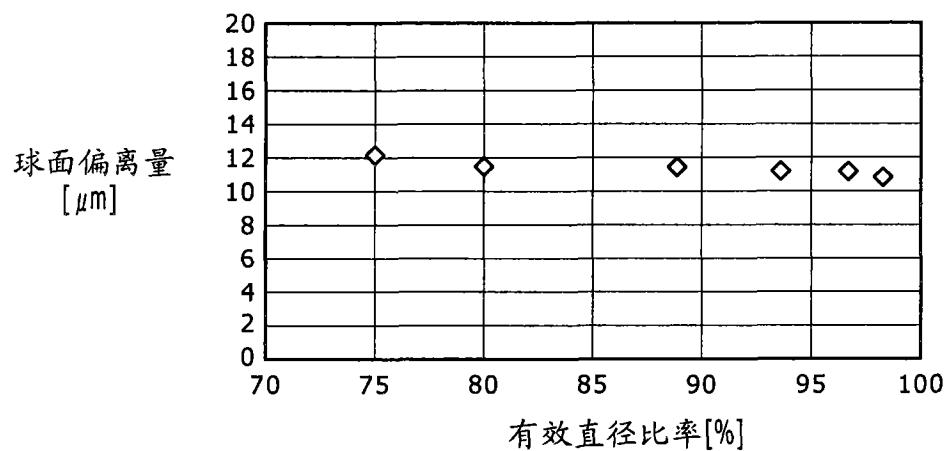


图 65

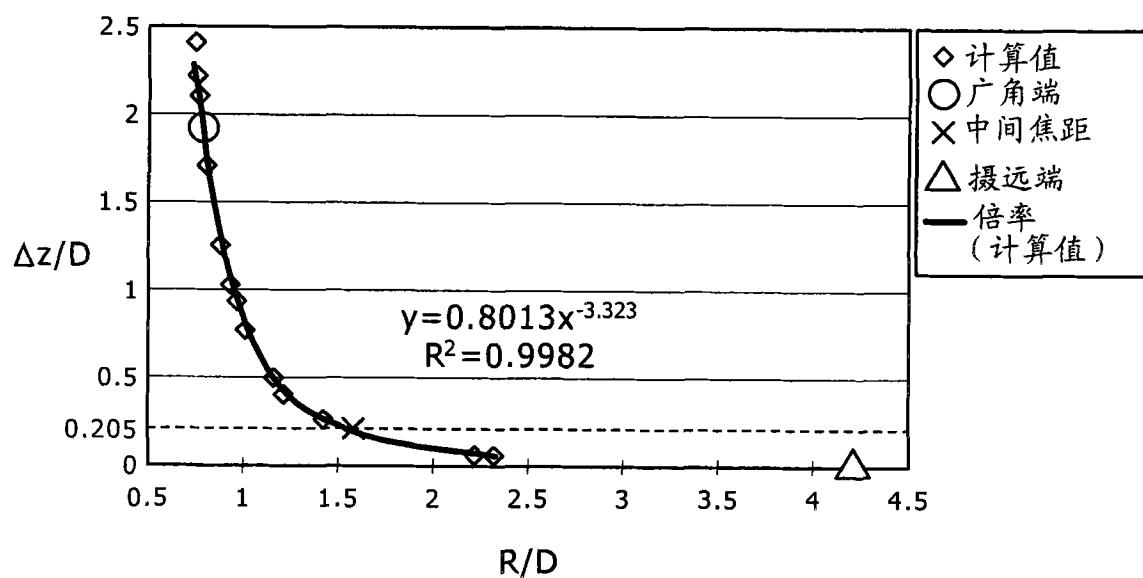


