(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101437104 B
(45)授权公告日 2011.12.21

(21)申请号 200810173492.9
(22)申请日 2008.11.14
(30)优先权数据
2007-298146 2007.11.16 JP
(73)专利权人 富士能株式会社
地址 日本国埼玉县
(72)发明人 米山一也
(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021
代理人 李贵亮
(51)Int.Cl.
H04N 1/409(2006.01)
H04N 5/225(2006.01)
H04N 101/00(2006.01)
审查员 杨双翼

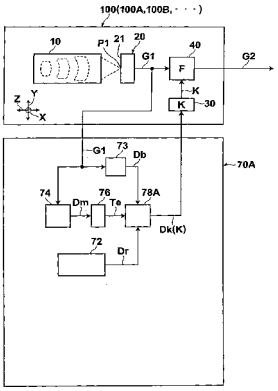
权利要求书 3 页 说明书 31 页 附图 22 页

(54)发明名称

摄像系统及其制造方法、摄像装置、移动终端设备、车载设备、及医疗设备

(57)摘要

本发明提供一种摄像系统，其使对投影到受光面上的光学像进行拍摄而获得的图像数据的质量容易得到提高。在通过摄像透镜(10)投影到摄像元件(20)的受光面(21)上的点像(P1)的有效区域的最大直径是涉及3像素以上的大小时，将与用从摄像元件(20)输出的第1图像数据(G1)表示的点像(P1)的状态对应的复原系数(K)存储在系数存储部(30)中。在信号处理部(40)中，利用复原系数(K)对第1图像数据(G1)实施复原处理(F)，以在摄像透镜(10)的分辨率高时生成与从摄像元件(20)输出的第1图像数据同等的第2图像数据(G2)。摄像透镜从物侧起依次具有：至少由1片透镜构成的、具有正的光焦度的第1透镜组；以及至少由1片透镜构成的、最靠像侧的透镜具有负的光焦度的第2透镜组。



CN 101437104 B

1. 一种摄像系统，其特征在于，具有：

摄像透镜；

摄像元件，具有二维状排列多个受光像素而成的受光面，且对通过上述摄像透镜投影到上述受光面上的被摄体的光学像进行拍摄而输出表示该被摄体的第 1 图像数据；

系数存储单元，在通过上述摄像透镜投影到上述受光面上的点像的有效区域的最大直径是涉及 3 像素以上的大小时，对与由从上述摄像元件输出的第 1 图像数据表示的上述点像的状态对应的复原系数进行存储；及

信号处理单元，利用上述复原系数对上述第 1 图像数据实施在上述摄像透镜的分辨率高时生成与从上述摄像元件输出的第 1 图像数据同等的第 2 图像数据的复原处理；

上述信号处理单元将由上述受光面上的纵向 3 像素以上及横向 3 像素以上构成的涉及合计 9 像素以上的像素区域作为最小单位进行上述复原处理；

上述摄像透镜从物侧起依次具有：由至少 1 片透镜构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组，以及由至少 1 片透镜构成的、位于最靠像侧的透镜具有负的光焦度的第 2 透镜组。

2. 根据权利要求 1 所述的摄像系统，其特征在于，上述系数存储单元按每个摄像系统存储对该摄像系统单独求出的复原系数。

3. 根据权利要求 1 所述的摄像系统，其特征在于，上述系数存储单元存储从与分为多个种类的点像的各状态对应的各复原系数的候补中按照上述第 1 图像数据表示的点像的状态所选择出的复原系数。

4. 根据权利要求 1 所述的摄像系统，其特征在于，上述系数存储单元存储通过从与分为多个种类的该点像的各状态对应的多种复原系数的候补中按照上述第 1 图像数据表示的该点像的状态所选择出的复原系数进一步根据点像的状态进行校正而成的已校正的复原系数。

5. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的摄像系统，其特征在于，还 具有取得上述复原系数并存储在上述系数存储单元中的复原系数取得单元。

6. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的摄像系统，其特征在于，上述信号处理单元将包含投影到上述受光面上的点像的有效区域的全部的最小像素区域作为最小单位而执行上述复原处理。

7. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的摄像系统，其特征在于，上述信号处理单元进行上述复原处理，使得上述第 2 图像数据表示的图像中的上述点像的有效区域的大小小于上述第 1 图像数据表示的图像中的点像的有效区域的大小。

8. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的摄像系统，其特征在于，上述第 2 透镜组中的位于最靠像侧的透镜面具有轴外曲点。

9. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的摄像系统，其特征在于，上述第 2 透镜组中的位于最靠像侧的透镜面，在该透镜面的中心部向像侧呈凹面，在周边部向像侧呈凸面。

10. 根据权利要求 8 所述的摄像系统，其特征在于，上述第 2 透镜组中的位于最靠像侧的透镜的透镜面满足条件式 (1)：$0.5H < h < H$，

式中，H 是第 2 透镜组中的位于最靠像侧的透镜面的有效半径，

h 是第 2 透镜组中的位于最靠像侧的透镜面的从轴外曲点到光轴的距离。

11. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的摄像系统，其特征在于，上述摄像透镜由 3 片

单透镜构成。

12. 根据权利要求 11 所述的摄像系统，其特征在于，上述第 1 透镜组由 2 片单透镜构成，上述第 2 透镜组由 1 片单透镜构成，构成上述第 1 透镜组的 2 片单透镜中的位于物侧的单透镜具有正的光焦度、且该单透镜的物侧的透镜面在物侧呈凸面，上述 2 片单透镜中的位于像侧的单透镜是该单透镜的像侧的透镜面在像侧呈凸面。

13. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的摄像系统，其特征在于，上述摄像透镜由 4 片单透镜构成。

14. 根据权利要求 13 所述的摄像系统，其特征在于，上述第 1 透镜 组由 3 片单透镜构成，上述第 2 透镜组由 1 片单透镜构成，构成上述第 1 透镜组的 3 片单透镜中的位于最靠近物侧的第 1 片单透镜具有正的光焦度、且该单透镜的物侧的透镜面在物侧呈凸面，上述 3 片单透镜中的与上述第 1 片单透镜相邻的第 2 片单透镜具有负的光焦度、且该第 2 片单透镜的像侧的透镜面在像侧呈凸面，上述 3 片单透镜中的位于最靠像侧的第 3 片单透镜具有正的光焦度。

15. 一种摄像装置，其特征在于，具有根据权利要求 1 至 14 中任一项所述的摄像系统。

16. 一种移动终端设备，其特征在于，具有根据权利要求 1 至 14 中任一项所述的摄像系统。

17. 一种车载设备，其特征在于，具有根据权利要求 1 至 14 中任一项所述的摄像系统。

18. 一种医疗设备，其特征在于，具有根据权利要求 1 至 14 中任一项所述的摄像系统。

19. 一种摄像系统，其特征在于，具有 ：

摄像透镜 ；

摄像元件，具有二维状排列多个受光像素而成的受光面，对通过上述摄像透镜投影到上述受光面上的被摄体的光学像进行拍摄而输出表示该被摄体的第 1 图像数据 ；

系数存储单元，在通过上述摄像透镜投影到上述受光面上的点像的有效区域的最大直径是涉及 3 像素以上的大小时，存储了与由从上述摄像元件输出的第 1 图像数据表示的上述点像的状态对应的复原系数 ；及

信号处理单元，利用上述复原系数对上述第 1 图像数据实施在上述摄像透镜的分辨率高时生成与从上述摄像元件输出的第 1 图像数据同等的第 2 图像数据的复原处理，并且，

上述信号处理单元将由上述受光面上的纵向 3 像素以上及横向 3 像素以上构成的涉及合计 9 像素以上的像素区域作为最小单位进行上述复原处理 ；

上述摄像透镜从物侧依次具有 ：由至少 1 片透镜构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组，以及由至少 1 片透镜构成的、位于最靠像侧的透 镜具有负的光焦度的第 2 透镜组。

20. 一种摄像系统的制造方法，其特征在于，该摄像系统的制造方法是通过对没有存储预定的复原系数的摄像系统存储预定的复原系数而制造已存储复原系数的摄像系统的方法，该摄像系统具备 ：

摄像透镜，该摄像透镜从物侧依次具有 ：由至少 1 片透镜构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组，以及由至少 1 片透镜构成的、位于最靠像侧的透镜具有负的光焦度的第 2 透镜组 ；

摄像元件，具有二维状排列多个受光像素而成的受光面，对通过上述摄像透镜投影到上述受光面上的被摄体的光学像进行拍摄而输出表示该被摄体的第 1 图像数据 ；

系数存储单元，在通过上述摄像透镜投影到上述受光面上的点像的有效区域的最大直径是涉及 3 像素以上的大小时，存储了与由从上述摄像元件输出的第 1 图像数据表示的上述点像的状态对应的复原系数；及

信号处理单元，利用上述复原系数对上述第 1 图像数据实施在上述摄像透镜的分辨率高时生成与从上述摄像元件输出的第 1 图像数据同等的第 2 图像数据的复原处理，并且，

上述信号处理单元将由上述受光面上的纵向 3 像素以上及横向 3 像素以上构成的涉及合计 9 像素以上的像素区域作为最小单位进行上述复原处理；

该摄像系统的制造方法通过上述摄像透镜投影点像到上述摄像元件的受光面上，且在上述系数存储单元中存储与由上述摄像元件所输出的第 1 图像数据表示的上述点像的状态对应的复原系数。

21. 根据权利要求 20 所述的摄像系统的制造方法，其特征在于，按每个摄像系统对该摄像系统单独求出上述复原系数。

22. 根据权利要求 20 所述的摄像系统的制造方法，其特征在于，上述复原系数是从与分为多个种类的点像的各状态对应的各复原系数的候补中按照上述第 1 图像数据表示的点像的状态所选择的。

23. 根据权利要求 20 所述的摄像系统的制造方法，其特征在于，上述复原系数是从与分为多个种类的该点像的各状态对应的多种复原系数的候补中按照上述第 1 图像数据表示的该点像的状态所选择出的复原系 数进一步根据点像的状态进行了校正的复原系数。

摄像系统及其制造方法、摄像装置、移动终端设备、车载设备、及医疗设备

技术领域

[0001] 本发明涉及拍摄被摄体的光学像而获得的图像数据的质量能够得到提高的摄像系统、具有该摄像系统的摄像装置、移动终端设备、车载设备、及医疗设备、以及摄像系统的制造方法。

背景技术

[0002] 众所周知，利用具有通过二维状配置多个受光像素而成的受光面的 CCD 元件或 CMOS 元件等的摄像元件而对通过摄像透镜成像在受光面上的被摄体的光学像进行拍摄的摄像系统。

[0003] 此外，作为这种摄像系统的一例，将通过具有设计成景深变深的摄像透镜的摄像系统直接安装在电路基板上而成的车载用照相机或移动电话机用照相机等被实用化（参照专利文献 1）。而且，已知搭载增大摄像元件的受光像素数量且提高摄像透镜的分辨率的摄像系统而构成的高性能的车载用照相机或移动电话机用照相机。在这种可得到分辨率高的图像的高性能的车载用照相机或移动电话机用照相机中，还已知具有摄像透镜的分辨率接近衍射极限的性能的照相机。

[0004] 专利文献 1 :（日本）特表 2007—147951 号公报

[0005] 但是，在制造具有这种可形成分辨率高的图像的摄像透镜的摄像系统中，由于制造的困难性而难以提高合格率。即，由于不能生成可形成具有预定分辨率的图像的图像数据，因此有可能产生很多从制造生产线拆下而返回到再调节或再组装的摄像系统。并且，就从制造生产线拆下的摄像系统而言，通过确定其原因且施以修正，从而得到再生以生成可形成预定分辨率的图像的图像数据。

[0006] 但是，从摄像系统输出的图像数据表示的图像的分辨率降低的原因有很多，例如考虑构成摄像透镜的各透镜的形状误差（透镜的表面形状误差、厚度误差、偏心误差）、摄像透镜的组装、调节误差（透镜的偏移误差、倾斜误差、透镜之间的空气间隔误差）、摄像元件对摄像透镜的定位误差等的各种原因。因此，存在以下问题，即，为了通过确定分辨率的降低原因并进行再调节或再组装，再生以能够生成可形成预定分辨率的图像的高质量的图像数据的摄像系统，而庞大的费用产生。

发明内容

[0007] 本发明是鉴于上述问题而做出的，其目的在于，提供一种对投影到受面上的光学像进行拍摄而获得的图像数据的质量得到提高的摄像系统、具有该摄像系统的摄像装置、移动终端设备、车载设备、及医疗设备、以及摄像系统的制造方法。

[0008] 本发明的第 1 摄像系统的特征在于，具有 :摄像透镜 ;摄像元件，具有二维状排列多个受光像素而构成的受光面，拍摄通过摄像透镜投影到上述受光面上的被摄体的光学像而输出表示该被摄体的第 1 图像数据 ;系数存储单元，在通过摄像透镜投影到受光面上的

点像的有效区域的最大直径是涉及该受光面上的受光像素的 3 像素以上的大小时，对与由从摄像元件输出的第 1 图像数据表示的点像的状态对应的复原系数进行存储；及信号处理单元，利用存储在系数存储单元的复原系数对从摄像元件输出的第 1 图像数据实施在摄像透镜的分辨率高时生成与从摄像元件输出的第 1 图像数据同等的第 2 图像数据的复原处理；信号处理单元将由受光面上的纵向 3 像素以上及横向 3 像素以上构成的涉及合计 9 像素以上的像素区域作为最小单位进行复原处理；摄像透镜从物侧依次具有：由至少 1 片透镜构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组，以及由至少 1 片透镜构成的、位于最靠像侧的透镜具有负的光焦度的第 2 透镜组。

[0009] 上述系数存储单元可以按每个摄像系统存储对该摄像系统单独求出的复原系数。

[0010] 此外，上述系数存储单元可以存储与分为多个种类的点像的各状态对应的各复原系数的候补中的、根据第 1 图像数据表示的点像的状态所选择出的复原系数。

[0011] 而且，上述系数存储单元可以存储通过从与分为多个种类的该点像的各状态对应的多种复原系数的候补中按照第 1 图像数据表示的该点像的状态所选择出的复原系数进一步根据点像的状态进行校正而成的已校正的复原系数。

[0012] 上述摄像系统还可以具有取得复原系数并存储在系数存储单元中的复原系数取得单元。

[0013] 上述信号处理单元可以将包含投影到受光面上的点像的有效区域的全部的最小像素区域作为最小单位而执行复原处理。

[0014] 上述信号处理单元优选执行复原处理，使得第 2 图像数据表示的图像中的点像的有效区域的大小小于第 1 图像数据表示的图像中的点像的有效区域的大小。

[0015] 上述第 2 透镜组中的位于最靠像侧的透镜面，可以具有轴外曲点；或在该透镜面的中心部向像侧呈凹面而在周边部向像侧呈凸面；或者满足下述条件式 (1)：

[0016] $0.5H<h<H$ (1)

[0017] 其中，H 是第 2 透镜组中的位于最靠像侧的透镜面的有效半径，h 是第 2 透镜组中的位于最靠像侧的透镜面的从轴外曲点到光轴的距离。

[0018] 这里，曲线是透镜面上的点，该点的切面与光轴 C(Z 轴）垂直时，将该点称为曲点。而且，将与透镜面上的光轴相交的点以外的曲点称为轴外曲点。

[0019] 上述摄像透镜可以由 3 片单透镜构成。

[0020] 上述第 1 透镜组可以由 2 片单透镜构成，第 2 透镜组可以由 1 片单透镜构成，构成第 1 透镜组的 2 片单透镜中的位于物侧的单透镜具有正的光焦度、且该单透镜的物侧的透镜面在物侧呈凸面，2 片单透镜中的位于像侧的单透镜是该单透镜的像侧的透镜面在像侧呈凸面。

[0021] 上述摄像透镜可以由 4 片单透镜构成。

[0022] 上述第 1 透镜组可以由 3 片单透镜构成，第 2 透镜组可以由 1 片单透镜构成，构成第 1 透镜组的 3 片单透镜中的位于最靠近物侧的第 1 片单透镜具有正的光焦度、且该单透镜的物侧的透镜面在物侧呈凸面，3 片单透镜中的与第 1 片单透镜相邻的第 2 片单透镜具有负的光焦度、且该第 2 片单透镜的像侧的透镜面在像侧呈凸面，3 片单透镜中的位于最靠像侧的第 3 片单透镜具有正的光焦度。

[0023] 本发明的摄像装置的特征在于，具有上述摄像系统。

[0024] 本发明的移动终端设备的特征在于，具有上述摄像系统。

[0025] 本发明的车载设备的特征在于，具有上述摄像系统。

[0026] 本发明的医疗设备的特征在于，具有上述摄像系统。

[0027] 本发明的第 2 摄像系统的特征在于，具有：摄像透镜；摄像元件，具有二维状排列多个受光像素而构成的受光面，拍摄通过摄像透镜投影到受光面上的被摄体的光学像而输出表示该被摄体的第 1 图像数据；系数存储单元，在通过摄像透镜投影到受光面上的点像的有效区域的最大直径是涉及 3 像素以上的大小时，存储了与由从摄像元件输出的第 1 图像数据表示的点像的状态对应的复原系数；及信号处理单元，利用复原系数对第 1 图像数据实施在摄像透镜的分辨率高时生成与从摄像元件输出的第 1 图像数据同等的第 2 图像数据的复原处理；信号处理单元将由受光面上的纵向 3 像素以上及横向 3 像素以上构成的涉及合计 9 像素以上的像素区域作为最小单位进行复原处理；摄像透镜从物侧依次具有：由至少 1 片透镜构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组，以及由至少 1 片透镜构成的、位于最靠像侧的透镜具有负的光焦度的第 2 透镜组。

[0028] 本发明的摄像系统的制造方法的特征在于，在上述第 2 摄像系统的制造中，通过摄像透镜将点像投影到摄像元件的受光面上，且在系数存储单元中存储与由从该摄像元件输出的第 1 图像数据表示的点像的状态对应的复原系数。

[0029] 按每个摄像系统对该摄像系统单独求出上述复原系数。

[0030] 上述复原系数是从与分为多个种类的点像的各状态对应的各复原系数的候补中按照第 1 图像数据表示的点像的状态所选择的。

[0031] 此外，上述复原系数是从与分为多个种类的该点像的各状态对应的多种复原系数的候补中按照上述第 1 图像数据表示的该点像的状态所选择出的复原系数进一步根据点像的状态进行了校正的复原系数。

[0032] 而且，可以按每个摄像系统对该摄像系统单独求出上述复原系数。

[0033] 投影到上述受光面上的点像的有效区域的最大直径可以是投影到受光面上的点像的有效区域在包含最多的受光像素的方向上的该有效区域的直径，上述“投影到受光面上的点像的有效区域的最大直径是涉及 3 像素以上的大小时”可以是“投影到受光面上的点像的有效区域在包含最多的受光像素的方向上，该有效区域是涉及受光像素的 3 像素以上的大小时”。

[0034] 上述“点像的有效区域”意味着具有表示点像的光强分布中的峰值强度的 $1/e^2$（大约 13.5％）以上的光强的区域。

[0035] 此外，上述“复原处理”可以采用（日本）特开 2000—123168 号报、0002 ～ 0016 段中介绍的图像复原处理等。并且，在复原处理的实施中，可以应用后述的非专利文献［鹫沢嘉一、山下幸彦著，题目“KernelWiener Filter”，2003 Workshop on Information-Based InductionSciences，(IBIS2003)，Kyoto，Japan，Nov11-12，2003］的技术等。

[0036] 本发明的第 1 摄像系统具有：系数存储单元，在通过摄像透镜投影到受光面上的点像的有效区域的最大直径是涉及 3 像素以上的大小时，存储与由从摄像元件输出的第 1 图像数据表示的点像的状态（以后还称为点像的模糊状态）对应的复原系数；及信号处理单元，利用上述复原系数对第 1 图像数据实施在摄像透镜的分辨率高时生成与从摄像元件输出的第 1 图像数据同等的第 2 图像数据的复原处理；信号处理单元将由受光面上的纵向

3 像素以上及横向 3 像素以上构成的涉及合计 9 像素以上的像素区域作为最小单位进行复原处理，将摄像透镜做成从物侧起依次具有：至少由 1 片透镜构成的具有正的光焦度的第 1 透镜组，至少由 1 片透镜构成的位于最靠像侧的透镜具有负的光焦度的第 2 透镜组，因此，若在系数存储单元中存储复原系数，则可以实施利用该复原系数的复原处理，由此，对投影到受光面上的光学像进行拍摄而获得的图像数据的质量就能够容易得到提高。

[0037] 即，不需要像过去那样在从摄像系统输出的第 1 图像数据表示的图像的分辨率未达到预定的水平时确定其原因并再调节或再组装摄像透镜等，单纯地在系数存储单元中存储与由摄像系统拍摄的点像的模糊状态对应的复原系数，仅对该第 1 图像数据实施复原处理（图像处理），可以得到表示具有预定的分辨率的图像的第 2 图像数据，所以对投影到受光面上的光学像进行拍摄而获得的图像数据的质量就可以容易得到提高。

[0038] 而且，还将“点像的状态”称为“点像的模糊状态”，其理由在于，通过摄像透镜投影到受光面上的点像、及拍摄该点像而得到的第 1 图像数据表示的点像，因图像透镜像差的影响等，而其质量与对应于该点像的物点即被摄体相比有些劣化。即，在例如被摄体为分辨率图表时，通过摄像透镜投影到受光面上的分辨率图表的像、及拍摄该分辨率图表的像而得到的第 1 图像数据表示的分辨率图表的图像的分辨率，低于作为被摄体的分辨率图表的分辨率。并且，该“点像的状态”或“点像的模糊状态”主要表示点像的分辨率的劣化状态。

[0039] 此外，若系数存储单元按每个摄像系统存储对该摄像系统单独求出的复原系数，则可以更准确地求出复原系数，且可以更准确地执行复原处理，所以对投影到受面光的光学像进行拍摄而获得的图像数据的质量就能够可靠地得到提高。

[0040] 而且，若系数存储单元存储从与分为多个种类的点像的各模糊状态对应的各复原系数的候补中按照第 1 图像数据表示的点像的模糊状态所选择出的复原系数，则与对每个摄像系统单独求出复原系数的情况相比，可以更容易设定复原系数。

[0041] 这里，若系数存储单元存储：通过从与分为多个种类的该点像的各模糊状态对应的多种复原系数的候补中按照第 1 图像数据表示的该点像的模糊状态所选择出的复原系数进一步根据点像的状态进行校正而成的已校正的复原系数，则与对每个摄像系统单独求出复原系数的情况相比，可以抑制求出复原系数时的精度下降的同时更容易取得该复原系数。

[0042] 而且，若摄像系统具有取得复原系数并存储在系数存储单元中的复原系数取得单元，则可以更可靠地取得复原系数。

[0043] 此外，若信号处理单元将包含投影到受光面上的点像的有效区域的全部的最小像素区域作为最小单位执行复原处理，则可以抑制用于执行复原处理的运算量的增大，可以高效率地实施复原处理。

[0044] 此外，若信号处理单元执行复原处理，使得第 2 图像数据表示的图像中的点像的有效区域的大小小于第 1 图像数据表示的图像中的点像的有效区域的大小，则能够更可靠地提高对投影到受光面的光学像进行拍摄而得到的图像数据的质量。

[0045] 此外，若第 2 透镜组中的位于最靠像侧的透镜面，或具有轴外曲点，或在中心部向像侧呈凹面而在周边部向像侧呈凸面，或者满足下述条件式 (1)$0.5H<h<H$，则能够更可靠地提高摄像透镜的焦阑性，可以更可靠地提高表示被摄体的第 1 图像数据的质量。

[0046] 此外，若摄像透镜仅由 3 片单透镜构成，而且，若第 1 透镜组由 2 片单透镜构成，第

2 透镜组由 1 片单透镜构成，假设构成第 1 透镜组的 2 片单透镜中的位于物侧的单透镜具有正的光焦度、且该单透镜的物侧的透镜面在物侧呈凸面，2 片单透镜中的位于像侧的单透镜做成该单透镜的像侧的透镜面在像侧呈凸面，则可以更可靠地提高摄像透镜的焦阑性，所以可以更可靠地提高表示被摄体的第 1 图像数据的质量。

[0047] 这里，若摄像透镜仅由 4 片单透镜构成，而且，假设第 1 透镜组由 3 片单透镜构成，第 2 透镜组由 1 片单透镜构成，构成第 1 透镜组的 3 片单透镜中的位于最靠近物侧的第 1 片单透镜具有正的光焦度、且该单透镜的物侧的透镜面在物侧呈凸面，3 片单透镜中的与上述第 1 片单透镜相邻的第 2 片单透镜具有负的光焦度、且该第 2 片单透镜的像侧的透镜面在像侧呈凸面，3 片单透镜中的位于最靠像侧的第 3 片单透镜具有正的光焦度，则与上述同样地能够更可靠地提高摄像透镜的焦阑性，所以可以更可靠地提高表示被摄体的第 1 图像数据的质量。

[0048] 本发明的摄像装置、移动终端设备、车载设备、医疗设备的每一个具有上述摄像系统，这样，如上所述能容易提高对投影到受光面的光学像进行拍摄而得到的图像数据的质量。

[0049] 本发明的第 2 摄像系统具有：系数存储单元，在通过摄像透镜投影到受光面上的点像的有效区域的最大直径是涉及 3 像素以上的大小时，存储与由从摄像元件输出的第 1 图像数据表示的点像的状态对应的复原系数；及信号处理单元，利用上述复原系数对第 1 图像数据实施在摄像透镜的分辨率高时生成与从上述摄像元件输出的第 1 图像数据同等的第 2 图像数据的复原处理；若信号处理单元将由受光面上的纵向 3 像素以上及横向 3 像素以上构成的涉及合计 9 像素以上的像素区域作为最小单位进行复原处理；摄像透镜从物侧起依次具有：由至少 1 片透镜构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组，以及由至少 1 片透镜构成的、位于最靠像侧的透镜具有负的光焦度的第 2 透镜组，因此，与上述第 1 摄像系统同样地，可以通过利用复原系数的复原处理的实施，容易地提高对投影到受光面的光学像进行拍摄得到的图像数据的质量。

[0050] 本发明的摄像系统的制造方法是在上述第 2 摄像系统的制造中，通过摄像透镜将点像投影到摄像元件的受光面上，在系数存储单元中存储与由从该摄像元件输出的第 1 图像数据表示的点像的状态对应的复原系数，所以可以有效地制造第 2 摄像系统。

[0051] 例如，即使在从摄像系统输出的图像数据表示的图像的分辨率因制造上的程度等而未达到预定的水平时，可以比过去容易地实施提高图像的分辨率的摄像系统的再生处理。即，通过将复原系数存储在系数存储单元的摄像系统，能够容易地实施提高从该摄像系统输出的图像数据的质量的复原处理，所以能够将图像分辨率未达到预定水平的摄像系统容易地再生为得到预定水平的图像分辨率的摄像系统，由此可以高效地制造摄像系统。

[0052] 即，能够容易地实施从将复原系数存储在系数存储单元中的摄像系统输出的图像数据的质量的复原处理，所以能够容易再生摄像系统，并能够高效地制造摄像系统。

[0053] 而且，若大量生产摄像系统，则可以高效地制造上述摄像系统并享受更大的效果。

附图说明

[0054] 图 1 是表示本发明的摄像系统的简要结构及摄像系统的制造方法的框图。

[0055] 图 2(a) 是表示点像的光强分布的图，图 2(b) 是表示投影到受光面的点像的图。

[0056] 图 3(a) 是在第 1 图像数据表示的图像中所示的点像的图像的图，图 3(b) 是在第 2 图像数据表示的图像中所示的点像的图像的图。

[0057] 图 4(a) 是表示在摄像透镜的分辨率高时投影到受光面上的点像的光强分布的图，图 4(b) 是表示构成受光面的受光像素的各像素区域及在摄像透镜的分辨率高时会投影到受光面的点像的图。

[0058] 图 5 是表示第 2 例的复原系数取得装置的图。

[0059] 图 6 是表示第 3 例的复原系数取得装置的图。

[0060] 图 7 是表示具有复原系数取得装置的摄像系统的图。

[0061] 图 8 是表示在信号处理部具备复原系数取得装置及系数存储部的摄像系统的图。

[0062] 图 9 是表示在沿光轴方向移动物点时投影到受光面上的该物点的光学像即点像的有效区域的最大直径的变化的图。

[0063] 图 10 是表示在沿光轴方向移动物点时投影到受光面上的该物点的光学像有关的 MTF 特性的值的变化的图。

[0064] 图 11 是表示配置在实施例 1 的摄像系统中的摄像透镜的简要结构的截面图。

[0065] 图 12 是表示在使受光面散焦时的 MTF 特性的值的变化的图，图 12(a) 是表示 20 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 12(b) 是表示 30 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 12(c) 是表示 40 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 12(d) 是表示 50 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图。

[0066] 图 13 是表示配置在实施例 2 的摄像系统中的摄像透镜的简要结构的截面图。

[0067] 图 14 是表示在使受光面散焦时的 MTF 特性的值的变化的图，图 14(a) 是表示 20 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 14(b) 是表示 30 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 14(c) 是表示 40 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 14(d) 是表示 50 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图。

[0068] 图 15 是表示配置在实施例 3 的摄像系统中的摄像透镜的简要结构的截面图。

[0069] 图 16 是表示在使受光面散焦时的 MTF 特性的值的变化的图，图 16(a) 是表示 20 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 16(b) 是表示 30 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 16(c) 是表示 40 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 16(d) 是表示 50 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图。

[0070] 图 17 是实施例 1 的摄像透镜有关的像差的图。

[0071] 图 18 是实施例 2 的摄像透镜有关的像差的图。

[0072] 图 19 是实施例 3 的摄像透镜有关的像差的图。

[0073] 图 20 是表示配置在比较例的摄像系统中的摄像透镜的简要结构的截面图。

[0074] 图 21 是表示在使受光面散焦时的 MTF 特性的值的变化的图，图 21(a) 是表示 20 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 21(b) 是表示 30 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 21(c) 是表示 40 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 21(d) 是表示 50 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图。

[0075] 图 22 是表示搭载了具有摄像系统的车载设备的汽车的图。

[0076] 图 23 是表示具有摄像系统的移动终端设备即便携电话机的图。

[0077] 图 24 是表示具有摄像系统的医疗设备即内窥镜装置的图。

[0078] 图中：10- 摄像透镜；20- 摄像元件；21- 受光面；30- 系数存储部；40- 信号处理部；70A- 第 1 例的复原系数取得装置；70B- 第 2 例的复原系数取得装置；70C- 第 3 例的复原系数取得装置；72- 理想点像存储部；74- 点像直径取得部；76- 判断部；78- 复原系数取得部；79- 候补系数存储部；100- 摄像系统；G1- 第 1 图像数据；G2- 第 2 图像数据；F- 复原处理；P1- 点像；K- 复原系数；Dr- 设计数据、理想点像状态数据；Db- 模糊点像状态数据；Dk- 系数数据。

具体实施方式

[0079] 下面，利用附图对本发明的实施方式进行说明。图 1 是表示本发明的摄像系统的简要结构及本发明的摄像系统的制造方法的框图。

[0080] [关于摄像系统的结构]

[0081] 以下对摄像系统的结构进行说明。

[0082] 图 1 所示的本发明的摄像系统 100 具有：摄像透镜 10；摄像元件 20，具有通过二维状排列多个受光像素而构成的受光面 21，且该摄像元件对通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的被摄体的光学像 P1 进行拍摄而输出显示该被摄体的第 1 图像数据 G1；系数存储部 30，在通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的点像的有效区域的最大径是涉及 3 像素以上的大小时，存储与由摄像元件 20 输出的第 1 图像数据 G1 所表示的点像 P1 的模糊状态对应的复原系数；及信号处理部 40，利用存储在系数存储部 30 中的复原系数 K 对第 1 图像数据 G1 实施复原处理 F，该复原处理在摄像透镜 10 的分辨率高时生成与从摄像元件 20 输出的第 1 图像数据 G1 同等的第 2 图像数据 G2。

[0083] 该信号处理部 40 将由受光面 21 上的纵向 3 像素以上及横向 3 像素以上构成的涉及合计 9 像素以上的像素区域作为最小单位而执行复原处理 F。

[0084] 摄像透镜 10 从被摄体侧（物侧）依次具有：至少由 1 片透镜构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组；及至少由 1 片透镜构成的、且位于最靠像侧的透镜具有负的光焦度的第 2 透镜组。

[0085] 这里，投影到受光面 21 上的点像 P1 的有效区域的最大直径是投影到受光面 21 上的点像 P1 的有效区域在包含最多的受光像素的方向上的该有效区域的直径。

[0086] 而且，在图 1 中用箭头 Z 表示的方向是摄像透镜 10 的光轴方向，用箭头 X、Y 表示的方向是与受光面 21 平行的方向。

[0087] 这里，设置在摄像系统 100 的外部的复原系数取得装置 70A，取得与由摄像元件 20 输出的第 1 图像数据 G1 所表示的点像 P1 的模糊状态对应的复原系数 K，且将该复原系数 K 存储在系数存储部 30 中。0060

[0088] 该复原系数取得装置 70A 具有：理想点像存储部 72，预先存储有在包含摄像透镜 10 的光学系统中完全没有误差时的与点像有关的设计数据、或与优越于它的理想点像状态有关的理想点像状态数据中的任一个数据 Dr；点像模糊状态取得部 73，对从摄像元件 20 输出的第 1 图像数据 G1 表示的点像的模糊状态进行分析，取得表示该分析结果的模糊点像状态数据 Db；点像直径取得部 74，用于取得通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的点像 P1 的有效区域的最大直径；判断部 76，判断通过点像直径取得部 74 得到的上述最大直径是否是涉及受光面 21 上的 3 像素以上的大小；以及复原系数取得部 78A，在由判断部 76 判断为上

述最大直径是涉及受光面 21 上的 3 像素以上的大小时，输入从点像模糊状态取得部 73 输出的模糊点像状态数据 Db 及存储在理想点像存储部 72 中的设计数据或理想点像状态数据即数据 Dr 并通过利用两者的运算而取得表示与上述第 1 图像数据 G1 表示的点像 P1 的模糊状态对应的复原系数 K 的系数数据 Dk，且将该系数数据 Dk 表示的复原系数 K 存储在系数存储部 30 中。

[0089] 此外，本发明的摄像系统所使用的摄像透镜不限于必定通过该摄像透镜而光学像“准确”地被成像在受光面上的摄像透镜，即使是通过摄像透镜而光学像未准确地被“成像”在受光面上的摄像透镜也可以采用，因此在本发明中采用通过摄像透镜而将光学像“投影”在受光面上的摄像系统并对其进行说明。“未成像”状态虽然可以解释为所谓模糊的像，但是包括例如由制造误差引起的生成比本来的点像更扩散的点像的状态、或由于设计性的制约条件（光学系统的大小或成本）只能提供比设计值自身本来想得到的点像大的点像的状况。

[0090] 此外，如上所述，主要表示点像的分辨率的劣化状态的模糊点像状态数据 Db，例如可以表示点像 P1 的有效区域的大小或点像 P1 的受光面上的亮度分布（在图像中的浓度分布）等。

[0091] [关于摄像系统的作用]

[0092] 接着，对上述摄像系统的作用进行说明。

[0093] 首先，对由复原系数取得装置求出复原系数而将该复原系数存储在系数存储部时的一例进行说明。

[0094] 通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的被摄体的光学像由摄像元件 20 拍摄，从摄像元件 20 输出的表示上述被摄体的第 1 图像数据 G1 被输入到点像模糊状态取得部 73 及点像直径取得部 74。

[0095] 输入了第 1 图像数据 G1 的点像模糊状态取得部 73 对第 1 图像数据 G1 表示的点像的模糊状态进行分析并输出表示其分析结果的模糊点像状态数据 Db。

[0096] 此外，输入了第 1 图像数据 G1 的点像直径取得部 74 求出投影到受光面 21 上的点像 P1 的有效区域的最大直径而输出表示该最大直径的直径数据 Dm。。输入了表示上述最大直径的直径数据 Dm 的判断部 76 判断点像 P1 的有效区域的最大直径是否是涉及受光面 21 上的 3 像素以上的大小，在判断为最大直径是涉及 3 像素以上的大小时，输出信号 Te。

[0097] 输入了该信号 Te 的复原系数取得部 78A，输入从点像模糊状态取得部 73 输出的模糊点像状态数据 Db 及预先存储在理想点像存储部 72 中的设计数据或作为理想点像状态数据的数据 Dr，并通过利用两者的运算取得与点像 P1 的模糊状态对应的复原系数 K 而输出表示该复原系数 K 的系数数据 Dk。

[0098] 从复原系数取得部 78A 输出的系数数据 Dk 被输入到系数存储部 30，且在该系数存储部 30 存储系数数据 Dk 表示的复原系数 K。

[0099] 并且，作为实现点像模糊状态取得部 73 及点像直径取得部 74 的功能的例子，举出后述的 D×O Labs 公司（法国）制造的 D×O 分析仪 (analyser)。若采用该 D×O 分析仪，可以通过对摄像元件 20 所输出的第 1 图像数据 G1 进行分析来求出投影到受光面 21 上的点像 P1 的模糊状态（分辨率的劣化状态）或有效区域的最大直径。

[0100] 如上述在系数存储部 30 中存储有复原系数 K，由此摄像系统 100 成为可执行复原

处理的状态。

[0101] [关于复原处理]

[0102] 接着，说明利用存储在系数存储部 30 的复原系数 K 对从摄像元件 20 输出的第 1 图像数据进行复原处理 F 而取得分辨率比由第 1 图像数据表示的图像更高的图像的第 2 图像数据的情况。而且，在下面的说明中，主要说明对表示点像的第 1 图像数据实施复原处理 F 的情况。

[0103] 图 2(a) 是在纵轴表示光强 E、横轴表示受光面上的 X 方向的位置的坐标上表示点像的光强分布的图。图 2(b) 是在纵轴表示受光面上的 Y 方向的位置、横轴表示受光面上的 X 方向的位置的坐标上，表示构成受光面的受光像素的各像素区域（图中用符号 Rg 表示）和投影到该受光面的点像的图；图 3(a) 是在第 1 图像数据表示的图像中所示的点像的图像的图；图 3(b) 是在第 2 图像数据表示的图像中所示的点像的图像的图。并且，图 3(a) 和图 3(b) 分别表示的图像中的像素区域（图中用符号 Rg′ 表示）各自的大小相互一致。并且，构成受光面 21 的受光像素的各像素区域 Rg 与第 1 图像数据 G1 或第 2 图像数据 G2 表示的图像中的图像区域 Rg′ 成为相互对应的区域。

[0104] 此外，图 4(a) 是在纵轴表示光强 E、横轴表示受光面上的 X 方向的位置的坐标上，表示在摄像透镜 10 的分辨率高时会投影到受光面 21 上的点像的光强分布的图。此外，这还可以考虑为与光学系统无关地表示理想的点像状态。图 4(b) 是在纵轴表示受光面上的 Y 方向的位置、横轴表示受光面上的 X 方向的位置的坐标上，表示构成受光面的受光像素的各像素区域（图中用符号 Rg 表示）及在摄像透镜 10 的分辨率高时会投影到受光面 21 上的点像 P2 的图。

[0105] 通过摄像透镜 10 被投影到受光面 21 上的光学像即点像 P1 的有效区域 R1 的最大直径 M1，如图 2(b) 所示那样是涉及构成受光面 21 的受光像素的连续的 3 像素的大小。此外，该有效区域 R1 是由受光面 21 上的纵向 3 像素及横向 3 像素构成的涉及合计 9 像素的区域。即，有效区域 R1 是占有构成受光面 21 的受光像素的 9 像素部分（3 像素 ×3 像素）的区域。

[0106] 此外，如图 2(a) 所示，点像 P1 的有效区域 R1 是具有表示点像 P1 的光强分布 H1 中的峰值强度 Ep1 的 $1/e^2$ 以上的光强的区域。

[0107] 投影到上述受光面 21 上的点像 P1 由摄像元件 20 拍摄，表示该点像 P1 的第 1 图像数据 G1 从摄像元件 20 输出。

[0108] 如图 3(a) 所示，与该第 1 图像数据 G1 表示的图像 Zg1 中所示的上述点像 P1 对应的图像 P1′ 仍表示为该有效区域 R1′ 在图像中涉及 9 像素部分（3 像素 ×3 像素）的图像。

[0109] 接着，输入了该图像数据 G1 的信号处理部 40 对第 1 图像数据 G1 执行利用复原系数 K1 的复原处理 F 而得到第 2 图像数据 G2。

[0110] 如图 3(a)、(b) 所示，与上述第 1 图像数据 G1 表示的点像的图像 P1′ 对应的第 2 图像数据 G2 表示的图像 Zg2 中的点像的图像 P2′，该图像 P2′ 的有效区域 R2′ 与上述第 1 图像数据 G1 表示的图像 Zg1 中的点像的图像 P1′ 的有效区域 R1′ 相比而减小。因此，在图像 Zg2 中表示的点像图像 P2′ 的最大直径 M2′（图像区域 Rg′ 的 3 像素部分的区域）与图像 Zg1 中表示的点像的图像 P1′ 的最大直径 M1′（图像区域 Rg′ 的 1 像素部分的区域）相比也减小。

[0111] 即，该图 3(b) 所示的第 2 图像数据 G2 表示的点像的图像 P2′，与对在摄像透镜 10 的分辨率高时会投影到受光面 21 上的点像 P2（参照图 4）进行拍摄的、且从摄像元件 20 输出的第 1 图像数据所表示的点像的图像成为同等的图像。

[0112] 更具体地，对拍摄通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的有效区域 R1 涉及 9 像素部分的点像 P1（参照图 2(a)、(b)）的、且从摄像元件 20 输出的第 1 图像数据 G1 实施利用上述复原系数 K 的复原处理 F 而得到的第 2 图像数据 G2 所表示的点像的图像 P2′（参照图 3(b)），与对摄像透镜 10 的分辨率提高时预计投影到受光面 21 上的点像 P2（有效区域 R2 的最大直径 M2 包含在一个像素区域 Rg 中，参照图 4(a)、(b)）进行拍摄的、且从摄像元件 20 输出的第 1 图像数据 G1 所表示的点像的图像成为同等的图像。

[0113] 而且，图 4(a)、(b) 所示的受光面 21 上的一个像素区域 Rg 所包含的点像 P2 的有效区域 R2，与上述点像 P1 的情况同样，是具有点像 P2 表示的光强分布 H2 中的峰值强度 Ep2 的 $1/e^2$ 以上的光强的区域。这里，点像 P2 的有效区域 R2 是包含在一个像素区域 Rg 中的大小。

[0114] 这样，对第 1 图像数据实施复原处理而得到的第 2 图像数据所表示的图像的分辨率，可以高于第 1 图像数据表示的图像的分辨率。

[0115] 此外，通过该复原处理 F，可以得到与扩大摄像透镜 10 的景深时得到的图像相同的图像，所以上述复原处理还称为实质上放大摄像透镜 10 的景深的处理。

[0116] 并且，在基于信号处理部 40 的、利用与第 1 图像数据 G1 表示的点像 P1 的状态对应的复原系数 K 的复原处理 F 中，可以采用上述的特开 2000—123168 号公报中第 0002 ～ 0016 段所介绍的图像复原处理等。

[0117] 在上述说明中对拍摄点像的情况进行了说明，但是，通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的被摄体的光学像被考虑为表示被摄体的点像的集合，所以无论拍摄的被摄体是哪种物体，也可以对上述第 1 图像数据实施复原处理而生成以高于该第 1 图像数据表示的图像的分辨率表示图像的第 2 图像数据。

[0118] [关于复原系数取得装置的变形例]

[0119] 下面，对复元系数取得装置的变形例进行说明。

[0120] 在系数存储部 30 中存储与由从摄像元件输出的第 1 图像数据表示的点像的模糊状态对应的复原系数 K1 的复元系数取得装置，可以构成为与上述第 1 例的复元系数取得装置 70A 不同的、下面说明的第 2 例的复元系数取得装置 70B 或第 3 例的复原系数取得装置 70C。

[0121] 图 5 是表示第 2 例的复原系数取得装置 70B 的图，图 6 是表示第 3 例的复原系数取得装置 70C 的图。图 7 是表示具有复原系数取得装置的摄像系统的图，图 8 是表示在信号处理部具备复原系数取得装置及系数存储部的摄像系统的图。而且，在图 5 ～图 8 中，具有与上述第 1 例的复原系数取得装置 70A 相同的功能的构成因素由与该第 1 例的复原系数取得装置 70A 的情况相同的符号表示。

[0122] 第 2 例的复原系数取得装置 70B，如图 5 所示，具有 ：候补系数存储部 79，存储有与预先分为多个种类的点像的各模糊状态对应的各复原系数的候补 K1、K2… ；点像模糊状态取得部 73，分析从摄像元件 20 输出的第 1 图像数据 G1 表示的点像的模糊状态并取得表示其分析结果的模糊点像状态数据 Db 而向后述的复原系数取得部 78B 输出 ；点像直径取得部

74，用于取得通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的点像 P1 的有效区域的最大直径；判断部 76，判断通过点像直径取得部 74 得到的上述最大直径是否是涉及受光面 21 上的 3 像素以上的大小；以及复原系数取得部 78B，在由判断部 76 判断为上述最大直径是涉及受光面 21 上的 3 像素以上的大小时，从上述复原系数的候补 K1、K2…中选择与上述模糊点像状态数据 Db 表示的点像 P1 的模糊状态对应的复原系数（例如 K1），且将该复原系数 K1 存储在系数存储部 30 中。

[0123] 该复原系数取得装置 70B 利用点像直径取得部 74 取得通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的点像 P1 的有效区域的最大直径，将表示该最大直径的直径数据 Dm 向判断部 76 输出。输入了直径数据 Dm 的判断部 76 判断上述最大直径是否是涉及受光面 21 上的 3 像素以上的大小，在判断为是涉及 3 像素以上的大小时，将表示该情况的信号 Te 向复原系数取得部 78B 输出。输入了信号 Te 的复原系数取得部 78B，从候补系数存储部 79 中存储的复原系数的候补 K1、K2…中选择与上述模糊点像状态数据 Db 表示的点像 P1 的模糊状态对应的复原系数（例如 K1），且将表示该复原系数 K1 的系数数据 Dk 输出到系数存储部 30 中进行存储。

[0124] 即，在系数存储部 30 中存储从与分类为多个种类的点像的各模糊状态分别对应的各复原系数的候补 K1、K2…中按照第 1 图像数据 G1 表示的点像的模糊状态所选择的复原系数（例如 K1）。

[0125] 另一方面，第 3 例的复原系数取得装置 70C，如图 6 所示，具有：候补系数存储部 79，存储有与预先分为多个种类的点像的各模糊状态对应的各复原系数的候补 K1、K2…；理想点像存储部 72，预先存储有在摄像透镜 10 的分辨率高时与通过该分辨率高的摄像透镜投影到受光面 21 上的理想的点像有关的设计数据或理想点像状态数据即数据 Dr；点像模糊状态取得部 73，对从摄像元件 20 输出的第 1 图像数据 G1 表示的点像的模糊状态进行分析，取得表示该分析结果的模糊点像状态数据 Db 并向后述的复原系数取得部 78C 输出；点像直径取得部 74，用于取得通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的点像 P1 的有效区域的最大直径；及判断部 76，判断通过点像直径取得部 74 得到的上述最大直径是否是涉及受光面 21 上的 3 像素以上的大小。

[0126] 而且，该复原系数取得装置 70C 具有复原系数取得部 78C，在由判断部 76 判断为上述最大直径是涉及受光面 21 上的 3 像素以上的大小时，从上述复原系数的候补 K1、K2…中选择与上述点像模糊状态取得部 73 所输出的模糊点像状态数据 Db 表示的点像 P1 的模糊状态对应的复原系数（例如 K1），并取得表示通过利用上述模糊点像状态数据 Db 及预先存储在理想点像存储部 72 中的点像的设计数据或理想点像状态数据即数据 Dr 的运算对该复原系数 K1 进行校正而成的已校正的复原系数 K1′ 的系数数据 Dk(K1′)，将该系数数据 Dk(K1′) 表示的已校正的复原系数 K1′ 存储在系数存储部 30 中。

[0127] 该复原系数取得装置 70C 由点像直径取得部 74 取得通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的点像 P1 的有效区域的最大直径，向判断部 76 输出表示该最大直径的直径数据 Dm。输入了直径数据 Dm 的判断部 76 判断上述最大直径是否是涉及受光面 21 上的 3 像素以上的大小，若判断为是涉及 3 像素以上的大小时，将表示该情况的信号 Te 向复原系数取得部 78B 输出。输入了信号 Te 的复原系数取得部 78B 从候补系数存储部 79 所存储的复原系数的候补 K1、K2…中选择与上述模糊点像状态数据 Db 表示的点像 P1 的模糊状态对应的