图 66

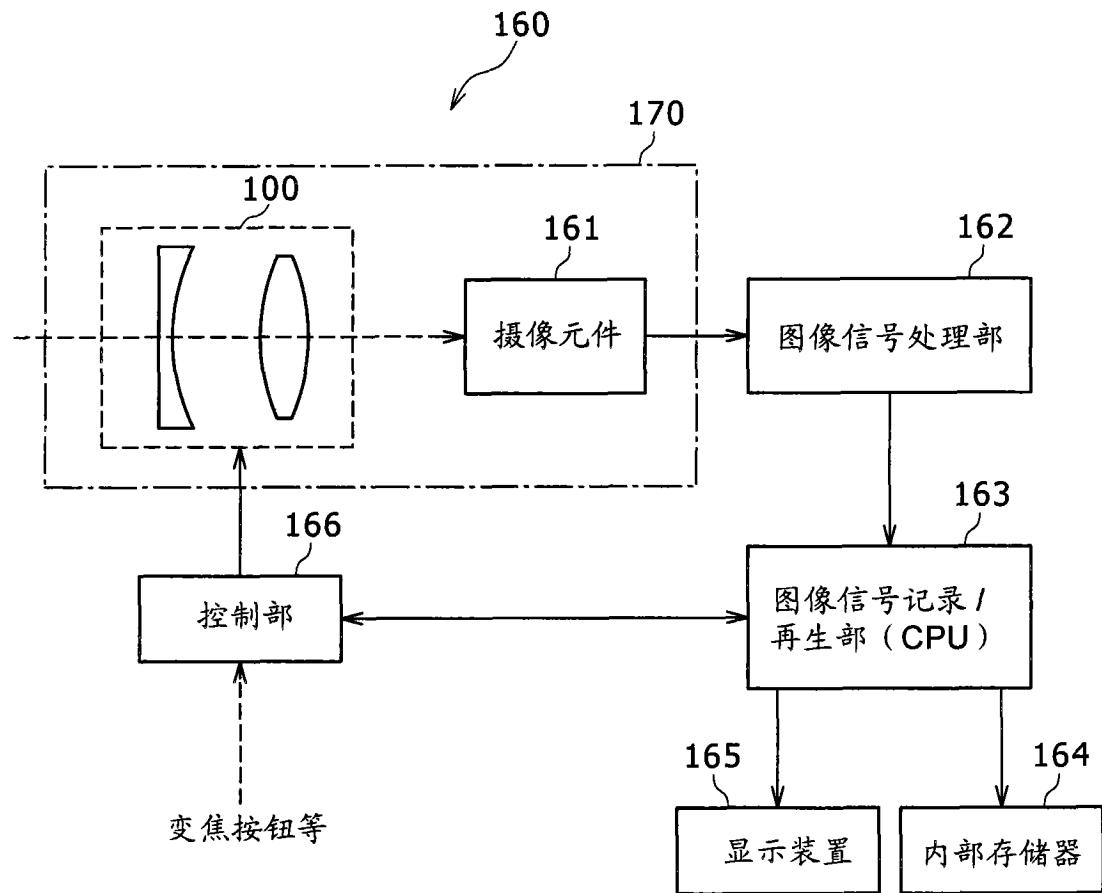


图 67