复原系数（例如 K1），取得通过利用上述模糊点像状态数据 Db 及预先存储在理想点像存储部 72 中的点像的设计数据或理想点像状态数据即数据 Dr 的运算对该复原系数 K1 进行校正而成的已校正的复原系数 K1，并将该已校正的复原系数 K1′ 存储在系数存储部 30 中。

[0128] 即，在系数存储部 30 中存储：对从与分为多个种类的点像的各模糊状态对应的多种复原系数的候补中按照第 1 图像数据 G1 表示的点像 P1 的模糊状态所选择出的复原系数（例如 K1）进一步按照上述点像的模糊状态进行校正的且已校正的复原系数 K1′ 。

[0129] 而且，摄像系统 100 可以是作为其一部分具备复原系数取得装置 70A、70B 或 70C 的系统，也可以是不设置复原系数取得装置 70A、70B 及 70C 中的任一个的系统。

[0130] 此外，图 7 所示的摄像系统 100′ 是将具有与复原系数取得装置 70A、70B 或 70C 等相同的功能的复原系数取得装置 70 内置在上述摄像系统的壳体内的系统。摄像系统可以这样构成。

[0131] 而且，图 8 所示的摄像系统 100′ 是将如上所述的复原系数取得装置 70 及系数存储部 30 内置在信号处理部 40′ 中的系统。摄像系统也可以这样构成。

[0132] [关于摄像系统的性能]

[0133] 接着，对上述摄像系统 100 所使用的由摄像透镜 10 和摄像元件 20 构成的摄像系统的性能进行说明。

[0134] 图 9 是在横轴以对数刻度 (m) 表示从摄像透镜到物点的光轴方向的距离 U、纵轴表示与在受光面上连续排列的像素区域的数量 (N) 对应的长度的坐标上，示意地示出沿光轴方向移动物点时与投影到受光面上的该物点对应的点像的有效区域的最大直径的变化的图。

[0135] 这里，将物点从大致与摄像透镜接触的近点的位置（接近到大约 0.01m 的位置）移动到相对于摄像透镜大致无限远的远点的位置（大约相距 10m 的位置）。

[0136] 由图 9 中的系列 A—1、A—2、A—3 表示的 3 种曲线（实线），示意地示出通过本发明的摄像系统的摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的互不相同的特定区域（相互之间像高不相同的受光面上的特定区域）的各点像的有效区域的最大直径的变化。此外，图 9 中的系列 Aw 所表示的曲线（虚线），表示通过现有的摄像系统（例如车载用照相机、移动电话机用照相机、医疗设备用照相机等）所使用的摄像透镜投影到受光面上的点像的有效区域的最大直径的一般变化。

[0137] 根据图 9 可知，在现有的摄像系统中，通过将物点投影在受光面 21 上而成的点像的有效区域的最大直径，随着物点沿光轴方向的移动，从涉及 1 像素部分的大小到 30 像素部分的大小为止而变化很大。

[0138] 另一方面，通过本发明的摄像系统 100 具备的摄像透镜 10 而将物点投影到受光面 21 上形成的点像的有效区域的最大直径，对于系列 A—1、A—2、A—3 中的任一个均是涉及 3 像素部分以上、10 像素部分以下的大小。即，与从摄像透镜 10 到物点的距离无关、且与所投影的点像在受光面上的位置（例如受光面上的像高）无关，该受光面上的点像的有效区域的大小的变动较少。而且，对于从 X、Y、Z 方向的任一位置通过摄像透镜 10 投影到受光面上的点像，也可以说成其点像的有效区域的大小变动较少。

[0139] 图 10 是在横轴以对数刻度 (m) 表示从摄像透镜到物点为止的光轴方向的距离 U、纵轴表示 MTF 特性的值 (%) 的坐标上，示意地示出沿光轴方向移动物点时与投影到受光面

上的上述物点的光学像有关的 MTF 特性的值（％）的变化的图。

[0140] 这里，将物点从大致与摄像透镜接触的近点的位置（接近到大约 0.01m 的位置）移动到相对于摄像透镜大致无限远的远点的位置（大约相距 10m 的位置）。

[0141] 由图 10 中的系列 B—1、B—2、B—3 表示的有关本发明的摄像系统的 3 种曲线（实线），示意地示出通过摄像透镜 10 投影到受光面上的互不相同的特定区域（像高互不相同的特定区域）的有关光学像的 MTF 特性的值 .（％）的变化。此外，图 10 中的系列 Bw 所表示的曲线（虚线），是表示有关现有的摄像系统与投影到受光面上的光学像有关的 MTF 特性的值（％）的一般变化。

[0142] 由图 10 可知，在现有的摄像系统中，与投影到受光面 21 上的光学像有关的 MTF 特性的值（％）从 0％到超过 80％的值为止而变化很大。而且，在摄像透镜 10 和物点接近的近点，关于位于比 MTF 特性的值成为 0％的位置更接近摄像透镜 10 的区域 (MTF 特性的值从 0％折反的区域）的物点，产生伪分辨。此外，在摄像透镜 10 和物点分离的远点，关于位于比 MTF 特性的值成为 0％的位置更远的区域 (MTF 特性的值从 0％折反的区域）的物点，也产生伪分辨。

[0143] 另一方面，通过本发明的摄像系统 100 具备的摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的光学像有关的 MTF 特性的值（％），对于系列 B—1、B—2、B—3 均为 10％以上 60％以下的大小，不产生伪分辨。即，与从摄像透镜 10 到物点为止的距离无关、且与所投影的光学像的受光面上的位置（像高）无关，与投影到受光面上的光学像有关的 MTF 特性的值的变动减少，也不产生伪分辨。而且，关于从 X、Y、Z 方向的任意的位置即三维空间的任意位置通过摄像透镜 10 投影到受光面上的光学像有关的 MTF 特性也可以说变动较少。

[0144] 如上所述，根据本发明的摄像系统，不需要如过去那样在摄像系统所输出的第 1 图像数据表示的图像的分辨率未达到预定的水平时确定其原因并再调节或再组装摄像透镜等，单纯地仅在系数存储部分中存储与点像的模糊状态对应的复原系数而对该第 1 图像数据实施复原处理，就可以得到表示具有预定的分辨率的图像的第 2 图像数据，所以可以对投影到受光面上的光学像进行拍摄而得到的图像数据的质量就容易得到提高。另外，还可以说能够容易恢复摄像系统的分辨率的不足。

[0145] [关于摄像系统的制造方法]

[0146] 下面，参照图 1、5、6 等说明本发明的摄像系统的制造方法，即，通过对没有存储预定的复原系数的摄像系统存储预定的复原系数、而制造已存储复原系数的摄像系统的方法。

[0147] 该摄像系统的制造方法，是通过在系数存储部 30 中存储复原系数、而制造可执行复原处理的已存储复原系数的摄像系统 100A、100B…的方法。

[0148] 而且，摄像系统 100A、100B…是与已经参照图 1 ～图 10 说明的摄像系统 100 相同的系统。

[0149] 上述摄像系统的制造方法是摄像系统 100A、100B…的制造方法，该摄像系统具有 ：摄像透镜 10 ；摄像元件 20，具有通过二维状排列多个受光像素而构成的受光面 21，对通过摄像透镜 10 投影到受光面 21 上的被摄体的光学像进行拍摄而输出表示该被摄体的第 1 图像数据 G1 ；信号处理部 40，对第 1 图像数据 G1 以由受光面 21 上的纵向 3 像素以上及横向 3 像素以上构成的涉及合计 9 像素以上的像素区域为最小单位实施复原处理 F，以在摄像

透镜 10 的分辨率高时生成与从摄像元件 20 输出的第 1 图像数据 G1 同等的第 2 图像数据 G2；及系数存储部 30，存储有用于复原处理的复原系数 K；且上述制造方法利用存储在系数存储部 30 中的复原系数 K 执行复原处理。

[0150] 该制造方法通过摄像透镜 10 将点像 P1 投影到受光面 21 上，在系数存储部 30 中存储与由从摄像元件 20 输出的第 1 图像数据 G1 表示的点像 P1 的状态对应的复原系数 K。

[0151] 在该摄像系统的制造方法中可以采用利用上述第 1 例的复原系数取得装置 70A、第 2 例的复原系数取得装置 70B、或第 3 例的复原系数取得装置 70C 求出复原系数并将该复原系数存储在各摄像系统 100A、100B…的系数存储部的方法。

[0152] 以下，关于利用第 1 例的复原系数取得装置 70A、第 2 例的复原系数取得装置 70B 及第 3 例的复原系数取得装置 70C 的摄像系统的制造方法进行具体说明。而且，关于摄像系统 100A、100B…及上述第 1 例的复原系数取得装置 70A、第 2 例的复原系数取得装置 70B、及第 3 例的复原系数取得装置 70C 的结构及作用等，由于与上述的摄像系统 100 相关的内容相同，所以省略重复的说明，而对与上述摄像系统 100 的说明不重复的摄像系统的制造方法的内容进行说明。

[0153] 《关于与第 1 例的复原系数取得装置 70A 对应的摄像系统的制造方法》

[0154] 在将对每个摄像系统单独求出的复原系数分别存储于摄像系统的“1 对 1”对应的制造工序中，需要进行：

[0155] (1) 点像测量、判断画面内均匀性

[0156] (2) 导出提供最佳的复原处理的系数组（复原系数）

[0157] (3) 记录最佳的系数组

[0158] 对各功能进行更详细的说明。

[0159] (1) 是在各摄像透镜和摄像元件的组合中，实际测量、判断成像性能（分辨率）的功能。作为基于从摄像元件得到的电信号（第 1 图像数据）测量光学点像的机构，有市售的法国 D×O 公司的 D×O 分析仪。其是利用了 D×O 公司提倡的表示所谓 B×U 的模糊的概念的机构，所以可以根据来自数字照相机的输出信号求出点像（光学点像、图像处理后点像均可求出）。

[0160] 具体地，该 D×O 分析仪通过对拍摄某个指定的图表（在白底上排列无数个黑圆点的图表）而得到的图像数据（第 1 图像数据）进行分析，来计算摄像元件的受光面上的任意的点处的点像大小 (http://www.dxo.com/jp/image_quality/dxo_analyzer)。

[0161] 而且，测量光学点像的机构只要是可以根据来自数字照相机（即传感器）的输出信号计算点像的测量机构即可，不问其形式。

[0162] 另一方面，在按照光学设计值的情况下的点像的大小可以由设计该光学系统的工具计算，所以通过比较由该计算得到的“设计值点像”和由 D×O 分析仪等的测量器测量的“测量点像”的大小，可以判断测量点像从设计值偏移哪种程度。例如，在光学部件有组装误差情况下的测量点像的大小，多半与设计值点像相比变大。此外，投影到摄像元件的受光面上的点像的有效区域的形状或亮度分布本来形成点对称的形状或分布，但是若摄像透镜倾斜或其轴偏移，则局部地产生前模糊、后模糊，成为所谓的“单模糊状态”。通过比较上述“设计值点像”和“测量点像”求出这种距设计值的偏离，进而可以判断是否能说是正如设计值。此外，即使不拘泥于设计值点像，也可以任意地定义理想状态，比较其理想状态 (“理想

点像”）和“测量点像”来判断其差异。

[0163] (2) 是执行以核维纳滤波器 (Kernel Wiener Filter) 为基本的复原处理，且通过计算求出使上述“测量点像”接近“设计值点像”或“理想点像”的系数组（复原系数）的阶段。核维纳波滤器如文献（鹫沢嘉一、山下幸彦著，题目“Kernel Wiener Filter”，2003 Workshopon Information-Based Induction Sciences，(IBIS2003)，Kyoto，Japan，Nov11-12，2003）所示，作为在原信号经过某些滤波而与噪声一起被观测时从包含噪声的观测信号中推算原信号的技术方法，被广泛使用。这里，若将原信号设为“被拍摄的物体”，作为滤波系统设为“摄像透镜 + 摄像元件”，将观测信号设为“图像信号（第 1 图像数据）”，并且将噪声设为“设计值点像（或者理想点像）和测量点像的差异”，则可以应用核维纳滤波器推算“被拍摄的物体”。

[0164] 若实物的“摄像透镜 + 摄像元件”没有一切误差原因，则所拍摄的物体就应当是图像信号，在经过该复原处理之后原理上得到理想的“图像信号（第 2 图像数据）”。实际上，还存在基于原来的 (1) 的测量误差等，噪声成分未被全部除去而残留一部分，但是测量点像接近设计值点像或理想的点像的事实是可靠的，作为最终的图像的品质得到提高。

[0165] 具体地，在由于某种误差原因而光学点像大于设计值、或者在成像面内不均匀的情况下，也可以通过复原处理将该点像校正为较小、或者在成像面内均匀化，从而可以确保经得起实用的性能。此外，在不仅是基于制造的误差原因、不得不具有设计上较低的性能（光学点像大于元件间距）的光学系统中，也可以通过校正点像提高外观上光学性能。若追求该外观上的光学性能提高，则有可能超越理论上所示的极限分辨率，所以在考虑到近年来的像素尺寸的小型化的倾向时非常有用。

[0166] 这里，极限分辨率由爱里斑的大小给出，无像差透镜的点像强度的有效区域（峰值强度 $\times(1/e^2)$）的半径 Re、及成为强度零的半径 Rc 由以下式规定。作为摄像元件所使用的最近的 CMOS 元件的像素间距为 2.2 微米、1.75 微米，今后预计 1.4 微米、1.0 微米成为主流。作为例子，若以 F2.8、波长 550nm 计算 Re 及 Rc，则分别为：

[0167] Re（点像强度的有效区域的半径）$= 0.82\lambda F = 0.82\times 2.8\times 550\times 0.001 = 1.26$ 微米（点像强度的有效区域的直径 2.52 微米）

[0168] Rc（点像强度成为零的半径）$= 1.22\lambda F = 1.22\times 2.8\times 550\times 0.001 = 1.88$ 微米（点像强度成为零的直径 3.76 微米），

[0169] 而像素间距已经超过衍射极限。

[0170] 衍射极限以无像差为前提，但是现实的光学系统没有无像差的情况，特别是鉴于谋求小型化、低成本化，像差反而残留，不得已具有妥协的性能。基于核维纳滤波器的复原处理，在这种状况下，也可以将作为最终的图像的品质提高到实用性的程度。

[0171] 上述的复原处理设想在某个特定的像面上或其很近处（前模糊后模糊的范围）执行，但是在与摄影距离的变动对应的散焦方向的无数的像面组中，若考虑消除测量点像和设计值点像的差的复原处理，则可以扩大焦点深度。

[0172] 在复原处理的执行中，应消除的噪声成分根据各“摄像透镜 + 摄像元件”各式各样，希望对每个“摄像透镜 + 摄像元件”的组合进行最佳的复原处理。但是，复原处理自身的算法相同即可，因此参照的“系数组”最佳即可。

[0173] (3) 是实际上使“摄像透镜 + 摄像元件”的组组合“最佳的系数组”的阶段。为此，

应当在某个记录介质中存储用于执行最佳的复原处理的系数组且将它加到“摄像透镜 + 摄像元件”的组中。因此，需要记录过程。

[0174] 这样，通过将摄像系统作为“摄像透镜 + 摄像元件 + 记录介质”的组而使用，从而光学性的点像（也称光学点像）被校正为适合用途的形式，最终可以得到良好的品质的图像。具体地，提供一种即使因某种理由（制造公差、原来的设计值低）而分辨率不满足但作为处理后的图像也可实现满足的分辨率的机构。此外，还可以提供与各摄像透镜和摄像元件的组的特性一致的焦点深度扩大机构。

[0175] 《关于与第 2 例的复原系数取得装置 70B 对应的摄像系统的制造方法》

[0176] 叙述制造由摄像透镜、摄像元件、信号处理电路构成的上述点像校正光学系统的第 2 优选方法，但是作为其定位设想了廉价地生产大量的数字照相机的情况。在其制造工序中需要进行：

[0177] (1) 构建用于复原处理的系数（复原系数）组的库

[0178] (2) 点像测量、判断画面内均匀性

[0179] (3) 从库中提取提供组单位的最佳的复原处理的系数组

[0180] (4) 记录组单位的最佳的系数组。

[0181] 更详细地说明各功能。

[0182] (1) 是预先对大致可收罗整体趋势的数量的摄像透镜（例如所有批号的 10 分之 1）进行测量，将其分辨率趋势（不良趋势）分组。运算对其各组的最佳的复原处理，求出在各组单位的最佳的系数组来构建库。理想的是，如第 1 例那样按“1 对 1”对应来分配系数组是理想的，但是在大量生产的情况下或要抑制成本时不适合。因此，如本实施例，将整体某种程度上区分为组，做成求出在其组单位下的最佳解的库。

[0183] (2) 与第 1 例的 (1) 相同，但是，根据测量点像进行属于在上述第 2 例的 (1) 求出的哪个组的判断。实际上，在进行上述分组时，对于预先测量出的以外也分配到组（例如所有批号的 10 分之 9）。

[0184] (3) 是从库中提取在上述 (2) 判断的组的最佳的系数组的阶段，被选择的系数组应用于该“摄像透镜 + 摄像元件”的组。这时，不逐一求出对各“摄像透镜 + 摄像元件”的组的最佳系数组。由此，可以缩短第 1 例所需的运算时间，可以廉价地实现大量生产。

[0185] (4) 与第 1 例的 (3) 相同。

[0186] 《关于与第 3 例的复原系数取得装置 70C 对应的摄像系统的制造方法》

[0187] 叙述制造由摄像透镜、摄像元件、信号处理电路构成的上述点像校正光学系统的第 3 优选方法，但是作为其定位设想了廉价地生产大量的数字照相机的情况。在其制造工序中需要进行：

[0188] (1) 构建用于复原处理的系数（复原系数）组的库

[0189] (2) 点像测量、判断画面内均匀性

[0190] (3) 从库中提取提供最佳的复原处理的系数组

[0191] (4) 部分修改该系数组

[0192] (5) 记录被修改的系数组。

[0193] 更详细地说明各功能。

[0194] (1)(2)(3) 与第 2 例的 (1)(2)(3) 相同。

[0195] (4) 是部分修改提取出的系数组的过程。系数组构成某个数值的排列，但是对仅修改其一部分的“摄像透镜 + 摄像元件”加以需要的修改。与将所有系数组最佳化的上述第 1 例不同，仅部分修改系数，所以时间上较短就可结束。

[0196] (5) 是记录修改的已校正的系数组的阶段，从而构成“摄像透镜 + 摄像元件 + 记录介质”的组。

[0197] 如上述，通过本发明的摄像系统的制造方法制造的摄像系统，可以使对投影到受光面上的光学像进行拍摄得到的图像数据的质量容易提高。

[0198] [关于各构成因素的变形例]

[0199] 下面，对摄像系统及摄像系统的制造方法中的构成因素的变形例进行说明。

[0200] 此外，信号处理部不限于将包含投影到受光面上的点像的全部有效区域的最小像素区域作为最小单位执行复原处理的情况，还可以将包含全部有效区域但不是最小的像素区域作为最小单位执行复原处理。

[0201] 而且，不限于信号处理部执行复原处理以使得第 2 图像数据表示的图像中的点像的有效区域的大小小于第 1 图像数据表示的图像中的点像的有效区域的大小的情况，还可以执行复原处理以使第 1 图像数据表示的图像中的点像的有效区域的大小大于等于第 2 图像数据表示的图像中的点像的有效区域的大小。

[0202] 而且，具有上述摄像系统的本发明的摄像装置、移动终端设备、车载设备、及医疗设备等的要求景深深的装置，能够以与上述同样的方式容易地提高各装置中设置的摄像系统对投影到受光面的光学像进行拍摄而得到的图像数据的质量。

[0203] 图 22 是表示搭载了具有摄像系统的车载设备的汽车的图。

[0204] 如图 22 所示，具有本发明的摄像系统的车载设备 502 ～ 504 可以搭载于汽车 501 等上使用。该汽车 501 具有用于拍摄助手席侧的侧面的死角范围的车外照相机即车载设备 502、用于拍摄汽车 1 的后侧的死角范围的车外照相机即车载设备 503、及安装在内视镜的背面而用于拍摄与驾驶员相同的视野范围的车内照相机即车载设备 504。

[0205] 图 23 是表示具有摄像系统的移动终端设备即便携电话机的图。

[0206] 如图所示，该便携电话机 510 在便携电话机的壳体 511 中配置有摄像系统 512。

[0207] 图 24 是表示具有摄像系统的医疗设备即内窥镜装置的图。

[0208] 如图所示，观察生物组织 525 的该内窥镜装置 520，在内窥镜装置 520 的前端部 521 配置有用于拍摄由照明光 La 照亮的生物组织 525 的摄像系统 522。

[0209] 这样，如上所述的具有摄像系统的本发明的摄像装置、移动终端设备、车载设备、及医疗设备，容易与以往公知的摄像装置、移动终端设备、车载设备、及医疗设备具有的现有摄像系统进行更换。即，以往公知的摄像装置、移动终端设备、车载设备、及医疗设备的装置尺寸或形状等不变更，而将这些装置具有的现有摄像系统更换为本发明的摄像系统，也可以构成本申请发明的摄像装置、移动终端设备、车载设备、及医疗设备。

[0210] 而且，本发明的摄像系统的摄像透镜和摄像元件也可以如下地构成：例如在关于 Z 方向被限制在 10f 以上、关于 X、Y 方向也限制到某个物体高度的范围内，对于从物空间的 X、Y、Z 方向的任意位置投影到受光面上的点像，该点像的有效区域的最大直径成为形成涉及摄像元件的受光面的受光像素的 3 像素以上的大小。

[0211] 此外，摄像透镜优选如下地构成：对于从离开该摄像透镜的焦距的 10 倍以上的 X、

Y、Z 方向的任意位置通过该摄像透镜投影到受光面上的被摄体的光学像，与该光学像有关的 MTF 特性的值也为正。而且，“离开摄像透镜的焦距的 10 倍以上的位置”表示“将构成摄像透镜的透镜面中最靠近被摄体侧的面和该摄像透镜的光轴相交的位置作为基准位置，从该基准位置沿着该摄像透镜的光轴方向（Z 轴）向被摄体侧离开焦距的 10 倍以上的位置”。

[0212] 而且，该摄像系统可以如下地构成：摄像透镜和摄像元件仅对从关于 X、Y、Z 方向的至少任意的方向限定的位置通过摄像透镜投影到受光面上的点像，使该点像的有效区域的最大直径成为涉及形成受光面的受光像素的 3 像素以上的大小。在这种情况下，可以仅对表示投影到受光面上的点像的有效区域的最大直径成为涉及受光像素的 3 像素上的大小的区域的第 1 图像数据实施复原处理而得到第 2 图像数据。

[0213] 此外，该摄像系统可以构成为仅通过由轴对称形状构成的光学部件将被摄体的光学像投影到受光面上，或者可以构成为通过由非轴对称形状构成的光学部件将被摄体的光学像投影到受光面上。而且，上述摄像透镜优选景深深的透镜。即，即使由于被摄体的移动、或摄像透镜的焦点调节等，被摄体的光学像投影到受光面上的状态产生变化，也优选将摄像透镜和摄像元件构成为投影到受光面上的点像的模糊状态的变化减少。更具体地，优选将摄像透镜和摄像元件构成为投影到受光面上的点像的有效区域的大小及对比度的变化减少。但是，摄像系统不限于具备景深深的摄像透镜的情况，也可以具备景深浅的摄像透镜。

[0214] 此外，用于上述摄像系统的摄像元件可以做成 CCD 元件、或 CMOS 元件。

[0215] [摄像透镜的透镜结构及作用]

[0216] 接着，对用于上述摄像系统 100 的实施例 1 ～ 3 的各摄像系统的结构及作用具体地进行说明。用于上述实施例 1 ～ 3 的各摄像系统的后述的各摄像透镜 10A ～ 10C 成为上述摄像透镜 10 的实施例。

[0217] 而且，上述摄像系统 10 从被摄体侧（物侧）依次具有：由至少 1 片透镜构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组；及至少由 1 片透镜构成的、位于最靠像侧的透镜具有负的光焦度的第 2 透镜组。

[0218] 《关于实施例 1 的摄像系统》

[0219] 图 11 是表示实施例 1 的由 4 片单透镜构成的摄像透镜 10A 的简要结构的截面图，图 12(a) ～ (d) 是在横轴表示通过摄像透镜 10A 投影有被摄体的像的受光面的光轴方向 (Z 轴方向）的散焦量 Ud(μm)、纵轴表示 MTF 特性的值（%）的坐标上，表示在相对于上述摄像透镜使受光面散焦时投影到该受光面上的光学像的 MTF 特性的值（%）的变化的图。这里，受光面 21A 的散焦范围是 400μm。

[0220] 更详细地，上述图 12(a) ～ (d) 是表示在固定被摄体相对于摄像透镜 10A 的位置的状态下使受光面 21A 散焦时的、与投影为各种像高的光学像有关的 MTF 特性的值（%）的变化的图。图 12(a) 是表示 20 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 12(b) 是表示 30 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图，图 12(c) 是表示 40 根 /mm、图 12(d) 是表示 50 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化的图。

[0221] 而且，就图 12 所示的表示散焦量的横轴 Ud 而言，其值增大的方向 (Ud 的值接近 400μm 的方向）表示摄像透镜和受光面分离开的方向，其值减小的方向 (Ud 的值接近 0 的方向）表示受光面和摄像透镜接近的方向。

[0222] 如图 11 所示，摄像透镜 10A 沿着光轴 C(Z 轴）从被摄体侧（图中箭头—Z 方向侧）依次排列有孔径光阑 Sat、第 1 单透镜 La1、第 2 单透镜 La2、第 3 单透镜 La3、第 4 单透镜 La4、光学部件 GLa1。而且，图 11 所示的透镜面 R1、R3、R5、R7 表示各单透镜 La1 ～ La4 的入射侧的面，透镜面 R2、R4、R6、R8 表示各单透镜 La1 ～ La4 的射出侧的面。通过上述摄像透镜 10A 将被摄体的光学像投影到受光面 21A 上。

[0223] 而且，在受光面 21A 的被摄体侧，根据摄像系统的结构优选配置盖玻璃、低通滤波器或红外线截止滤波器等，在图 11 中示出配置这些在设想下的呈平行平板形状的不具有光焦度的光学部件 GLa1 的例子。此外，孔径光阑 Sat 不表示其形状或大小，而表示其在光轴 Z 上的位置。

[0224] 此外，在图 11 中，从轴上光线 Ja1 到以最大视场角入射的轴外光线 Ja5，从像高低的一侧起依次示出 5 个光线 Ja1、Ja2、Ja3、Ja4、Ja5。

[0225] 而且，图 12(a) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mta20 表示在上述 5 个光线投影到受光面 21A 上的各位置处的 20 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化。图 12(b) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mta30 表示在与上述相同的各位置处的 30 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化，图 12(c) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mta40 也表示在与上述相同的各位置处的 40 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化，图 12(d) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mta50 也表示在与上述相同的各位置处的 50 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化。

[0226] 此外，在图 11 所示的构成例子中，示出在第 4 单透镜 La4 和受光面 21A 之间配置光学部件 GLa1 的例子，但是在各透镜之间也可以配置低通滤波器或截止特定波段的各种滤波器。或者，在从第 1 单透镜 La1 到第 4 单透镜 La4 的任意透镜的透镜面上施以具有与各种滤波器同样的作用的表面处理（涂敷）。

[0227] 该摄像透镜 10A 从物侧起依次具有：由 3 片单透镜 La1、La2、La3 构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组 GFa；及由 1 片单透镜 La4 构成的、具有负的光焦度的第 2 透镜组 GRa，第 2 透镜组 GRa 中的位于最靠像侧的透镜面 R8 具有轴外曲点 Qa。

[0228] 而且，如上所述，曲点是透镜面上的点，该点的切平面与光轴 C(Z 轴）垂直的情况下，将该点称为曲点。而且，将透镜面上的与光轴相交的点以外的曲点称为轴外曲点。

[0229] 就该摄像透镜 10A 而言，透镜面 R8 是在该透镜面 R8 的中心部向像侧呈凹面而在周边部向像侧呈凸面的透镜面。而且，该透镜面 R8 满足下述条件式 (1)。

[0230] $0.5H<h<H$ …… (1)

[0231] 其中，

[0232] H：透镜面 R8 的有效半径

[0233] h：从透镜面 R8 的轴外曲点 Qa 到光轴的距离。

[0234] 此外，从透镜面 R8 的轴外曲点 Qa 到光轴的距离 h 还称为：切平面相对于非球面顶点的切平面（与光轴垂直的平面）的倾斜度成为 0 的非球面上的点距光轴的高度。

[0235] 而且，构成该摄像透镜 10A 的第 1 透镜组 GFa 的 3 片单透镜 La1、La2、La3 中的位于最靠近被摄体侧（图中箭头—Z 方向的侧）的第 1 片单透镜 La1 具有正的光焦度，而且该单透镜 La1 的被摄体侧的透镜面 R1 在被摄体侧呈凸面。第 1 透镜组 GFa 中的与第 1 片单透镜 La1 相邻的第 2 片单透镜 La2 具有负的光焦度，而且该第 2 片单透镜 La2 的像侧（图中箭头 +Z 方向的侧）的透镜面 R4 在像侧呈凸面。第 1 透镜组 GFa 中的位于最靠像侧的第

3 片单透镜 La3 具有正的光焦度。

[0236] 以下，对实施例 1 涉及的摄像透镜 10A 的设计数据进行说明。

[0237] 表 1 示出透镜数据及各种数据，表 2 示出各非球面上的非球面式的各系数，表 3 示出摄像透镜 10A 的简要规格。

[0238] [表 1]

[0239] 实施例 1(4 片透镜)

[0240]

面号码	Ri	Di	Ndj	vdj
孔径光阑	∞	0.119		
1*	2.070	1.110	1.47136	76.6
2*	-15.959	0.800		
3*	-2.162	0.679	1.60595	27.0
4*	-9.117	0.100		
5*	6.048	1.000	1.51007	56.2
6*	29.492	0.314		
7*	2.160	1.100	1.51007	56.2
8*	1.782	0.700		
9	∞	0.300	1.51633	64.1
10	∞	0.376		
像面	∞	0.000		

[0241] 焦距 5.277

[0242] F 值 2.8

[0243] [表 2]

[0244] 实施例 1(4 片透镜)

[0245]

面号码	K	A3	A4	A5	A6
1	1.21129740	-0.02464958	0.05275897	-0.12023671	0.05100521
2	-10.00343250	-0.00475970	-0.02553074	-0.01379899	-0.01198224
3	1.55127390	-0.00118810	-0.13263220	0.10838046	0.00206148
4	-9.27863960	-0.10122820	-0.11447178	0.12665960	0.00449924
5	-50.08963290	-0.13043949	0.06749931	0.00339300	-0.01076773
6	10.02612250	-0.01717648	-0.00600583	-0.00521320	-0.00090616
7	-10.06977900	0.03412823	-0.07001306	-0.00663654	0.00200906
8	-4.22653160	0.03095479	-0.07589071	0.02710552	-0.00354984

[0246]

面号码	A7	A8	A9	A10
1	0.04176113	-0.01010916	-0.04612620	0.01953189
2	0.00539686	0.01124139	-0.01613398	0.00437339
3	-0.04216384	0.00198517	0.04783041	-0.02009110
4	-0.02944682	-0.00473446	0.00920799	0.00141127
5	-0.00966040	-0.00019870	0.00284438	-0.00122221
6	-0.00162871	-0.00057243	0.00043875	-0.00004603
7	0.00239877	-0.00064428	-0.00007006	0.00007089
8	-0.00120134	0.00045058	0.00008157	-0.00003850

[0247] [表 3]

[0248] 实施例 1 F 值 2.8/ 焦距 5.277mm 4 片结构

[0249]

点像的有效区域的最大直径 Dmax（μm）	按各像素区域的每个像素间距换算的、与点像的有效区域的最大径Dmax对应的像素数量Ngs			最短摄影距离 Sk（mm）	焦点深度 Sd（μm）	h：H/2
	像素间距Pg＝2.2μm换算	像素间距Pg＝1.85μm换算	像素间距Pg＝1.4μm换算			
10	4.5	5.7	7.1	26f	250	1.73：1.38
7	3.2	4.0	5.0	22f	300	

[0250] 如表 1 的透镜数据的下方所示，摄像透镜 10A 的焦距 f 是 5.277mm，F 值是 2.8。

[0251] 在表 1 的透镜数据中，面号码表示以最靠近被摄体侧的透镜面为第 1 个、随着朝向像侧依次增加的第 i 个（i ＝ 1、2、3、…）的面号码。而且，表 1 还包含记载孔径光阑 Sat 和光学部件 GLa1，还记载了光学部件 GLa1 的面号码（i ＝ 9、10）。

[0252] 表 1 的 Ri 表示第 i 个（i ＝ 1、2、3、…）的面的近轴曲率半径，Di 表示第 i（i ＝ 1、2、3、…）个面和第 i+1 个面的光轴 Z 上的面间隔。表 1 的 Ri 与图 1 的符号 Ri（i ＝ 1、2、3、…）对应。

[0253] 表 1 的 Ndj 表示以最靠近被摄体侧的光学因素为第 1 个、随着朝向像侧依次增加的第 j 个（j ＝ 1、2、3、…）的光学因素对 d 线（波长 587.6nm）的折射率，vdj 表示第 j 个光学因素的对 d 线的阿贝数。在表 1 中，近轴曲率半径及面间隔的单位是 mm，近轴曲率半径在被摄体侧为凸的情况设为正、在像侧为凸的情况设为负。而且，对于表 1 中的记号的含义在后述的实施例中也相同。

[0254] 在表 1 的透镜数据中，非球面在面号码附加＊记号。各非球面由下述非球面式定义。

[0255] ［数学式 1］

[0256] $$Z=\frac{Y^2/R}{1+(1-K\cdot Y^2/R^2)^{1/2}}+\sum_{i=3}^{20}AiY^i$$

[0257] Z：非球面深度（从高度 Y 的非球面上的点下垂到非球面顶点相切的与光轴垂直的平面的垂线的长度）

[0258] Y：高度（从光轴的距离）

[0259] R：近轴曲率半径

[0260] K、Ai：非球面系数（i ＝ 3 ～ 20）

[0261] 表 2 表示非球面式中的各非球面的各系数 K、A3、A4、A5…的值。

[0262] 构成摄像透镜 10A 的各单透镜 La1 ～ La4 都是入射侧及出射侧的透镜面两者同时呈非球面形状。

[0263] 此外，在表 3 中示出实施例 1 的摄像系统中的、点像的有效区域的最大直径 Dmax、与点像的有效区域的最大直径 Dmax 对应的像素数量（像素区域的数量）Ngs、最短摄影距离 Sk、焦点深度 Sd 的关系。

[0264] 而且，表 3 中的“h :H/2”的栏的“h”表示从光轴到上述透镜面 R8 的轴外曲点的距离。此外，“H/2”示出透镜面 R8 的有效半径 H 的 1/2 的大小 (0.5H 的大小)。这里，可知透镜面 R8 满足上述“0.5H<h<H”的条件式 (1)。

[0265] 此外，就表 3 中的像素数量 Ngs 而言，按受光面上的像素区域的每个像素间距 Pg(2.2μm、1.85μm、1.4μm) 示出与点像的有效区域的最大直径对应的像素区域的数量。这里，像素数量 Ngs 的值根据像素数量 Ngs ＝最大直径 Dmax/ 像素间距 Pg 的式求出。

[0266] 上述点像的有效区域的最大直径 Dmax 是该点像的有效区域包含最多的像素的方向上的点像的有效区域的直径，像素间距 Pg 是上述方向上的像素区域 (受光像素) 的间距。

[0267] 最短摄影距离 Sk 是将摄像透镜供于实用时的推荐值，表示能够以期望的分辨率将被摄体的像投影到受光面上的摄像透镜到被摄体为止的最短距离。该最短距离由摄像透镜的最靠近被摄体侧的透镜面 (这里是透镜面 R1) 到被摄体为止的距离 (摄影距离) 表示。

[0268] 该最短摄影距离包含在拍摄投影到受光面的光学像所获得的图像数据的质量由复原处理提高的效果能够得到的摄影距离的范围内。

[0269] 而且，从实施例 1 到 3 的摄像系统中，得到通过复原处理提高图像数据的质量的效果的摄影距离的范围，是摄影距离 0 到∞ (无限远) 的范围，是可拍摄被摄体的整个范围。

[0270] 焦点深度 Sd 示出在固定被摄体对摄像透镜的位置的状态下使受光面散焦时，能够以规定以上的分辨率将被摄体的像投影到受光面上的散焦的范围。该焦点深度 Sd 是在预定位置固定受光面对摄像透镜的位置的状态下，被考虑为某种程度上与能够以预定分辨率将被摄体投影到受光面上的摄影距离的范围对应的值。即，若焦点深度 Sd 的值增大，则可认为以预定分辨率将被摄体投影到受光面上的摄影距离的范围也扩大。

[0271] 而且，上述非球面式的定义、及表 1、表 2、表 3 中的透镜数据、各种数据、非球面式的各系数、有关摄像透镜的简要规格的式、数值、用语等的含义对于后述的实施例也相同。

[0272] 根据表 3 可知，实施例 1 的摄像系统构成为 :在投影到受光面 21A 上的点像的有效区域是 7μm 以上、且构成受光面 21A 的受光像素的像素间距是 2.2μm 以下时，点像的有效区域的最大直径涉及 3 像素 (3.2 像素) 以上。

[0273] 此外，最短摄影距离 Sk 的值在设点像的有效区域的最大直径 Dmax 为 10μm 时是 26f(大约 137mm)，在设点像的有效区域的最大直径 Dmax 为 7μm 时为 22f(大约 116mm)。

[0274] 摄像透镜 10A 的焦点深度 Sd 的值在设点像的有效区域的最大直径 Dmax 为 10μm 时是 250μm，在设点像的有效区域的最大直径 Dmax 为 7μm 时为 300μm。

[0275] 关于与上述实施例 1 的摄像系统有关的 MTF 特性的值，在使受光面 21A 与摄像透镜 10A 最接近时，即，在图 12(a) ～ (d) 中散焦量 Ud 的值为 0 时，空间频率 20 ～ 50Line/mm(也称 :根 /mm) 的所有 MTF 特性的值为正。

[0276] 此外，将受光面 21A 远离摄像透镜 10A 时，即，在图 12(a) ～ (d) 中设散焦量的值为 300μm 时，空间频率 20 ～ 50Line/mm 的所有 MTF 特性的值为正。

[0277] 即，在散焦量的值为 0 ～ 300μm 的范围内时，空间频率在 20 ～ 50Line/mm 的所有 MTF 特性的值为正。

[0278] 在散焦量的值是 300μm 到 400μm 的范围时，空间频率在 30 ～ 50Line/mm 的 MTF 特性的值从 0％反转并产生伪分辨。用图中箭头 Gik 表示产生伪分辨的范围。

[0279] 这里，在与投影到受光面上的被摄体的像有关的 MTF 特性的值大于 0％时，拍摄该像得到的图像数据可以说持有有光学意义的信息，所以该图像数据成为具有实施复原处理而可以提高分辨率的可能性的数据。但是，与投影到受光面上的被摄体的像有关的 MTF 特性的值为 0％或从 0％折反而产生伪分辨时，拍摄该像得到的图像数据不持有有光学意义的信息，因此，即使对这种图像数据实施复原处理，也不能提高图像数据的质量（图像数据表示的图像的分辨率）。

[0280] 根据上述事实，若采用该摄像系统，在受光面 21A 和摄像透镜 10A 的位置关系得到固定的预定的状态下，使摄影距离变化到 22f ～∞的范围时，能够使通过将被摄体投影到受光面 21A 上而成的像的 MTF 特性成为始终比 0％大的值（可以使其不产生伪分辨）。

[0281] 即，在摄影距离为 0 ～∞的范围，可以使投影到受光面 21A 上的被摄体的像成为有意义的像。

[0282] 而且，在 0 ～∞的范围内改变摄影距离时，投影到该受光面 21A 上的点像的有效区域成为涉及受光面 21A 上的 3 像素以上的大小，所以可以通过对该范围存在的被摄体进行拍摄得到的图像数据实施复原处理来提高图像的分辨率。

[0283] 即，通过实施例 1 的摄像系统对投影到受光面 21A 上的包含摄影距离在 22f ～∞的范围的各种被摄体的像进行拍摄得到的图像数据，可以说满足用于实施复原处理的前提条件（提高分辨率的条件）。

[0284] 而且，通过将投影到受光面 21A 上的点像的大小变动抑制为较少，可以更容易执行复原处理。即，例如，即使投影到受光面上的像是包含置于互不相同的各种摄影距离的被摄体的像，若构成各被摄体的像的点像的模糊状态相同，则对于表示位于任何位置的被摄体的图像数据来说，也可以不变更参数而执行复原处理。由此，可以减轻进行复原处理的运算的信号处理部的负担。

[0285] 另一方面，在以始终利用相同的参数执行复原处理为前提的情况下，若投影到受光面上的构成位于互不相同的各种摄影距离的被摄体的像的点像的模糊状态相同，则通过实施复原处理，从而对表示位于任何位置的被摄体的图像数据也可以将表示其被摄体的图像的分辨率同样地提高。即，通过复原处理的实施，可以关于图像整体均匀地提高图像的分辨率。

[0286] 这样，通过实施增大摄像透镜 10A 的焦点深度的设计，从而由对通过摄像透镜 10A 投影到受光面 21A 上的包含摄影距离位于 22f ～∞的范围的各种被摄体的像进行拍摄得到的图像数据所表示的图像整体的分辨率可以利用复原处理得到提高。

[0287] 此外，根据如上那样设计的摄像透镜 10A，可以减少入射到受光面 21A 的光相对于该受光面 21A 的入射角，即，可以得到焦阑性良好的摄像透镜。

[0288] 以下，对实施例 2 及实施例 3 的摄像系统进行说明。而且，对于实施例 2 及实施例 3 的摄像系统的光学特性等，与上述实施例 1 的摄像系统的光学特性类似，所以省略详细的说明。

[0289] 《关于实施例 2 的摄像系统》

[0290] 图 13 是表示实施例 2 的由 3 片单透镜构成的摄像透镜 10B 的简要结构的截面图，图 14(a) ～ (d) 是在横轴表示受光面的光轴方向 (Z 轴方向) 的散焦量 Ud(μm)、纵轴表示 MTF 特性的值 (％) 的坐标上，表示在相对于上述摄像透镜使受光面散焦时投影到该受光面

上的光学像的 MTF 特性的值（%）的变化的图。这里，受光面的散焦范围是 400μm。

[0291] 此外，表示与摄像透镜 10B 有关的摄像系统的 MTF 特性的图 14(a) ～ (d) 对应于表示与上述摄像透镜 10A 有关的 MTF 特性的图 12(a) ～ (d)。

[0292] 如图 13 所示，摄像透镜 10B 沿着光轴 C(Z 轴）从被摄体侧（图中箭头—Z 方向侧）起依次分别排列有孔径光阑 Sbt、第 1 单透镜 Lb1、第 2 单透镜 Lb2、第 3 单透镜 Lb3、第 1 光学部件 GLb1、及第 2 光学部件 GLb2。而且，图 13 所示的透镜面 R1、R3、R5 表示各单透镜 Lb1 ～ Lb3 的入射侧的面，透镜面 R2、R4、R6 表示各单透镜 Lb1 ～ Lb3 的射出侧的面。通过上述摄像透镜 10B 将被摄体的光学像投影到受光面 21B 上。

[0293] 而且，各第 1 光学部件 GLb1、第 2 光学部件 GLb2 是由平行平板构成的不具有光焦度的光学部件。

[0294] 在第 3 单透镜 Lb3 和受光面 21B 之间配置有不具有光焦度的第 1 光学部件 GLb1、及第 2 光学部件 GLb2。

[0295] 此外，在图 13 中，从轴上光线 Jb1 到以最大视场角入射的轴外光线 Jb5，从像高低的一侧起依次示出 5 个光线 Jb1、Jb2、Jb3、Jb4、Jb5。

[0296] 而且，图 14(a) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mtb20 表示上述 5 个光线投影到受光面 21B 上的各位置处的 20 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化。图 14(b) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mtb30 表示与上述相同的各位置处的 30 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化，图 14(c) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mtb40 也表示与上述相同的各位置处的 40 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化，图 14(d) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mtb50 也表示与上述相同的各位置处的 50 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化。

[0297] 该摄像透镜 10B 从被摄体侧起依次具有：由 2 片单透镜 Lb1、Lb2 构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组 GFb；及由 1 片单透镜 Lb3 构成的、具有负的光焦度的第 2 透镜组 GRb，第 2 透镜组 GRb 中的位于最靠像侧（图中箭头 Z+ 方向）的透镜面 R6 具有轴外曲点 Qb。

[0298] 就上述摄像透镜 10B 而言，第 2 透镜组 GRb 的位于最靠像侧的透镜面 R6，是在该透镜面 R6 的中心部向像侧呈凹面而在周边部向像侧呈凸面的透镜面。而且，该透镜面 R6 满足上述条件式 (1) “0.5H<h<H”。

[0299] 而且，构成第 1 透镜组 GFb 的 2 片单透镜 Lb1、Lb2 中的位于被摄体侧（图中箭头—Z 方向的一侧）的第 1 片单透镜 Lb1 具有正的光焦度，而且该单透镜 Lb1 的被摄体侧的透镜面 R1 在被摄体侧呈凸面。第 1 透镜组 GFb 中的位于像侧的第 2 片单透镜 Lb2，该单透镜 Lb2 的像侧的透镜面 R4 在像侧呈凸面。

[0300] 以下，对实施例 2 涉及的摄像透镜 10B 的设计数据进行说明。

[0301] 表 4 示出透镜数据及各种数据，表 5 示出各非球面上的非球面式的各系数，表 6 示出摄像透镜 10B 的简要规格。而且，表 4 的 Ri 和图 13 中的符号 Ri 相对应。

[0302] [表 4]

[0303] 实施例 2(3 片透镜）

[0304]

面号码	Ri	Di	Ndj	vdj
孔径光阑	∞	-0.120		
1*	1.445	0.791	1.53114	55.4
2*	-3.395	0.223		

3*	-1.560	0.764	1.63178	23.2
4*	-11.065	0.234		
5*	1.703	0.960	1.53114	55.4
6*	1.334	0.396		
7	∞	0.495	1.52000	55.0
8	∞	0.244		
像面	∞	0.000		

[0305] 焦距 3.312

[0306] F 值 2.7

[0307] [表 5]

[0308] 实施例 2(3 片透镜)

[0309]

面号码	K	A3	A4	A5	A6
3	0.12852990	0.00976249	-0.03207688	-0.16317950	0.33466830
4	0.09999990	-0.03023295	-0.20760347	-0.06072193	-0.21300370
5	0.10063060	0.07041734	-0.65685088	0.00282485	1.80528090
6	0.09999950	-0.05637836	-0.77217239	0.03211432	2.38962630
7	0.03061670	-0.14017100	-0.88195617	0.01064477	0.95719211
8	0.04380360	-0.03479559	-0.36508266	-0.01863131	0.26961061

[0310]

面号码	A7	A8	A9	A10	A11
3	0.07278352	-1.00740680	0.47470325	3.41529050	-3.16337050
4	0.05253407	0.02422838	-0.03140656	0.09130447	-0.23804840
5	0.28010794	-7.67023220	0.16190599	19.86376700	-0.50337009
6	0.00339539	-5.71596040	0.08306921	10.35335700	0.03386329
7	0.01726570	-0.80297213	-0.00067235	0.40314453	0.00388345
8	0.03974424	0.14562228	-4.22996350	24.18613900	-82.26362800

[0311]

面号码	A12	A13	A14	A15	A16
3	-14.25336100	5.61940790	64.11670800	3.13869750	-154.71176000
4	0.36479431	0.92530303	0.16338034	1.31874660	-1.09966870
5	-26.23953800	-0.07354199	14.72031400	2.25487560	0.40902761
6	-11.67464600	-0.05449995	6.27414510	-0.11930784	2.16706530
7	-0.02324472	0.00733302	-0.02721805	0.00632184	-0.00035338
8	187.43373000	-300.18131000	345.61445000	-287.81496000	171.95004000

[0312]

面号码	A17	A18	A19	A20
3	-1.58385650	210.54242000	-49.25468100	-105.14658000
4	0.07820894	2.68233770	-16.16748300	8.80290720
5	2.07996040	-5.56428710	-8.63704520	4.82174560
6	-0.09071725	-4.49242640	0.05916245	1.59162020
7	0.00058318	-0.00054253	-0.00431963	-0.00138795
8	-71.87173800	19.95655700	-3.30686960	0.24744736

[0313] [表 6]

[0314] 实施例 2 F 值 2.7/ 焦距 3.312mm3 片结构

[0315]