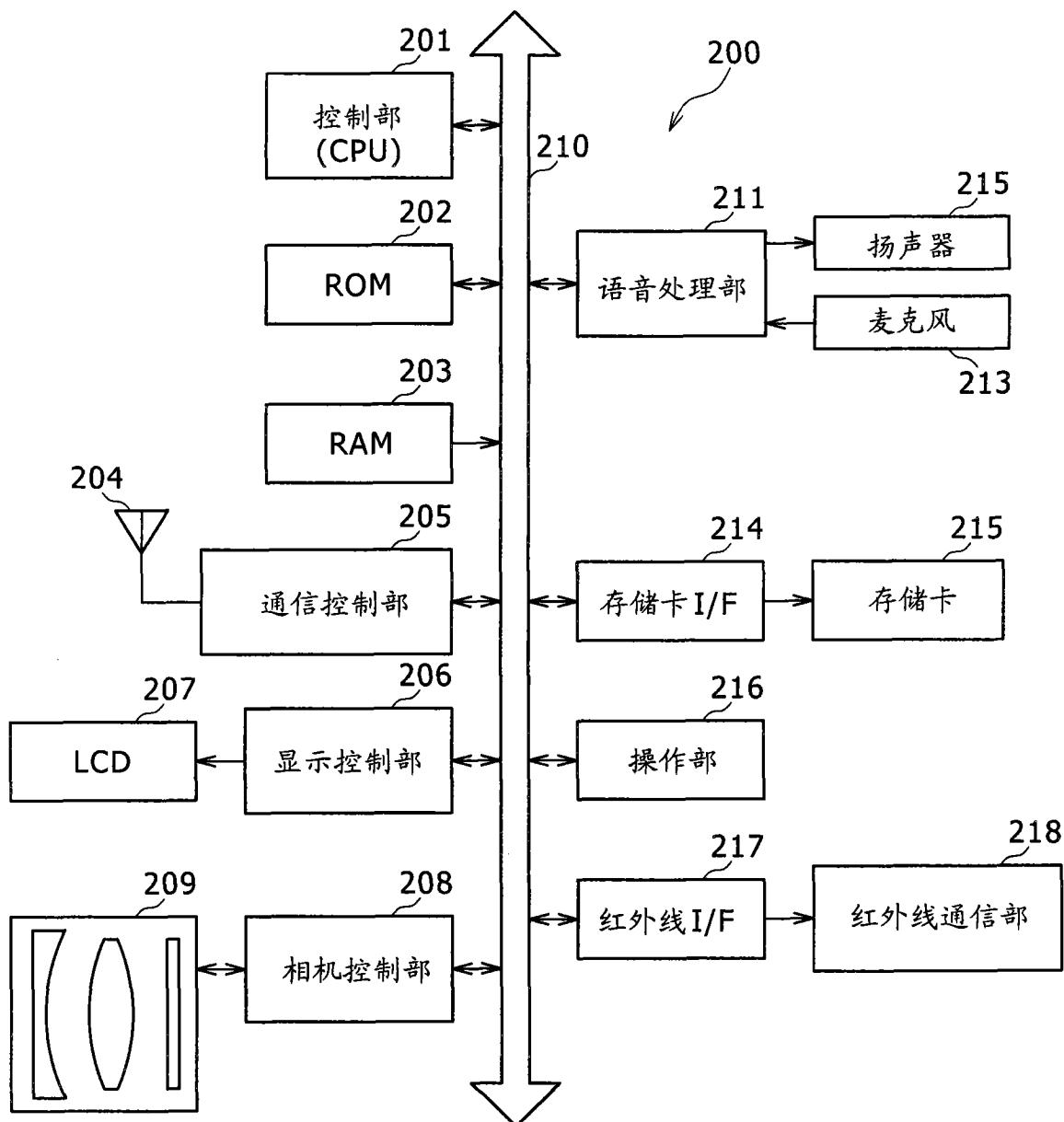


图 68

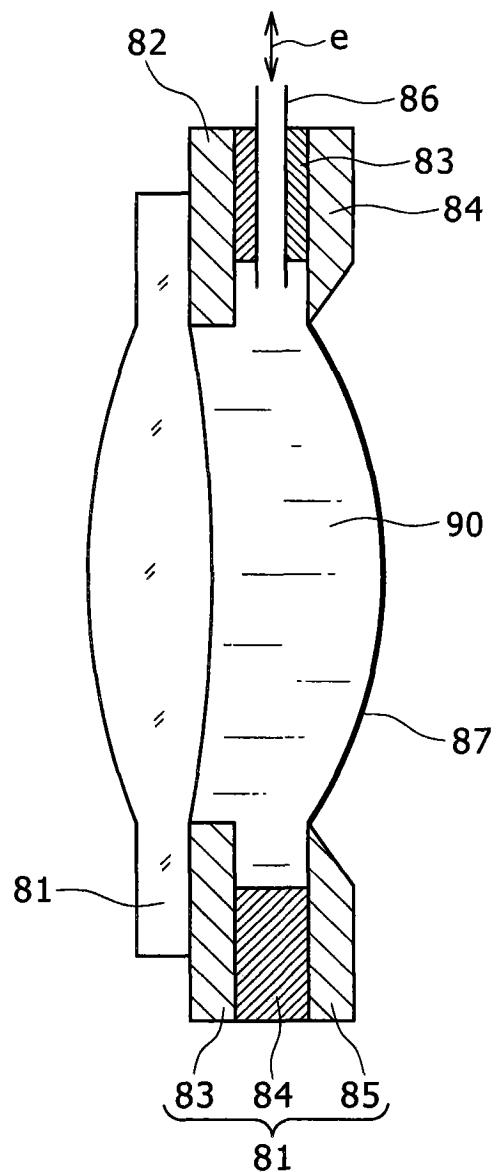


图 69