点像的有效区域的最大直径 Dmax（μm）	按各像素区域的每个像素间距换算的、与点像的有效区域的最大径Dmax对应的像素数量Ngs			最短摄影距离 Sk（mm）	焦点深度 Sd（μm）	h：H/2
	像素间距Pg＝2.2μm换算	像素间距Pg＝1.85μm换算	像素间距Pg＝1.4μm换算			
7	3.2	4.0	5.0	16f	250	0.96：0.865

[0316] 构成各摄像透镜 10B 的所有单透镜中的每个单透镜都是入射侧及出射侧的透镜面两者均呈非球面形状。

[0317] 而且，如表 4 的透镜数据的下方所示，摄像透镜 10B 的焦距 f 是 3.312mm，F 值是 2.7。

[0318] 而且，表 4、表 5、表 6 中的透镜数据、各种数据、非球面式的各系数、有关摄像透镜的简要规格的式、数值、用语等的含义与上述实施例 1 的各表 1、2、3 相同，所以省略说明。

[0319] 根据表 6 可知，实施例 2 的摄像系统构成为：在投影到受光面 21B 上的点像的有效区域是 7μm 以上、且构成受光面 21B 的受光像素的像素间距是 2.2μm 以下时，点像的有效区域的最大直径涉及 3 像素（3.2 像素）以上。

[0320] 此外，最短摄影距离 Sk 的值在设点像的有效区域的最大直径 Dmax 为 7μm 时是 16f（大约 53mm）。

[0321] 该最短摄影距离是在对投影到受光面的光学像进行拍摄获得的图像数据的质量由复原处理提高的效果能获得的摄影距离的范围内所包含的距离。

[0322] 摄像透镜 10B 的焦点深度 Sd 的值在设点像的有效区域的最大直径 Dmax 为 7μm 时是 250μm。

[0323] 此外，与该实施例 2 的摄像系统有关的 MTF 特性的值，在使受光面 21B 与摄像透镜 10B 最接近时，即，在设图 14(a) ～ (d) 中散焦量 Ud 的值为 0μm 时，空间频率 20 ～ 50Line/mm 的所有 MTF 特性的值为正。

[0324] 此外，将受光面 21B 远离摄像透镜 10B 时，即，在图 14(a) ～ (d) 中设散焦量的值为 250μm 时，空间频率 20 ～ 50Line/mm 的所有 MTF 特性的值为 5％以上，在散焦量的值为 250μm 到 400μm 的范围内，空间频率 20 ～ 50Line/mm 的所有 MTF 特性的值从 0％反转并产生伪分辨。用图中箭头 Gik 表示产生伪分辨的范围。

[0325] 而且，在散焦量 Ud 的值为 0μm 和 250μm 之间（上述焦点深度的范围内）时，空间频率 20 ～ 50Line/mm 的所有 MTF 特性的值为正。

[0326] 如上所述，根据实施例 2 的摄像系统，在比较宽的散焦范围（大约 250μm），MTF 特性的值成为正。

[0327] 根据如上述的事实，若采用实施例 2 的摄像系统，在受光面 21B 和摄像透镜 10B 的位置关系得到固定的预定的状态下，使摄影距离变化到 0 ～∞的范围时，能够使通过将被摄体投影到受光面 21B 上而成的像的 MTF 特性成为始终比 0％大的值（可以使其不产生伪分辨）。

[0328] 即，在摄影距离为 16f ～∞的范围，可以使投影到受光面 21B 上的被摄体的像成为有意义的像。

[0329] 而且，在 16f ～∞的范围内改变摄影距离时，投影到该受光面 21B 上的点像的有效区域成为涉及受光面 21B 上的 3 像素以上的大小，所以对拍摄该范围存在的被摄体得到的图像数据实施复原处理，从而可以提高图像的分辨率。即，通过实施例 2 的摄像系统得到的表示位于摄影距离 0 ～∞的范围的各种被摄体的图像数据可以说满足用于实施复原处理的前提条件（提高分辨率的条件）。

[0330] 这样，通过实施增大摄像透镜 10B 的焦点深度那样的设计，从而由对摄影距离位于 16f ～∞的范围的各种被摄体的像同时进行拍摄得到的图像数据表示的图像整体的分辨率可以利用复原处理得到提高。

[0331] 而且，在将实施例 2 的摄像系统供于实用时，优选将摄影距离限定在焦距的 10 倍（大约 33mm(10f)）以上，更优选如上那样限定为 53mm(16f) 以上。

[0332] 这样，若将摄影距离限定为 33mm ～∞的范围，则可以得到对拍摄被摄体的像得到的图像数据实施复原处理而提高图像的分辨率的较大的效果。而且，若将摄影距离限定为 53mm ～∞的范围，则可以期待对拍摄被摄体的像得到的图像数据实施复原处理而提高图像的分辨率的更大的效果。

[0333] 此外，根据如上那样设计的实施例 2 的摄像透镜 10B，可以与上述实施例 1 的情况同样地减少入射到受光面 21B 的光相对于该受光面 21B 的入射角，即，可以得到焦阑性良好的摄像透镜。

[0334] 《关于实施例 3 的摄像系统》

[0335] 图 15 是表示实施例 3 的由 3 片单透镜构成的摄像透镜 10C 的简要结构的截面图，图 16(a) ～ (d) 是在横轴表示受光面的光轴方向 (Z 轴方向) 的散焦量 Ud(μm)、纵轴表示 MTF 特性的值 (%) 的坐标上，表示在相对于上述摄像透镜使受光面散焦时投影到该受光面上的光学像的 MTF 特性的值 (%) 的变化的图。这里，受光面的散焦范围是 400μm。

[0336] 此外，表示与摄像透镜 10C 有关的 MTF 特性的图 16(a) ～ (d) 对应于表示与上述摄像透镜 10A 有关的 MTF 特性的图 12(a) ～ (d)。

[0337] 如图 15 所示，摄像透镜 10C 沿着光轴 C(Z 轴) 从被摄体侧（图中箭头—Z 方向侧）起依次分别排列有孔径光阑 Sct、第 1 单透镜 Lc1、第 2 单透镜 Lc2、第 3 单透镜 Lc3、光学部件 GLc1。

[0338] 而且，图 15 所示的透镜面 R1、R3、R5 表示各单透镜 Lc1 ～ Lc3 的入射侧的面，透镜面 R2、R4、R6 表示各单透镜 Lc1 ～ Lc3 的射出侧的面。通过上述摄像透镜 10C 将被摄体的光学像投影到受光面 21C 上。

[0339] 光学部件 GLc1 是由平行平板构成的不具有光焦度的光学部件。

[0340] 此外，在图 15 中，从轴上光线 Jc1 到以最大视场角入射的轴外光线 Jc5，从像高低的一侧起依次示出 5 个光线 Jc1、Jc2、Jc3、Jc4、Jc5。

[0341] 而且，图 16(a) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mtc20 表示在上述 5 个光线投影到受光面 21C 上的各位置处的 20 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化。图 16(b) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mtc30 表示在与上述相同的各位置处的 30 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化，图 16(c) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mtc40 也表示在与上述相同的各位置处的 40 根 /mm 的

空间频率的 MTF 特性的值的变化，图 16(d) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mtc50 也表示在与上述相同的各位置处的 50 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化。

[0342] 该摄像透镜 10C 从被摄体侧起依次具有：由 2 片单透镜 Lc1、Lc2 构成的、具有正的光焦度的第 1 透镜组 GFc；及由 1 片单透镜 Lc3 构成的、具有负的光焦度的第 2 透镜组 GRc，第 2 透镜组 GRc 中的位于最靠像侧的透镜面 R6 具有轴外曲点 Qc。

[0343] 就上述摄像透镜 10C 而言，第 2 透镜组 GRc 的位于最靠像侧的透镜面 R6 是在该透镜面 R6 的中心部向像侧呈凹面而在周边部向像侧呈凸面的透镜面。而且，该透镜面 R6 满足述述条件式 (1) “0.5H<h<H”。

[0344] 而且，构成第 1 透镜组 GFc 的 2 片单透镜 Lc1、Lc2 中的位于被摄体侧的第 1 片单透镜 Lc1 具有正的光焦度，而且该单透镜 Lc1 的被摄体侧的透镜面 R1 在被摄体侧呈凸面。就第 1 透镜组 GFc 中的位于像侧的第 2 片单透镜 Lc2 而言，该单透镜 Lc2 的像侧的透镜面 R4 在像侧呈凸面。

[0345] 以下，对实施例 3 涉及的摄像透镜 10C 的设计数据进行说明。

[0346] 表 7 示出透镜数据及各种数据，表 8 示出各非球面上的非球面式的各系数，表 9 示出摄像透镜 10C 的简要规格。而且，表 7 的 Ri 和图 15 中的符号 Ri 相对应。

[0347] [表 7]

[0348] 实施例 3(3 片透镜)

[0349]

面号码	Ri	Di	Ndj	vdj
孔径光阑	∞	-0.120		
1*	1.445	0.791	1.53114	55.4
2*	-3.395	0.223		
3*	-1.560	0.764	1.63178	23.2
4*	-11.065	0.234		
5*	1.703	0.960	1.53114	55.4
6*	1.334	0.396		
7	∞	0.495	1.52000	55.0
8	∞	0.244		
像面	∞	0.000		

[0350] 焦距 4.043

[0351] F 值 3.5

[0352] [表 8]

[0353] 实施例 3(3 片透镜)

[0354]

面号码	K	A3	A4	A5	A6
1	1.46821160	-0.02006750	-0.01716269	-0.07488272	-0.00807329
2	5.91246140	0.03858523	-0.00390848	0.00521844	0.42149785
3	2.68478870	-0.01203839	-0.03769086	-0.00672518	-0.10003112
4	-22.94585750	-0.26256773	0.06660669	-0.05308108	0.03934465
5	-4.05769940	-0.31290897	-0.02907510	0.05714552	0.02834143
6	-3.33611150	-0.11799765	-0.09043585	0.08521950	-0.00370655

[0355]

面号码	A7	A8	A9	A10
1	0.20927058	-0.00396025	-0.39769240	0.03759849
2	0.16034238	-0.77511754	-1.93911820	3.57739830
3	-0.04142547	0.12137291	0.16117261	-0.24036373
4	-0.01863391	0.01654903	0.02453973	-0.01496812
5	-0.01023398	-0.00261078	0.00553029	-0.00251202
6	-0.01246110	-0.00340986	0.00410789	-0.00065698

[0356] [表 9]

[0357] 实施例 3 F 值 3.5/ 焦距 4.043mm3 片结构

[0358]

点像的有效区域的最大直径 Dmax（μm）	按各像素区域的每个像素间距换算的、与点像的有效区域的最大径Dmax对应的像素数量Ngs			最短摄影距离 Sk（mm）	焦点深度 Sd（μm）	h：H/2
	像素间距Pg＝2.2μm换算	像素间距Pg＝1.85μm换算	像素间距Pg＝1.4μm换算			
10	4.5	5.7	7.1	15f	350	1.04：0.94

[0359] 构成摄像透镜 10C 各自的所有单透镜中的每个单透镜都是入射侧及出射侧的透镜面两者同时呈非球面形状。

[0360] 而且，如表 7 的透镜数据的下方所示，摄像透镜 10C 的焦距 f 是 4.043mm，F 值是 3.5。

[0361] 而且，表 7、表 8、表 9 中的透镜数据、各种数据、非球面式的各系数、有关摄像透镜的简要规格的式、数值、用语等的含义与上述实施例 1 的各表 1、2、3 相同，所以省略其说明。

[0362] 根据表 9 可知，实施例 3 的摄像系统构成为：在投影到受光面 21C 上的点像的有效区域是 10μm 以上、且构成受光面 21C 的受光像素的像素间距是 2.2μm 以下时，点像的有效区域的最大直径涉及 3 像素（4.5 像素）以上。

[0363] 此外，最短摄影距离 Sk 的值在设点像的有效区域的最大直径 Dmax 为 10μm 时是 15f（大约 60mm）。

[0364] 该最短摄影距离是在对投影到受光面的光学像进行拍摄获得的图像数据的质量由复原处理提高的效果能获得的摄影距离的范围内所包含的距离。

[0365] 摄像透镜 10C 的焦点深度 Sd 的值在设点像的有效区域的最大直径 Dmax 为 10μm 时是 350μm。

[0366] 此外，与该实施例 3 的摄像系统有关的 MTF 特性的值，在使受光面 21C 与摄像透镜 10C 最接近时，即，在图 16(a) ～ (d) 中散焦量 Ud 的值为 0μm 时，空间频率 20 ～ 50Line/mm 的所有 MTF 特性的值为正。

[0367] 此外，将受光面 21C 远离摄像透镜 10C 时，即，在图 16(a) ～ (d) 中设散焦量的值为 300μm 时，空间频率为 20 ～ 50Line/mm 的所有 MTF 特性的值为数％以上，在散焦量的值为 300μm 到 400μm 的范围内，空间频率 30 ～ 50Line/mm 的 MTF 特性的值从 0％反转并产生伪分辨。

[0368] 如上所述，根据实施例 3 的摄像系统，在比较宽的散焦范围（大约 300μm），MTF 特

性的值成为正。

[0369] 根据如上所述的事实，若采用该摄像系统，在受光面 21C 和摄像透镜 10C 的位置关系得到固定的预定的状态下，使摄影距离在 15f ～∞的范围变化时，能够使通过将被摄体投影到受光面 21C 上而成的像的 MTF 特性成为始终比 0％大的值（可以使其不产生伪分辨）。

[0370] 即，在摄影距离为 15f ～∞的范围，可以使投影到受光面 21C 上的被摄体的像成为有意义的像。

[0371] 而且，在 15f ～∞的范围内改变摄影距离时，投影到该受光面 21C 上的点像的有效区域成为涉及受光面 21C 上的 3 像素以上的大小，所以无论对位于任何位置的被摄体进行拍摄得到的图像数据，都可以通过实施复原处理来提高图像的分辨率。即，通过实施例 3 的摄像系统得到的所有图像数据可以说满足用于实施复原处理的前提条件（提高分辨率的条件）。

[0372] 这样，通过实施增大摄像透镜 10C 的焦点深度那样的设计，从而由对摄影距离位于 15f ～∞的范围的各种被摄体的像同时进行拍摄得到的图像数据表示的图像整体的分辨率可以通过复原处理得到提高。

[0373] 而且，通过如上所述地将摄影距离限定为 60mm ～∞的范围，则可以得到对拍摄被摄体的像获得的图像数据实施复原处理而提高图像的分辨率的更大的效果。

[0374] 此外，如上那样设计的实施例 3 的摄像透镜 10C 是可以与上述实施例 1 的情况同样地减少入射到受光面 21C 的光相对于该受光面 21C 的入射角的摄像透镜，即，是焦阑性良好的摄像透镜。

[0375] 《关于实施例 1 ～ 3 涉及的摄像透镜的像差》

[0376] 图 17 是表示与摄像透镜 10A 有关的像差的图，图 18 是表示与摄像透镜 10B 有关的像差的图，图 19 是表示与摄像透镜 10C 有关的像差的图。在各图 17 ～ 19 中分别从上依次按照球面像差（也称球差）、散光像差（也称像散）、畸变像差（歪曲像差）、倍率色像差的顺序示出实施例 1 ～ 3 涉及的摄像透镜的各像差图。

[0377] 各像差图示出以 e 线（波长 546.07nm）为基准波长的像差，但是在球面像差图及倍率色像差图中还表示关于 F 线（波长 486.1nm）、C 线（波长 656.3nm）的像差。畸变像差的图利用整个系统的焦距 f、半视场角 θ（变数处理、0 ≤ θ ≤ ω），设理想像高为 f × tan θ，表示与它的偏差量。

[0378] 《关于比较例的摄像系统》

[0379] 下面，作为比较例说明移动电话机所使用的照相机等的现有的摄像透镜。

[0380] 图 20 是表示比较例的由 4 片单透镜构成的摄像透镜的简要结构的截面图，图 21(a) ～ (d) 是在横轴表示受光面的光轴方向（Z 轴方向）的散焦量 Ud（μm）、纵轴表示 MTF 特性的值（％）的坐标上，表示在相对于上述摄像透镜使受光面散焦时投影到该受光面上的光学像的 MTF 特性的值（％）的变化的图。这里，受光面的散焦范围是 400μm。

[0381] 此外，表示 MTF 特性的图 21(a) ～ (d) 对应于表示与上述摄像透镜 10A 有关的 MTF 特性的图 12(a) ～ (d) 等。

[0382] 如图 20 所示，比较例的摄像透镜 10H 沿着光轴 C(Z 轴）从被摄体侧（图中箭头—Z 方向侧）起依次分别排列有第 1 单透镜 Lh1、第 2 单透镜 Lh2、第 3 单透镜 Lh3、第 4 单透

镜 Lh4、及光学部件 GLh1。具有这 4 片单透镜的摄像透镜 10H 被设计成景深变深。

[0383] 通过上述摄像透镜 10H，将被摄体的光学像投影到受光面 21H 上。

[0384] 光学部件 GLh1 是由平行平板构成的不具有光焦度的光学部件。

[0385] 此外，在图 20 中，从轴上光线 Jh1 到以最大视场角入射的轴外光线 Jh5，从像高低的一侧起依次示出 5 个光线 Jh1、Jh2、Jh3、Jh4、Jh5。

[0386] 而且，图 21(a) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mth20 表示上述 5 个光线投影到受光面 21H 上的各位置处的 20 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化。图 21(b) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mth30 表示与上述相同的各位置处的 30 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化，图 21(c) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mth40 也表示与上述相同的各位置处的 40 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化，图 21(d) 中记载的 5 条 MTF 曲线 Mth50 也表示与上述相同的各位置处的 50 根 /mm 的空间频率的 MTF 特性的值的变化。

[0387] 此外，与上述比较例的摄像系统有关的 MTF 特性的值，在使受光面与摄像透镜接近时，即，针对在图 21(a) ～ (d) 中散焦量的值涉及大约从 0 到 120μm 的范围，关于空间频率 30 ～ 50Line/mm 的 MTF 特性成为其值从 0％反转并产生伪分辨的状态。用图中箭头 Gik 表示产生伪分辨的范围。

[0388] 此外，在将受光面远离摄像透镜时，即，针对在图 21(a) ～ (d) 中散焦量的值涉及 280μm 到 400μm 的范围，关于空间频率 30 ～ 50Line/mm 的 MTF 特性成为其值从 0％反转并产生伪分辨的状态。用图中箭头 Gik 表示产生伪分辨的范围。

[0389] 这里，散焦量 Ud 的值在 120μm 和 280μm 之间（焦点深度的范围）时，MTF 特性的值为正，各空间频率的 MTF 特性的值的变动幅度成为 85％ (50Line/mm)、90％ (40Line/mm)、70％ (30Line/mm)、45％ (20Line/mm) 左右。

[0390] 如上所述，若采用比较例的摄像系统，则仅在比较窄的散焦范围（大约 160μm 的范围），MTF 特性的值成为正，MTF 特性的值的变动量大。

[0391] 关于 MTF 特性的值从 0％反转的散焦的范围（用图中箭头 Gik 表示），点像是被伪分辨的像，得不到有效区域涉及 3 像素以上的可特定的具有光学意义的像。

[0392] 即，仅在非常限定的摄影距离的范围，MTF 特性的值为正，即可以使投影到受光面上的被摄体的像形成有意义的像。此外，投影到受光面上的点像的大小的变动量较大。

[0393] 此外，该比较例的摄像系统不是构成为在 0 ～∞的范围改变摄影距离时投影到受光面上的点像的有效区域为涉及该受光面上的 3 像素以上的大小，因此，通过这种摄像系统得到的图像数据不满足用于实施复原处理的前提条件（提高分辨率的条件）。

[0394] 因此，即使对将通过比较例的摄像系统投影到受光面 21H 上的被摄体的像进行拍摄得到的图像数据实施复原处理，也不能得到提高表示该被摄体的图像的分辨率的效果。

[0395] 而且，在上述实施例中示出以各种条件限制摄像透镜的例子，但是用于本发明的摄像系统的摄像透镜是使用从物侧起依次具有由至少 1 片透镜构成的具有正的光焦度的第 1 透镜组、以及由至少 1 片透镜构成的且位于最靠像侧的透镜具有负的光焦度的第 2 透镜组的透镜，不限定构成各组的透镜片数或形状等。

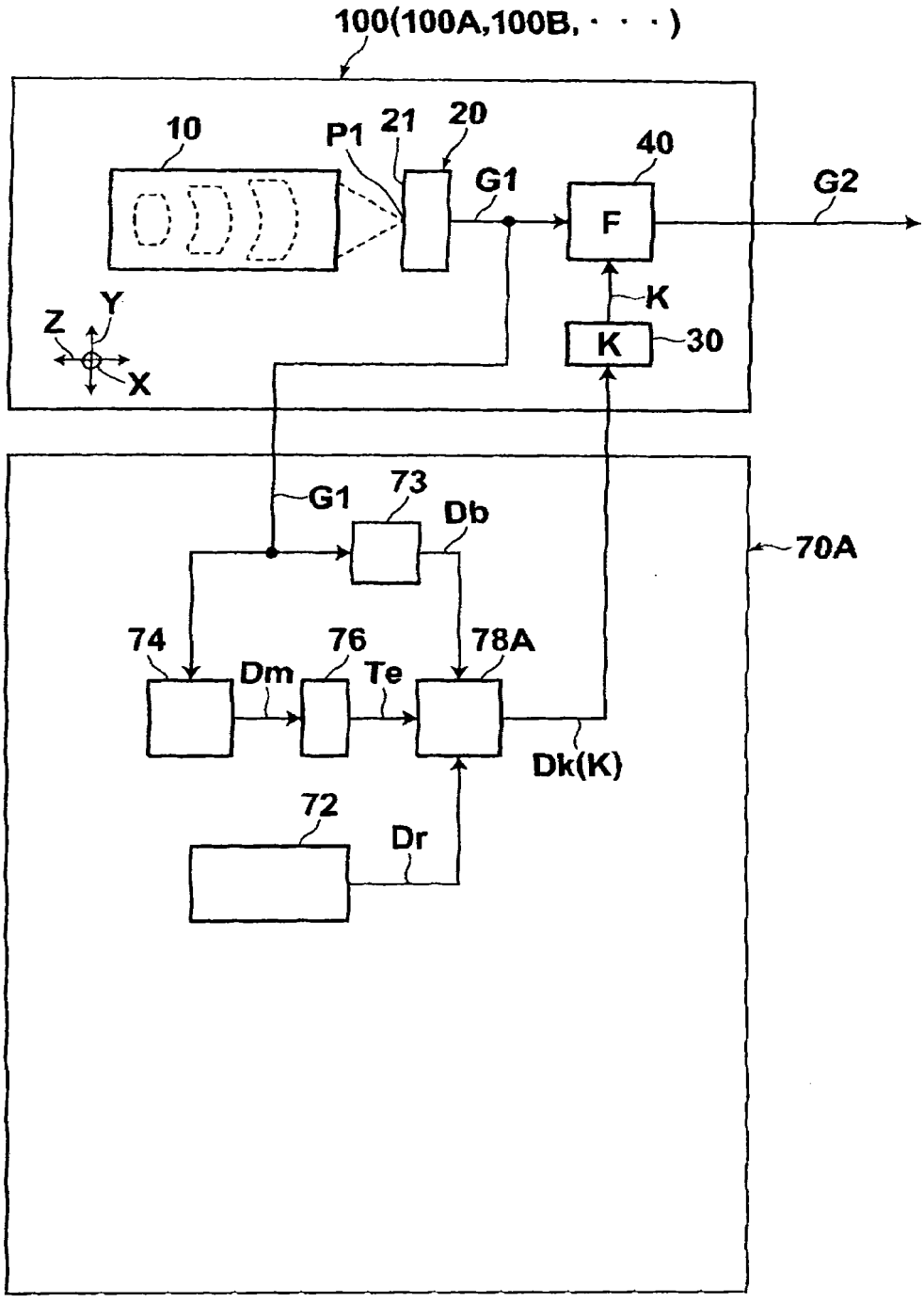

100(100A,100B,・・・)
10
P1
21
20
G1
40
F
G2
K
K
30
Z
Y
X
G1
73
Db
70A
74
76
78A
Dm
Te
Dk(K)
72
Dr

图 1

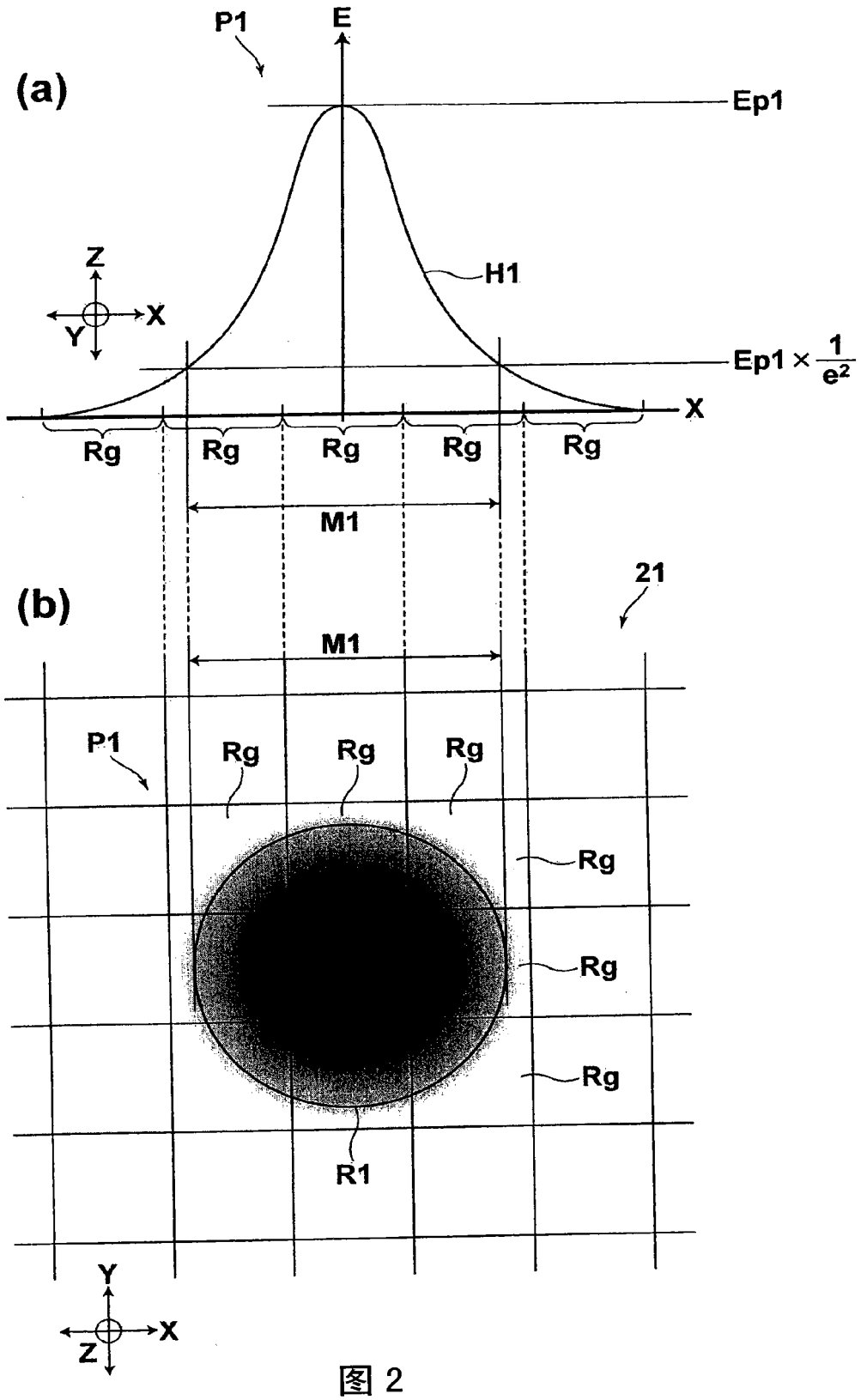

(a)
P1
E
Ep1
H1
Z
X
Y
Ep1 × 1/e²
X
Rg
Rg
Rg
Rg
Rg
M1
(b)
21
M1
P1
Rg
Rg
Rg
Rg
Rg
Rg
R1
Y
X
Z

图 2

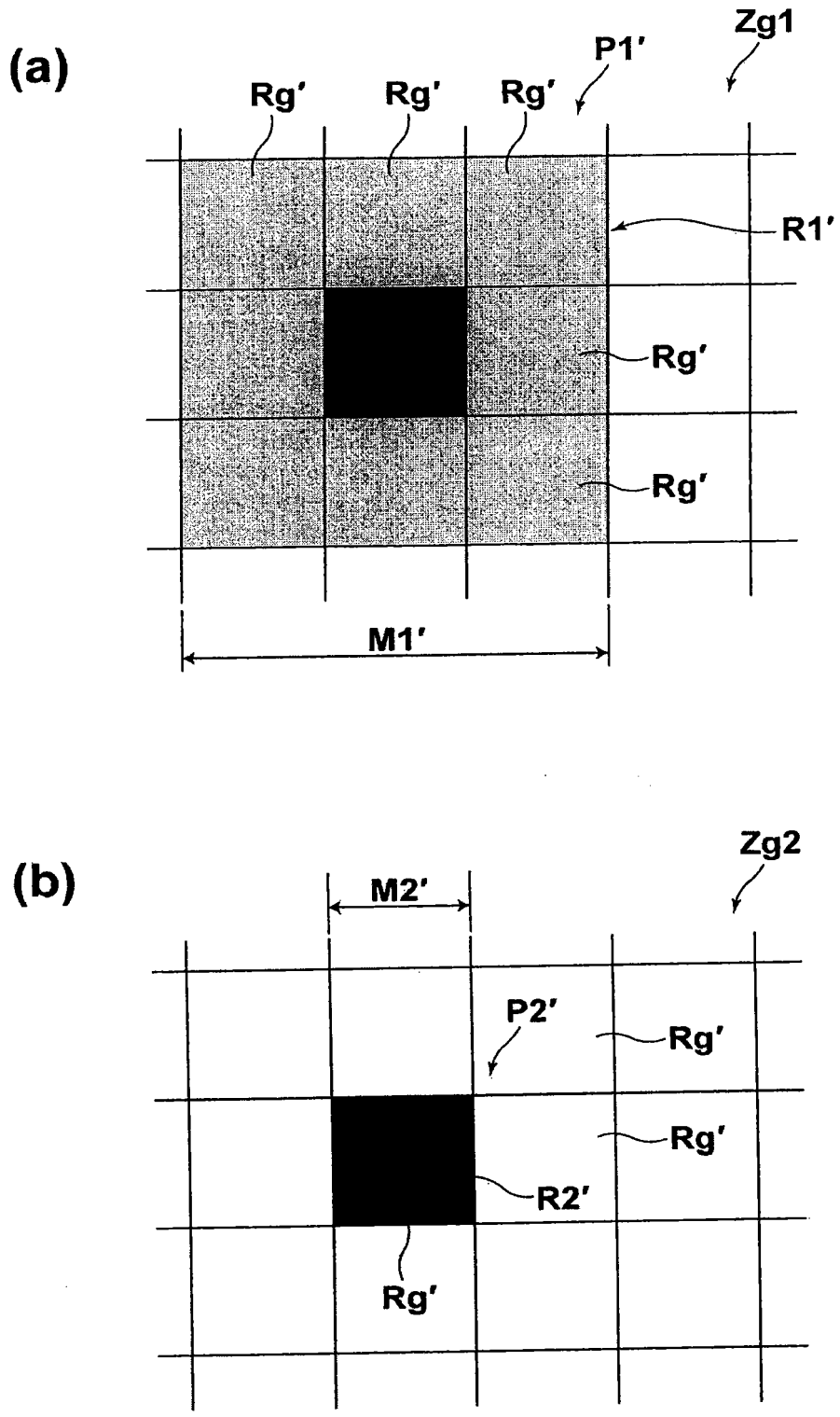


图 3

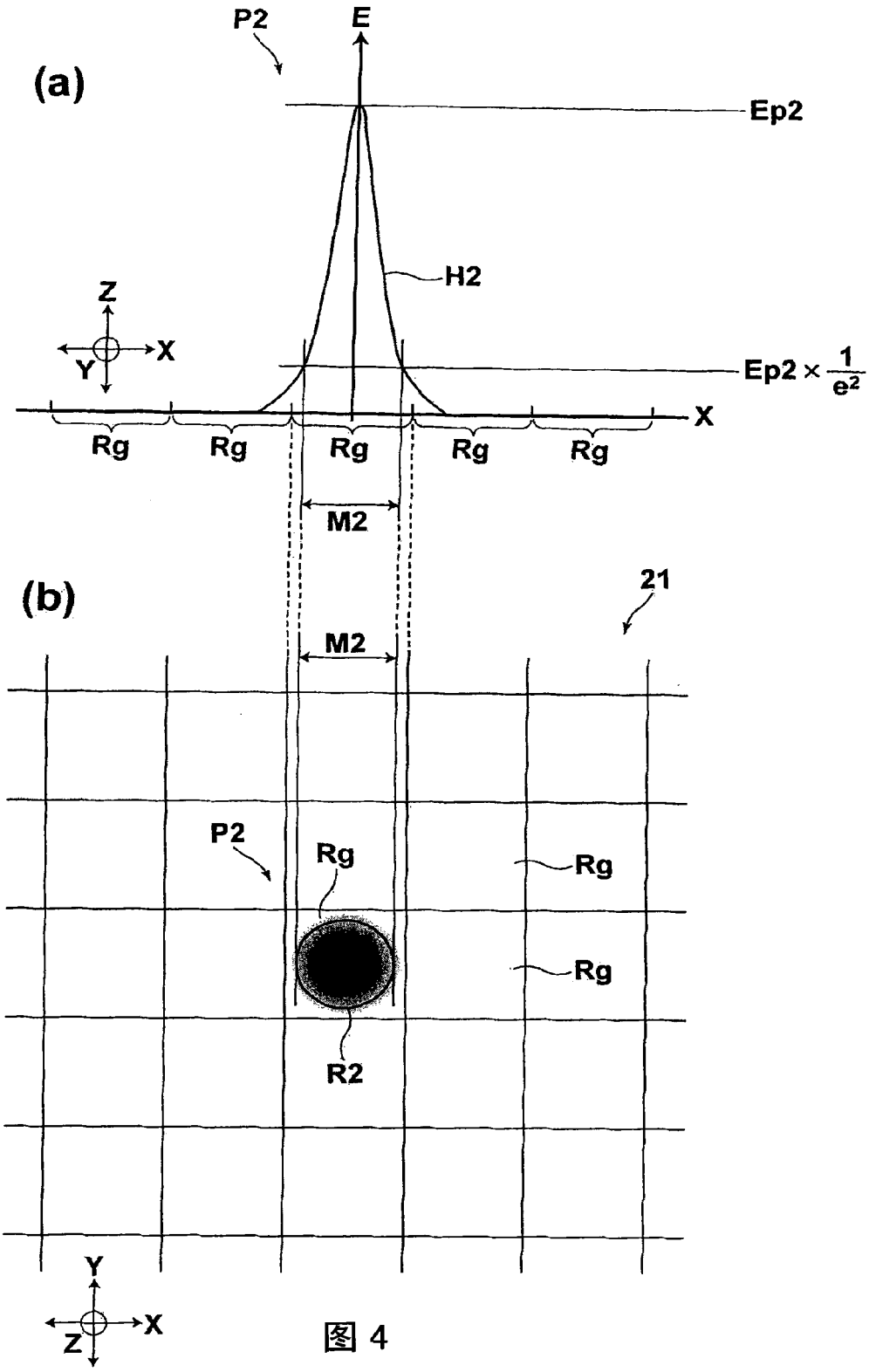


图 4

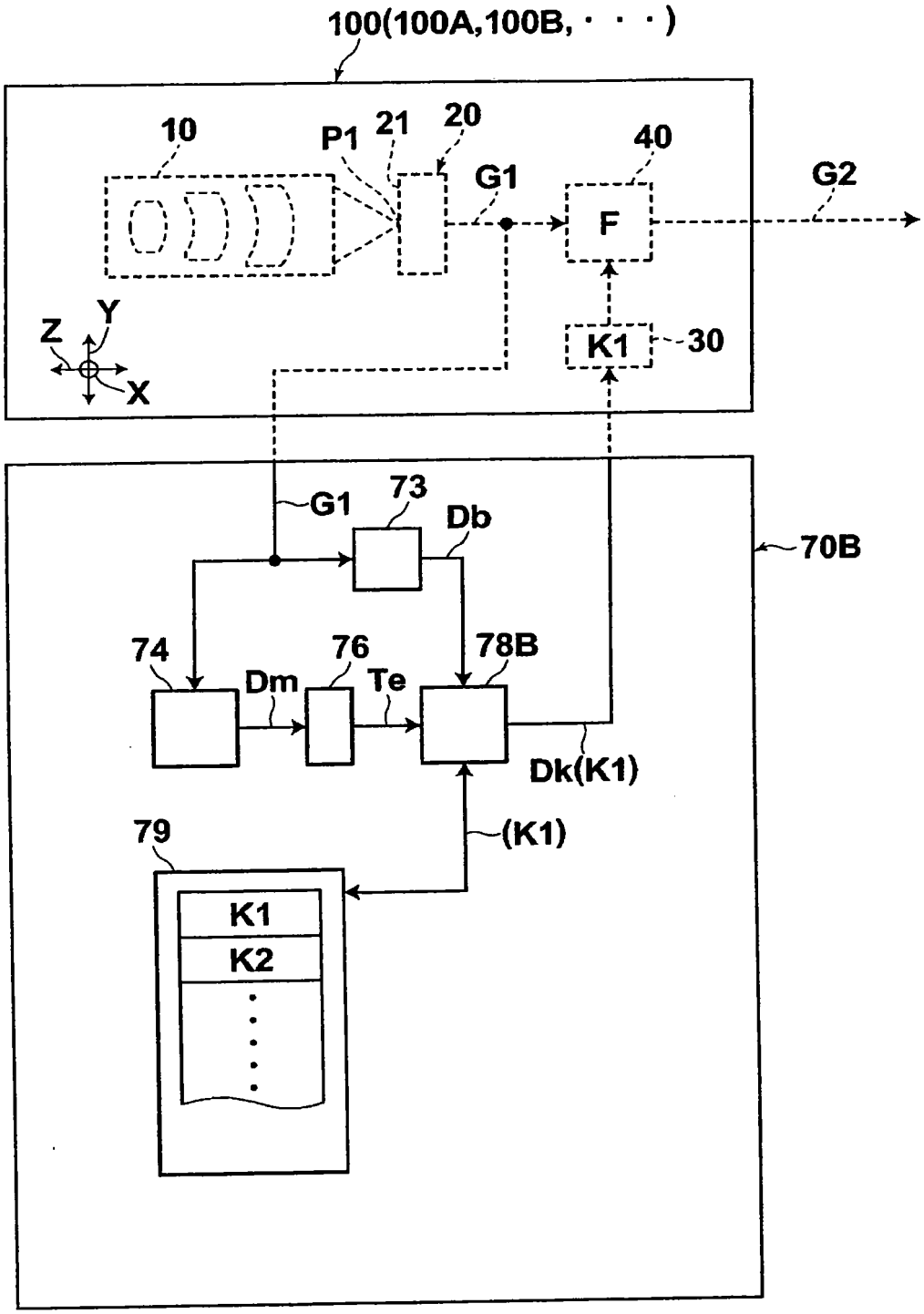

100(100A,100B,・・・)
10
P1
21
20
40
G1
G2
F
Z
Y
X
K1
30
G1
73
Db
70B
74
76
78B
Dm
Te
Dk(K1)
79
(K1)
K1
K2

图 5

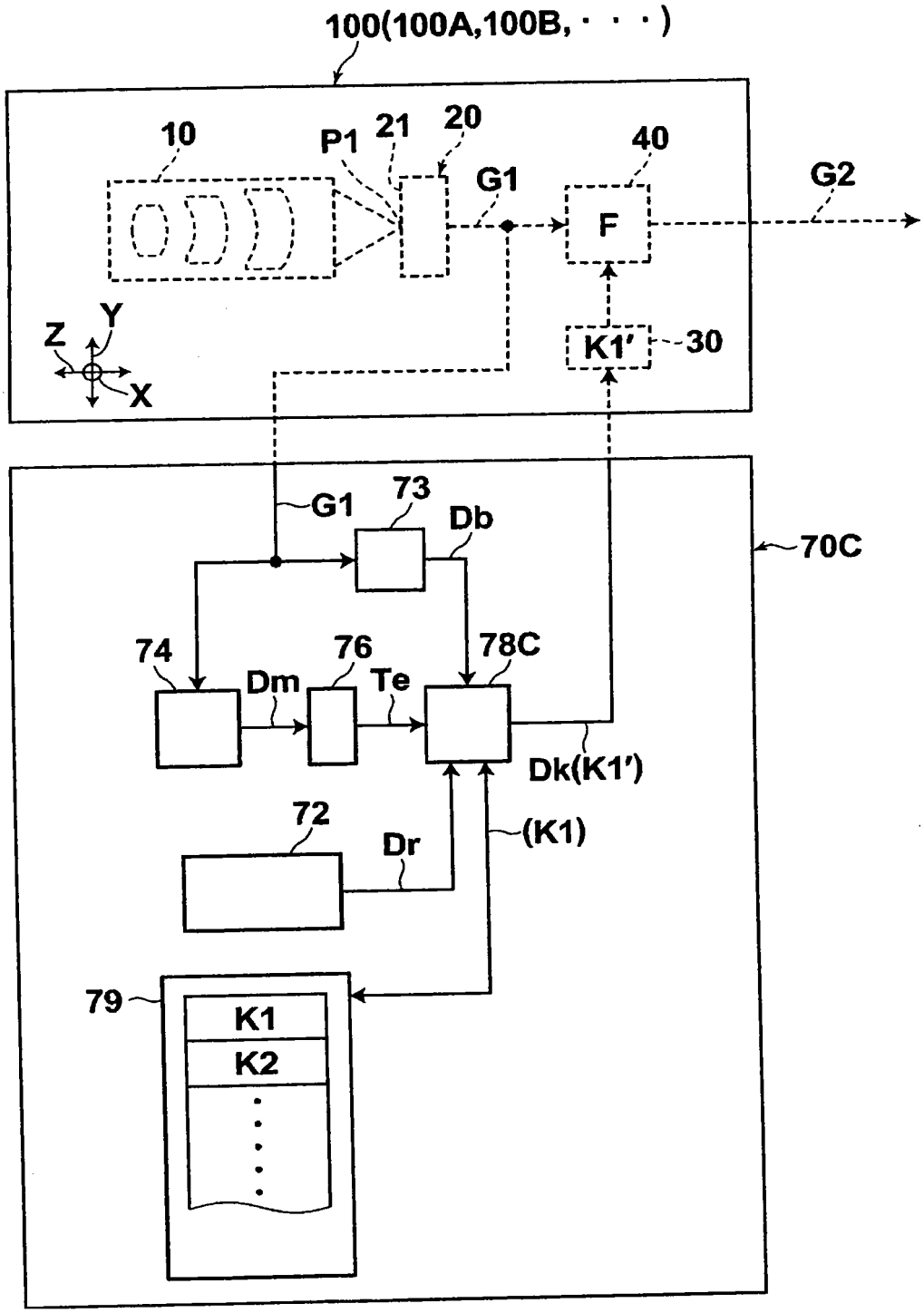

100(100A,100B,・・・)
10
P1
21
20
G1
40
G2
F
Z
Y
X
K1'
30
G1
73
Db
70C
74
76
78C
Dm
Te
Dk(K1')
72
Dr
(K1)
79
K1
K2

图 6

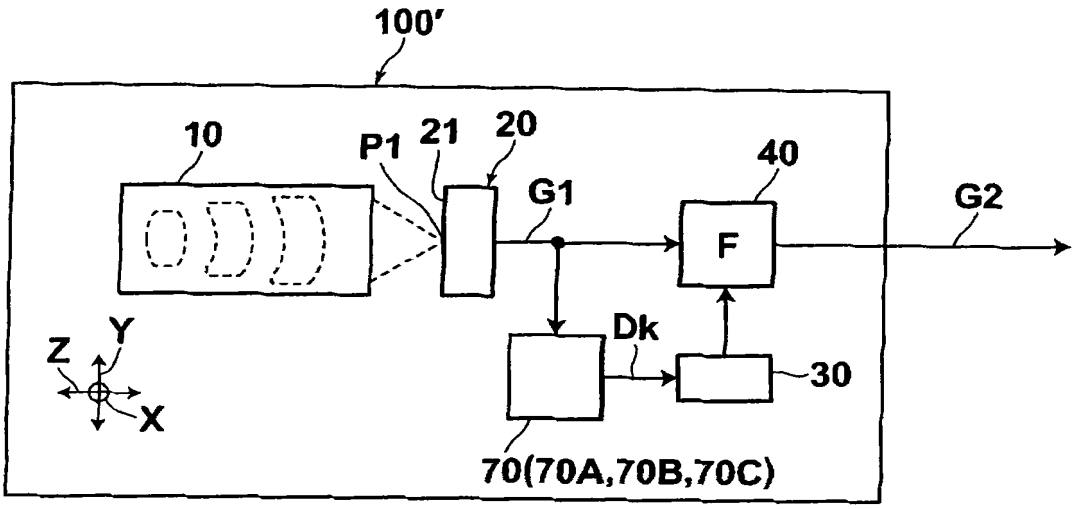

100′
10
P1
21
20
G1
40
F
G2
Dk
30
Z
Y
X
70(70A,70B,70C)

图 7

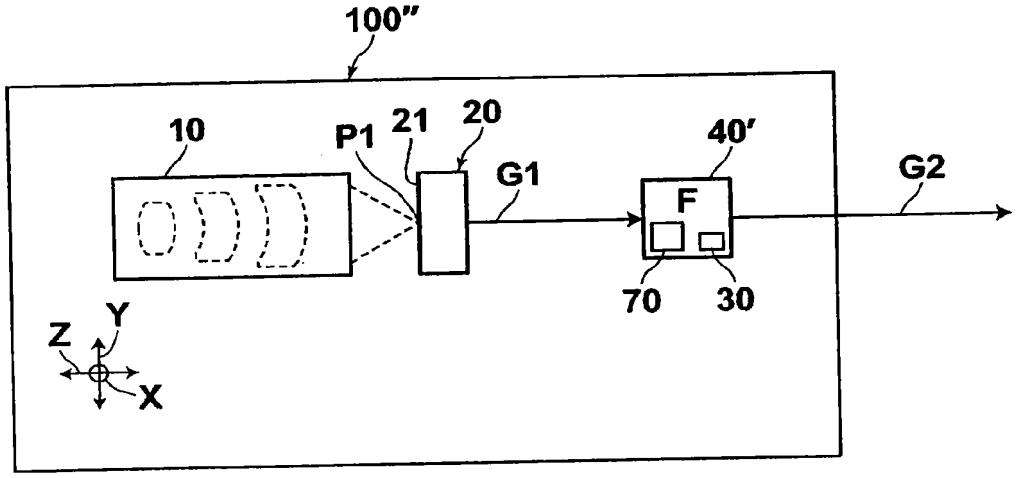

100″
10
P1
21
20
G1
40′
F
G2
70
30
Z
Y
X

图 8

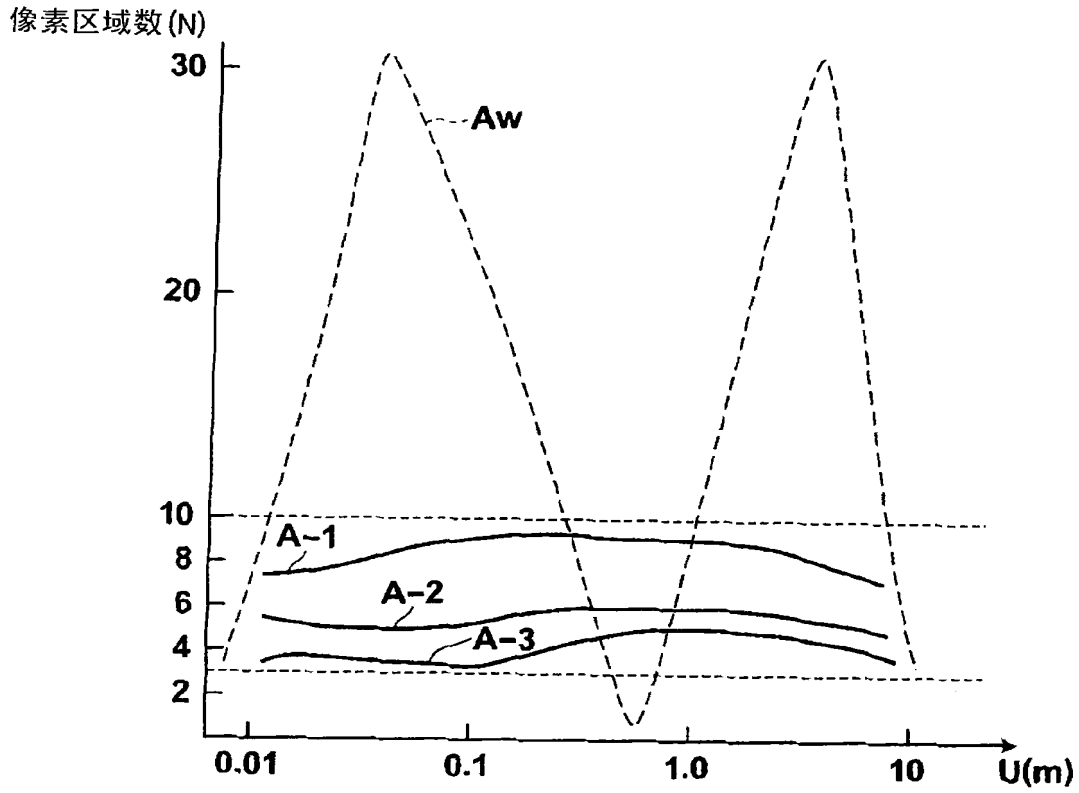


图 9

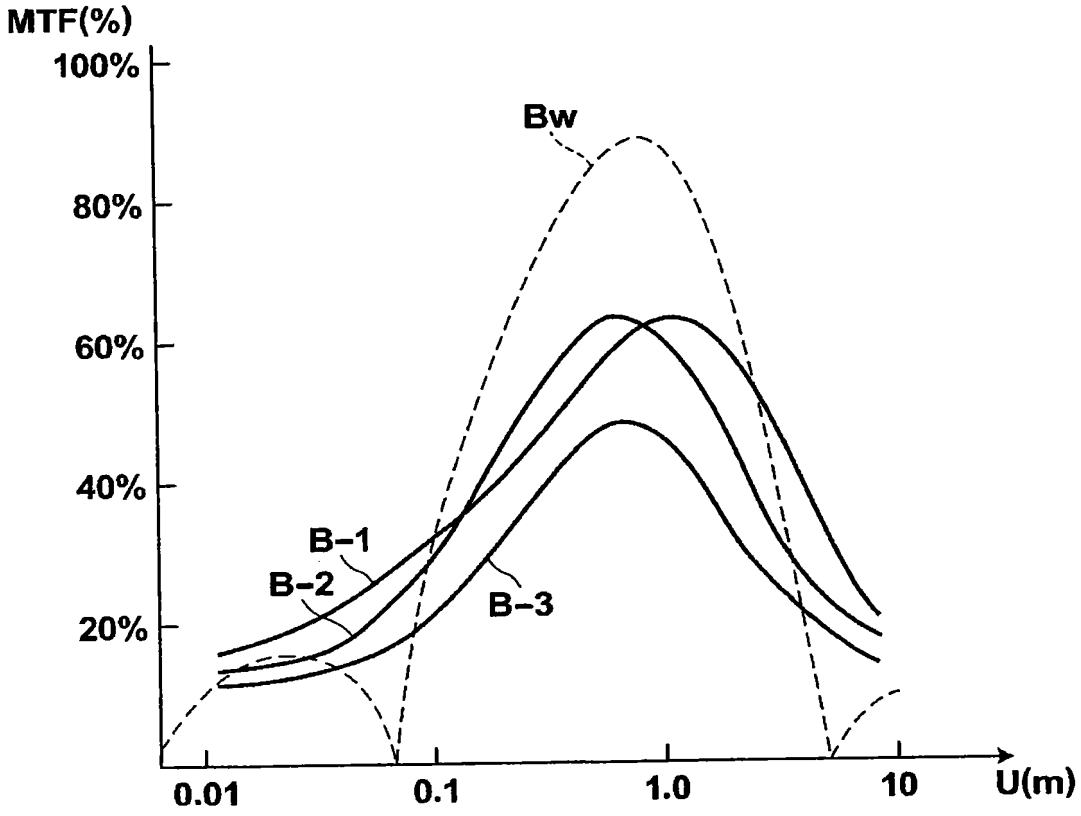


图 10

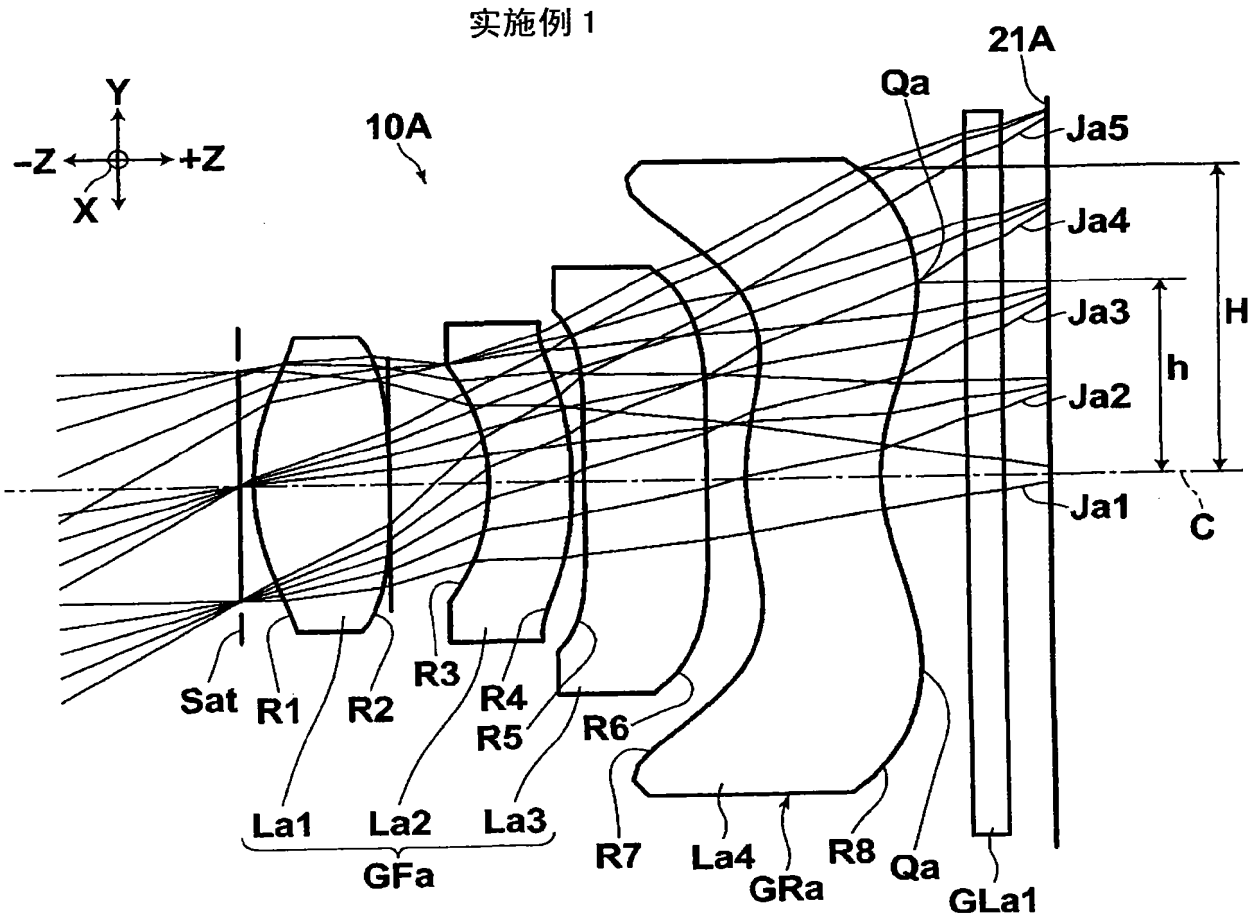

实施例 1
Y
-Z
+Z
X
10A
21A
Qa
Ja5
Ja4
Ja3
Ja2
Ja1
H
h
C
Sat
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
La1
La2
La3
GFa
La4
GRa
R8
Qa
GLa1

图 11

实施例 1

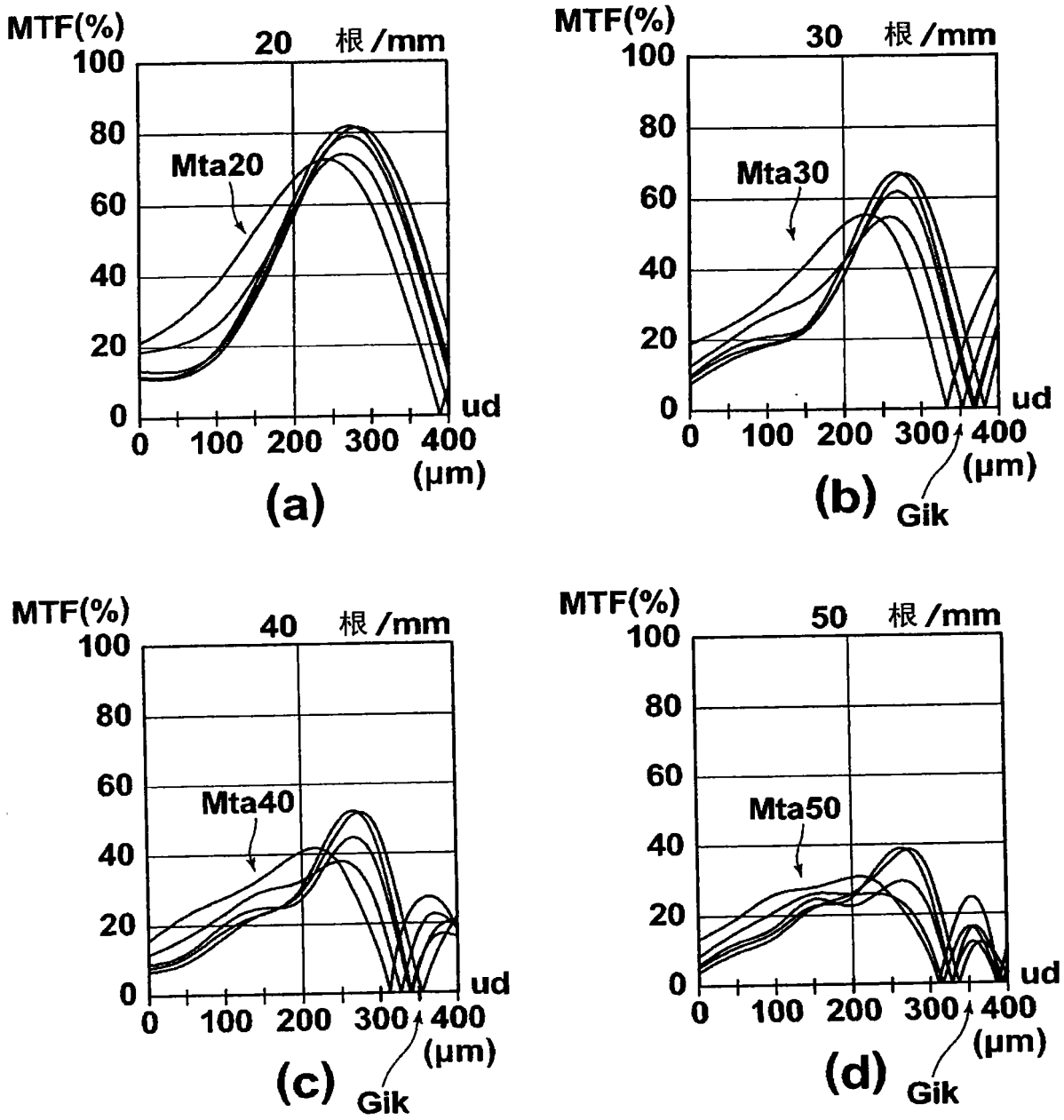

MTF(%)
20 根/mm
Mta20
ud
(μm)
(a)
MTF(%)
30 根/mm
Mta30
ud
(μm)
(b)
Gik
MTF(%)
40 根/mm
Mta40
ud
(μm)
(c)
Gik
MTF(%)
50 根/mm
Mta50
ud
(μm)
(d)
Gik

图 12

实施例 2

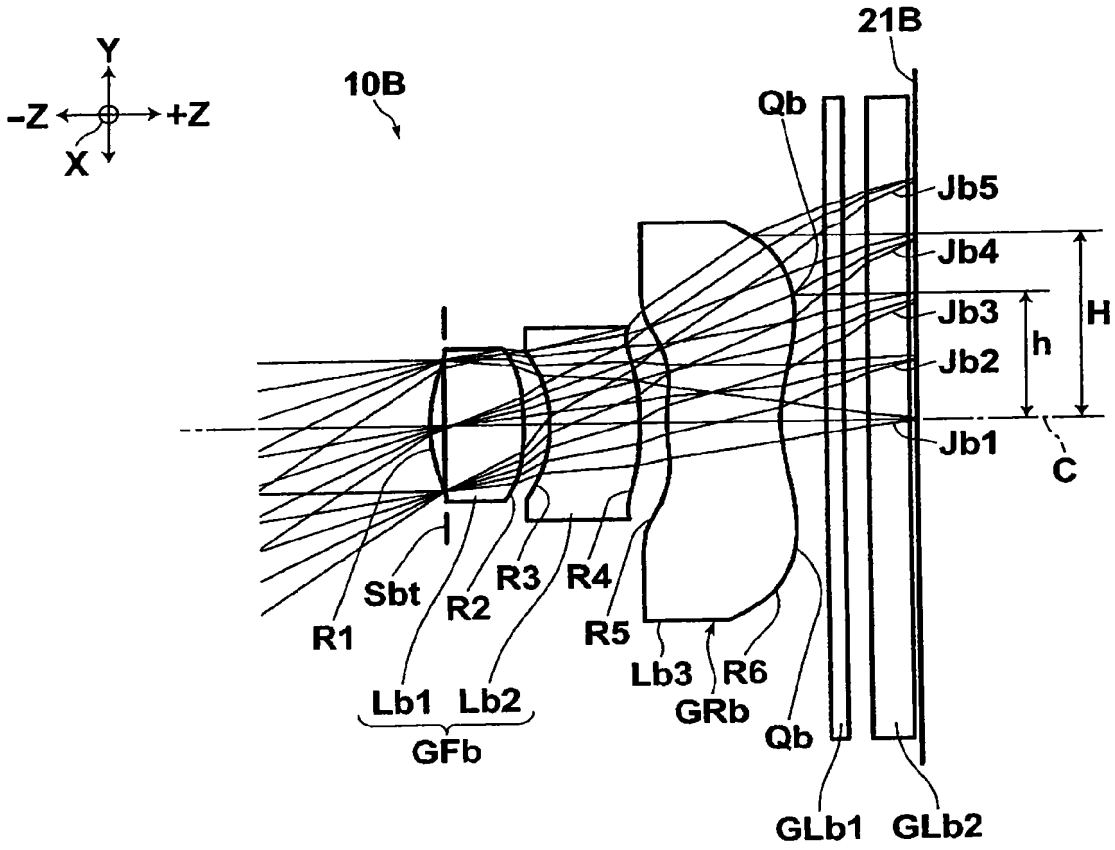

Y
-Z
+Z
X
10B
21B
Qb
Jb5
Jb4
Jb3
Jb2
Jb1
H
h
C
Sbt
R1
R2
R3
R4
R5
Lb1
Lb2
GFb
Lb3
R6
GRb
Qb
GLb1
GLb2

图 13

实施例 2

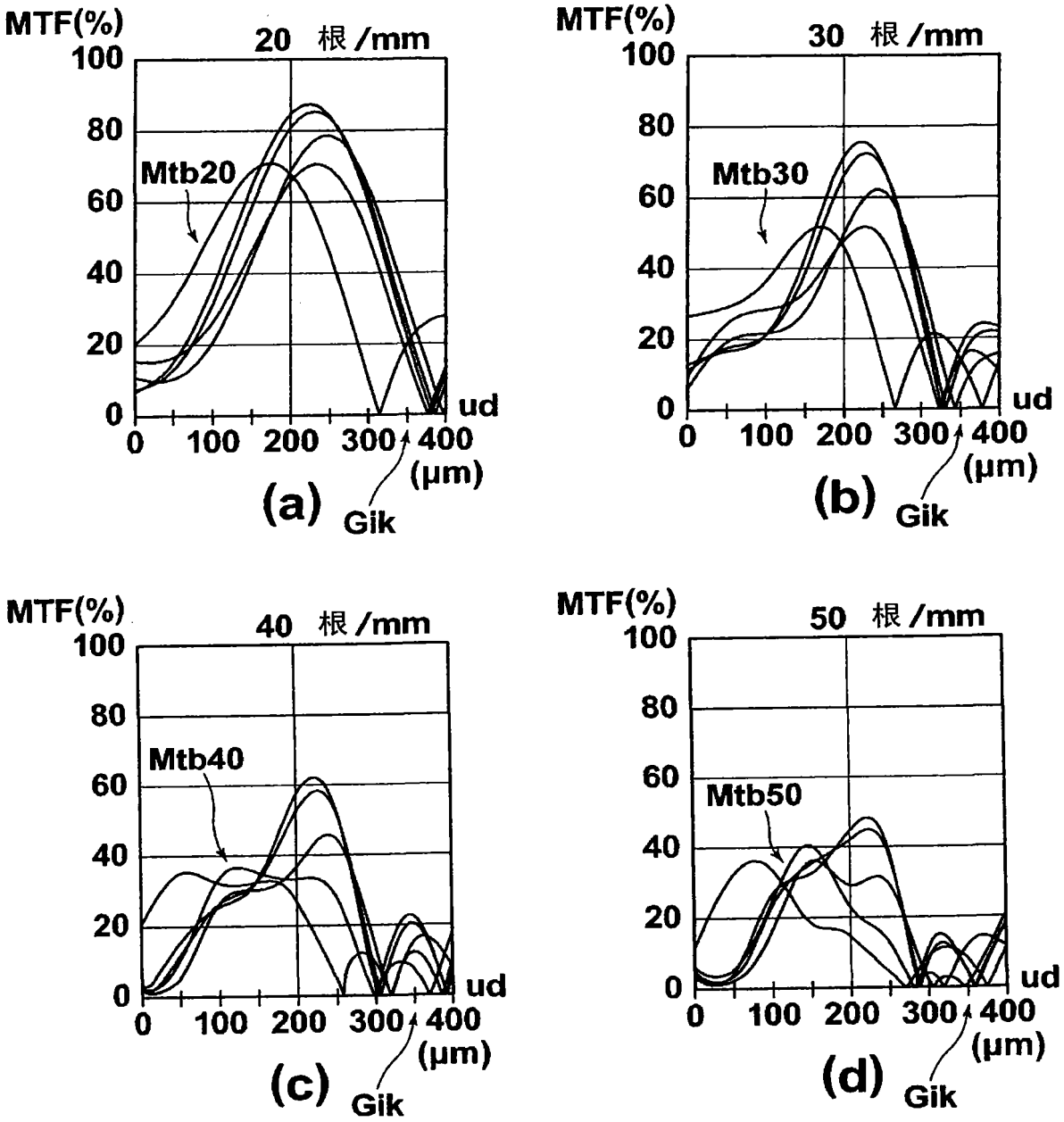

MTF(%)
20 根/mm
100
80
60
40
20
0
Mtb20
0 100 200 300 400
ud
(μm)
(a)
Gik
MTF(%)
30 根/mm
Mtb30
(b)
Gik
MTF(%)
40 根/mm
Mtb40
(c)
Gik
MTF(%)
50 根/mm
Mtb50
(d)
Gik

图 14

实施例 3

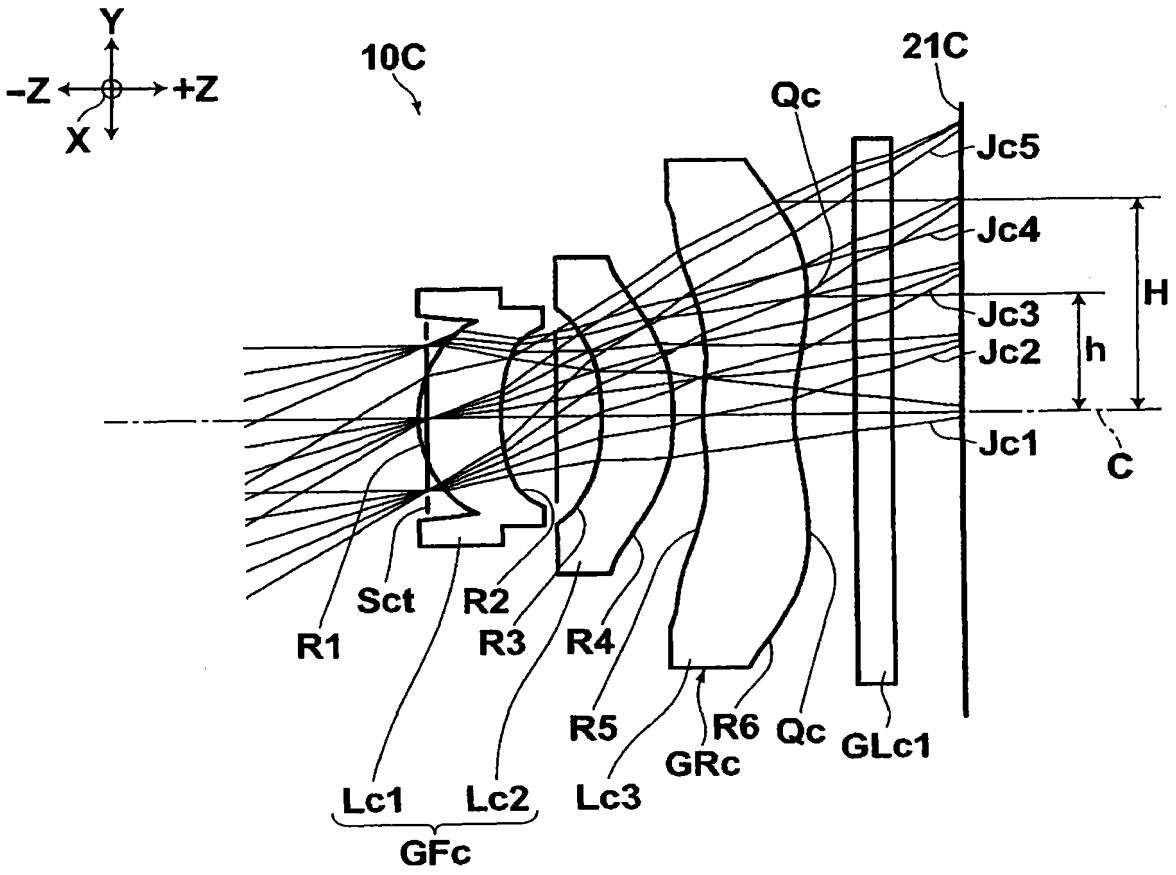

Y
-Z
+Z
X
10C
21C
Qc
Jc5
Jc4
Jc3
Jc2
Jc1
H
h
C
R1
Sct
R2
R3
R4
R5
R6
Qc
GRc
GLc1
Lc1
Lc2
Lc3
GFc

图 15

实施例 3

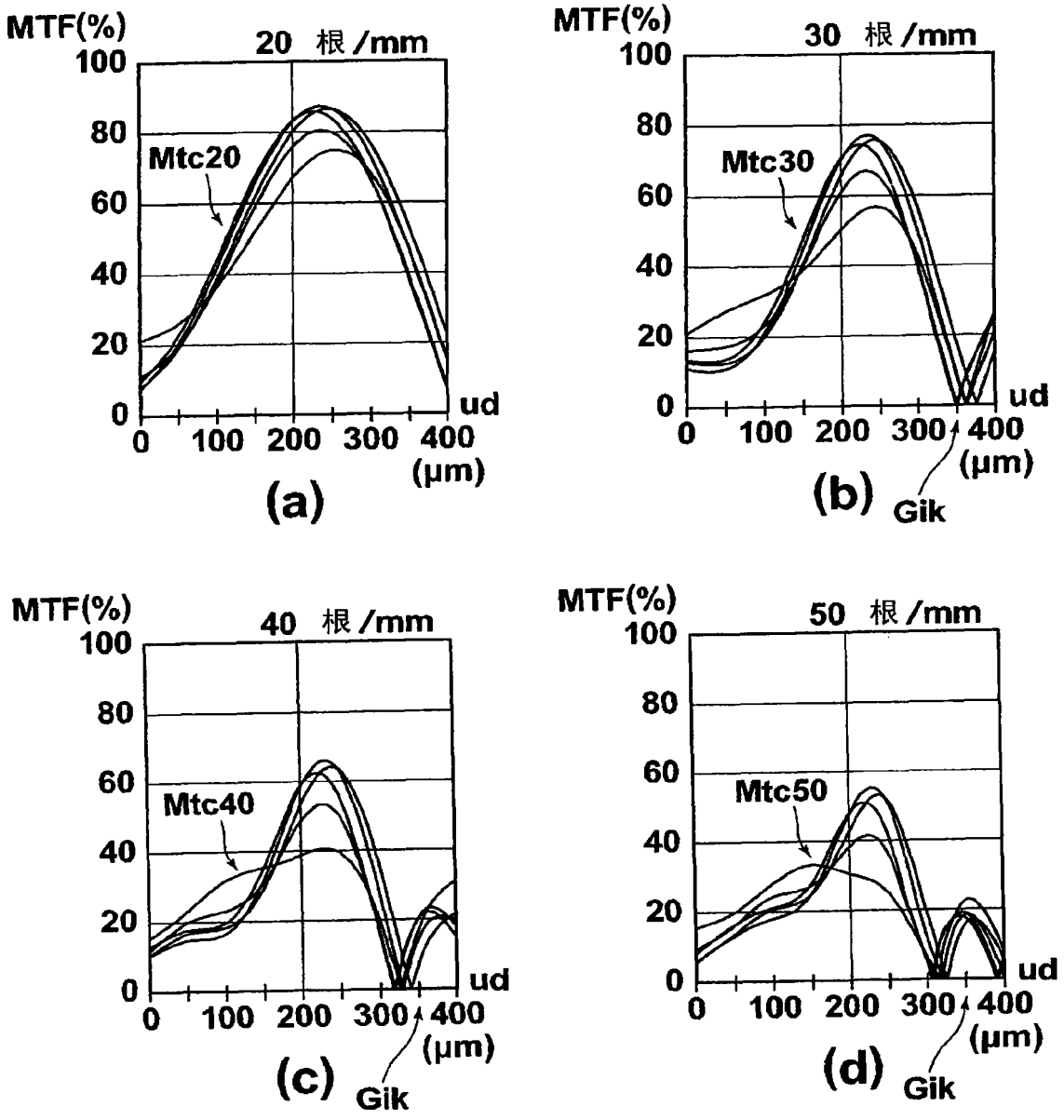
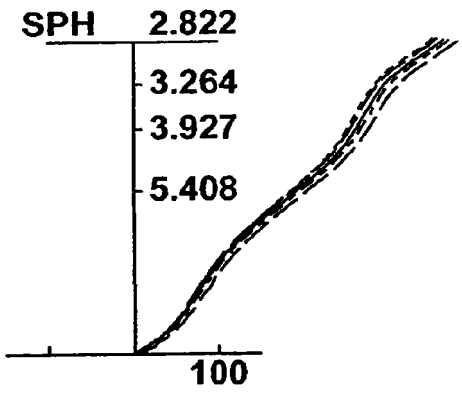
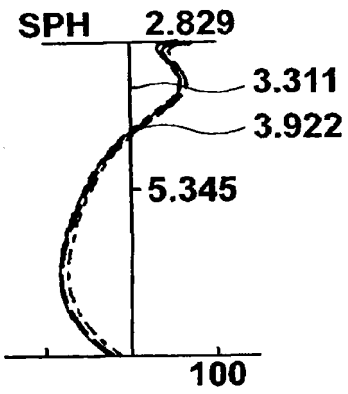
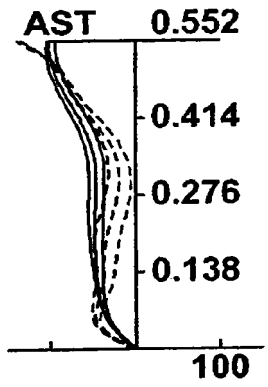
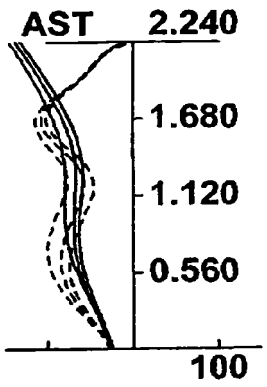

MTF(%)
20 根/mm
100
80
60
40
20
0
Mtc20
0 100 200 300 400
ud
(μm)
(a)
MTF(%)
30 根/mm
Mtc30
(b)
Gik
MTF(%)
40 根/mm
Mtc40
(c)
Gik
MTF(%)
50 根/mm
Mtc50
(d)
Gik

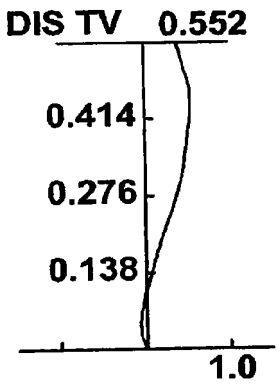
图 16

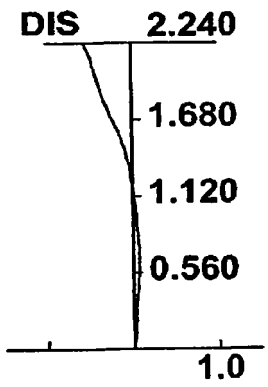

SPH 2.822
3.264
3.927
5.408
100

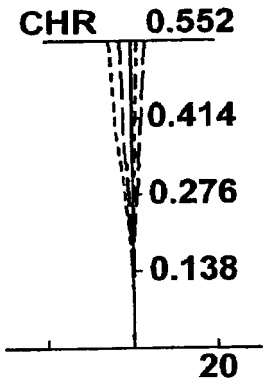

SPH 2.829
3.311
3.922
5.345
100


AST 0.552
0.414
0.276
0.138
100


AST 2.240
1.680
1.120
0.560
100


DIS TV 0.552
0.414
0.276
0.138
1.0


DIS 2.240
1.680
1.120
0.560
1.0


CHR 0.552
0.414
0.276
0.138
20

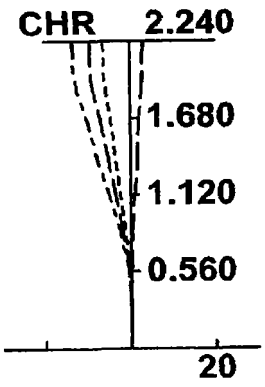

CHR 2.240
1.680
1.120
0.560
20

图 17

图 18

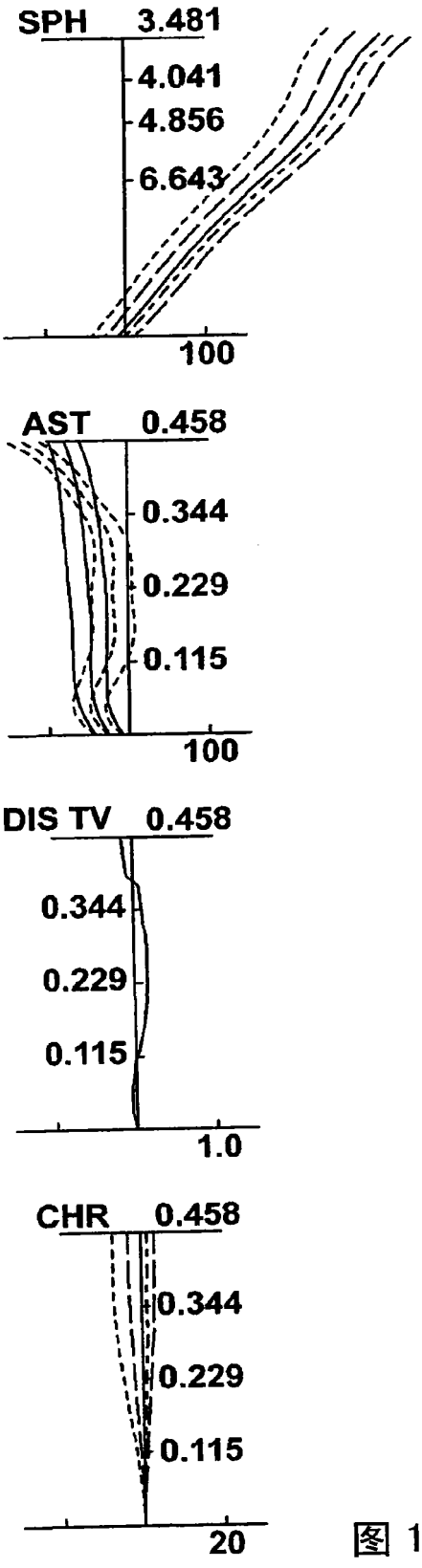

SPH 3.481
4.041
4.856
6.643
100
AST 0.458
0.344
0.229
0.115
100
DIS TV 0.458
0.344
0.229
0.115
1.0
CHR 0.458
0.344
0.229
0.115
20

图 19

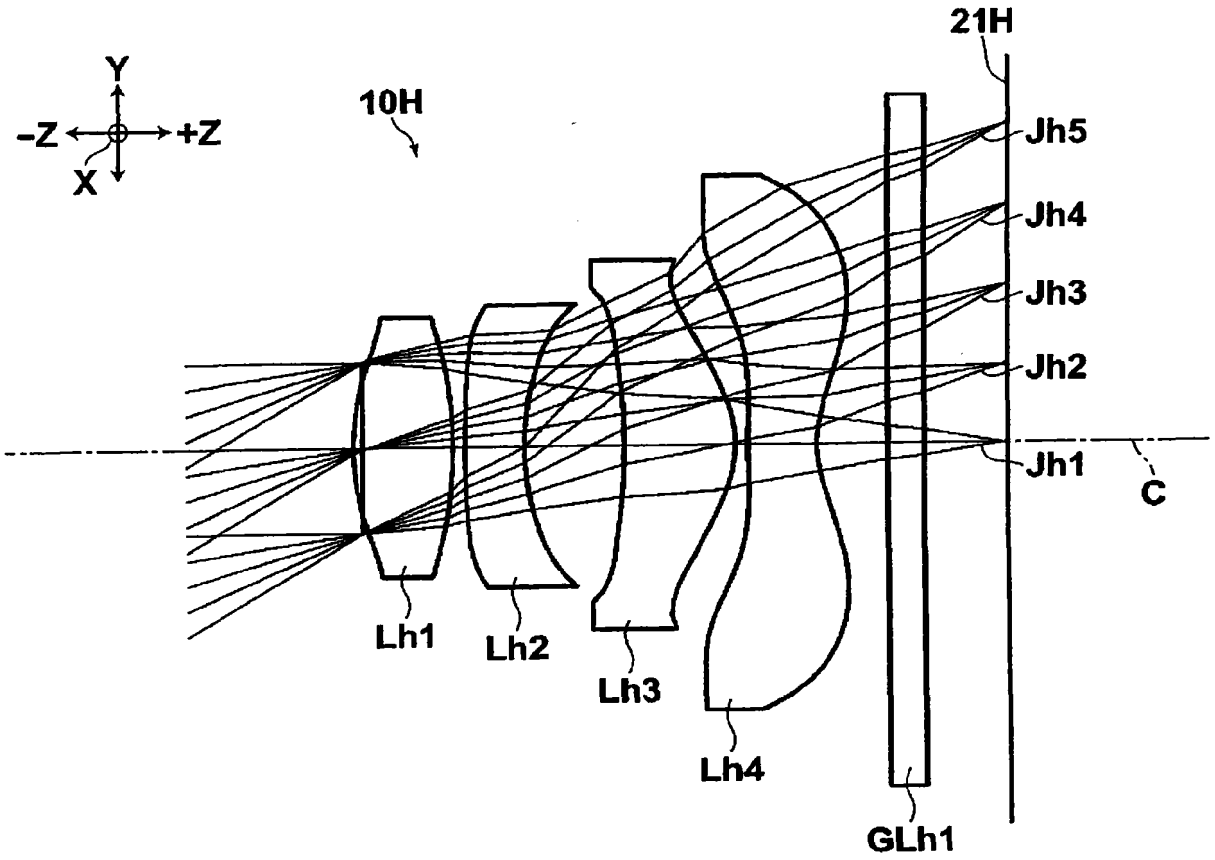


图 20

比较例

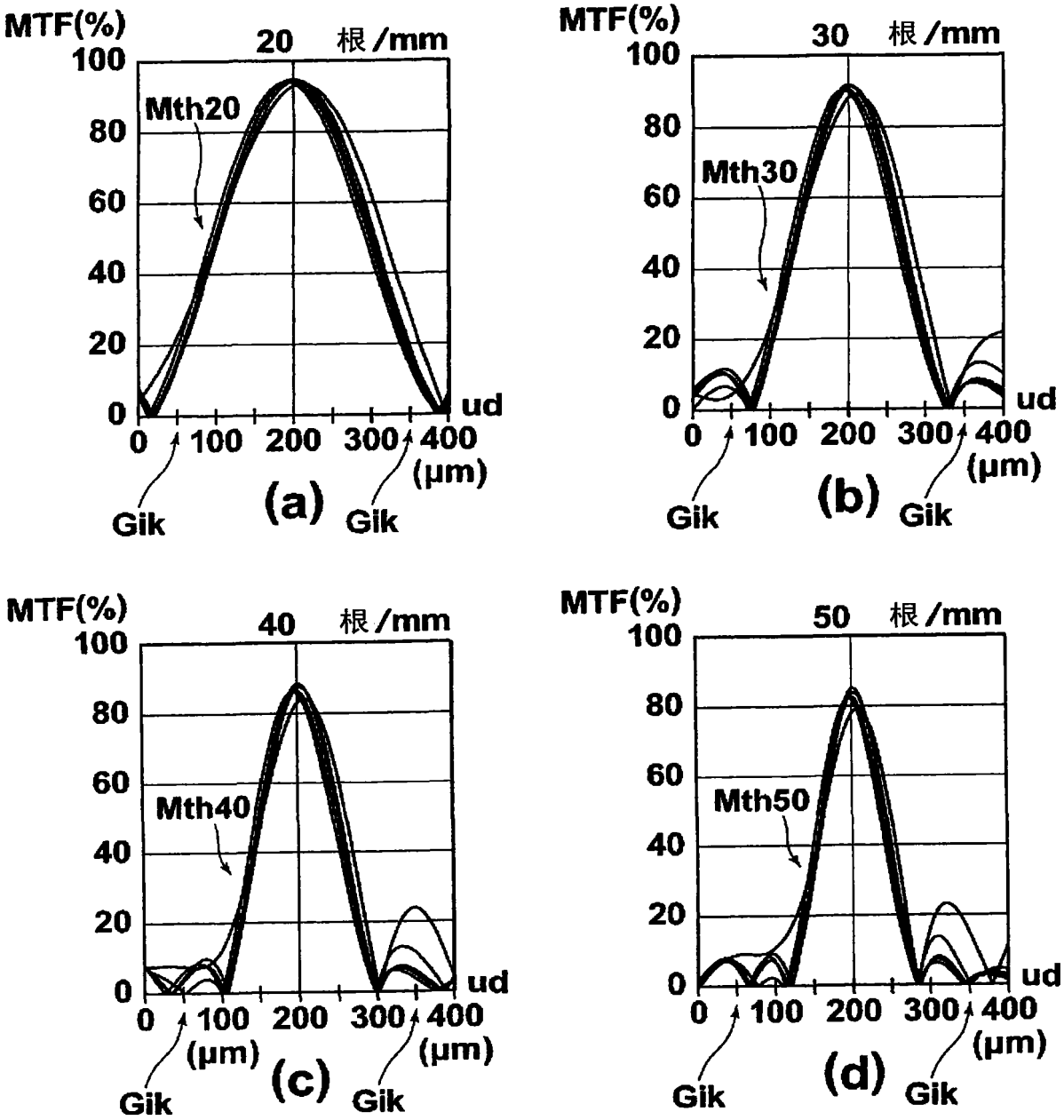

MTF(%)
100
80
60
40
20
0
20 根/mm
Mth20
ud
0 100 200 300 400
(μm)
Gik
(a)
Gik
MTF(%)
30 根/mm
Mth30
(b)
MTF(%)
40 根/mm
Mth40
(c)
MTF(%)
50 根/mm
Mth50
(d)

图 21

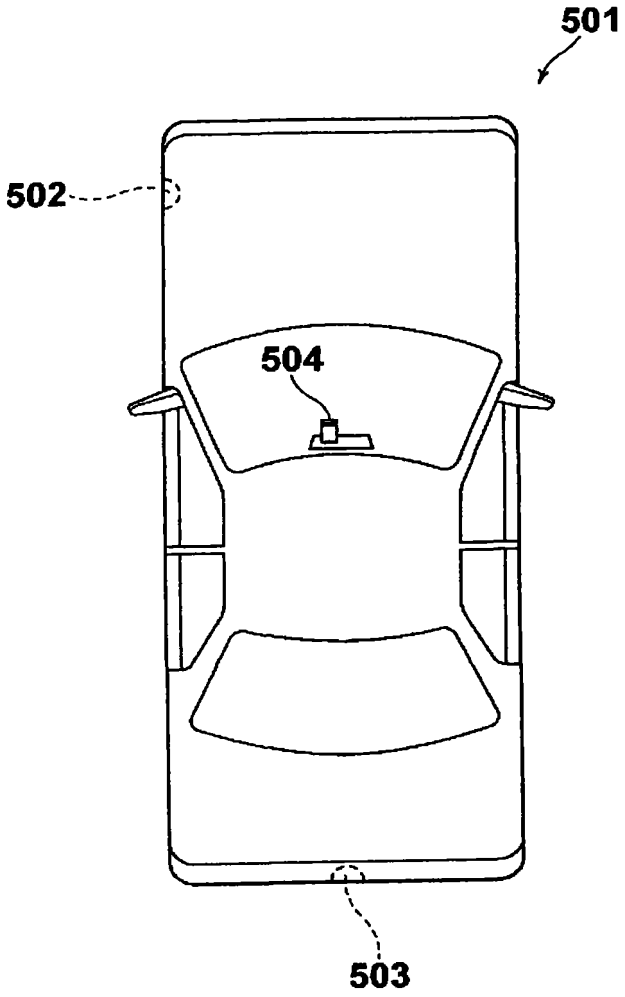


图 22

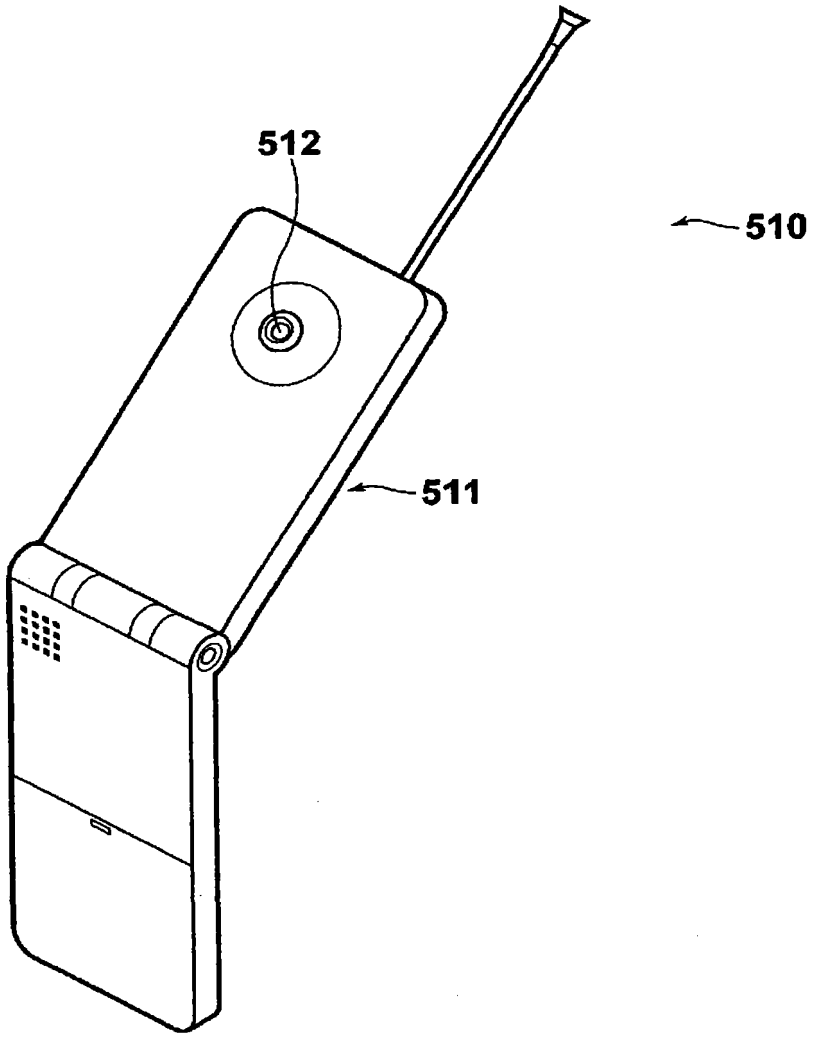


图 23

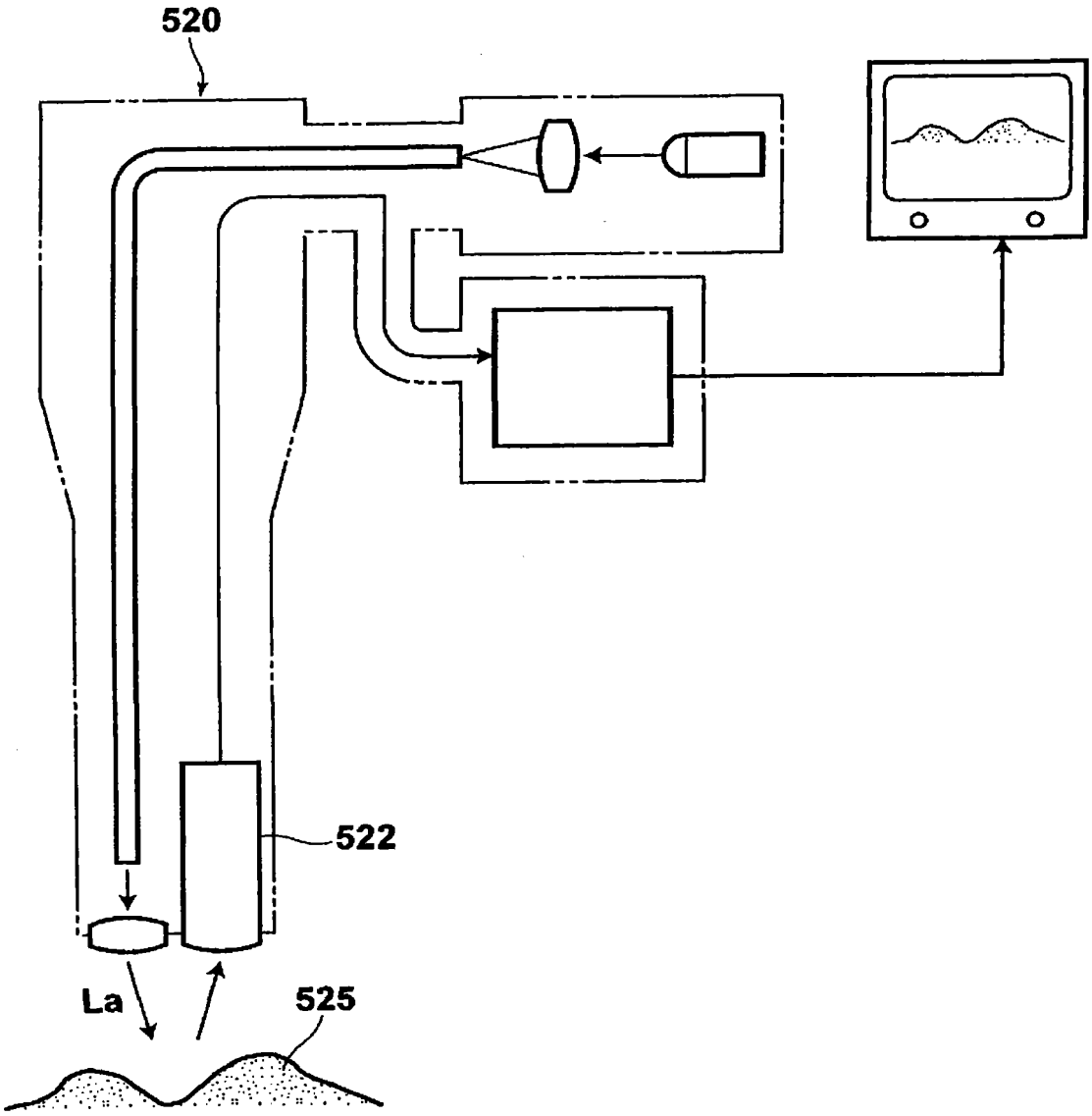


图 24