



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101896850 B

(45) 授权公告日 2013.07.17

(21) 申请号 200880118070.X

(56) 对比文件

(22) 申请日 2008.11.20

US 6936809B2, 2005.08.30, 说明书第1-6栏以及附图3、5、9.

(30) 优先权数据

60/992,284 2007.12.04 US

US 2007/0263293A1, 2007.11.15, 说明书第0089-0091、0096段以及附图3A、3B.

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010.05.27

US 6936809B2, 2005.08.30, 说明书第1-6栏以及附图3、5、9.

(86) PCT申请的申请数据

审查员 孙曙旭

PCT/US2008/084233 2008.11.20

(87) PCT申请的公布数据

W02009/073388 EN 2009.06.11

(73) 专利权人 黑眼睛光学有限公司

地址 美国华盛顿州

(72) 发明人 詹姆士·H·詹纳德 艾恩·A·尼尔

(74) 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理

有限责任公司 11204

代理人 余朦 王艳春

(51) Int. Cl.

G02B 26/02(2006.01)

G02B 27/64(2006.01)

G02B 3/14(2006.01)

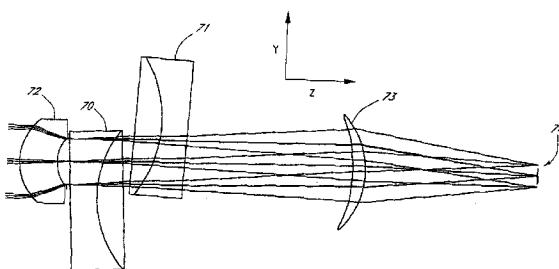
权利要求书2页 说明书18页 附图28页

(54) 发明名称

液体光学元件图像稳定系统

(57) 摘要

一种图像稳定系统，包括多个沿两个光轴对准的透镜元件；以及一个或多个包括第一和第二接触液体的液体透镜单元(70, 71)，其中接触液体之间的接触光学表面具有可变形状，可变形状关于其自身的光轴是基本对称的，且关于至少一个其他光轴为不对称的；其中多个透镜元件和至少一个液体透镜元件聚集从物侧发出的辐射，并提供图像的稳定。



1. 一种图像稳定系统,包括:

多个透镜元件,沿着至少两个光轴对准;以及

至少一个液体透镜单元,其包括第一接触液体和第二接触液体,其中所述接触液体之间的接触光学表面具有可变形状,所述可变形状关于其自身的光轴是基本对称的,其中所述至少一个液体透镜单元相对于所述多个透镜元件偏移,以使得所述可变形状关于至少一个其他光轴是不对称的;

其中所述多个透镜元件和所述至少一个液体透镜单元被配置成聚集从物侧空间发出的辐射,并且为传输至像侧空间的辐射提供至少部分稳定。

2. 如权利要求1所述的图像稳定系统,进一步包括第二液体透镜单元,其中所述至少一个液体透镜单元和所述第二液体透镜单元被配置成为传输至像侧空间的辐射提供基本稳定。

3. 如权利要求2所述的图像稳定系统,其中基本稳定是沿直线方向的。

4. 如权利要求2所述的图像稳定系统,其中传输至像侧空间的辐射沿垂直方向为基本稳定的。

5. 如权利要求1所述的图像稳定系统,进一步包括至少四个液体透镜单元。

6. 如权利要求5所述的图像稳定系统,其中所述至少四个液体透镜单元被配置成为传输至像侧空间的辐射提供基本稳定。

7. 如权利要求6所述的图像稳定系统,其中所述基本稳定是多个方向上的。

8. 如权利要求6所述的图像稳定系统,其中传输至像侧空间的辐射在所有方向都为基本稳定的。

9. 一种图像稳定系统,包括:

多个透镜元件,沿着公共光轴对准;以及

至少一个液体透镜单元,其包括第一接触液体和第二接触液体,其中所述接触液体之间的接触光学表面具有可变形状,所述可变形状关于所述液体透镜单元的光轴为基本对称的,其中所述液体透镜单元相对于所述多个透镜元件偏移,以使得所述多个透镜元件的公共光轴不与所述液体透镜单元的光轴对准;

其中沿着公共光轴对准的所述多个透镜元件、以及所述液体透镜元件被布置成聚集从物侧空间发出的辐射,并且为传输至像侧空间的辐射提供稳定。

10. 如权利要求9所述的图像稳定系统,其中所述接触光学表面的形状受到电控制,以为传输至像侧空间的辐射提供稳定。

11. 如权利要求9所述的图像稳定系统,进一步包括加速度计,以检测至少一个透镜单元的移动。

12. 如权利要求11所述的图像稳定系统,其中所述加速度计所检测到的移动用于控制所述接触液体的可变形状。

13. 如权利要求9所述的图像稳定系统,进一步包括激光陀螺仪,以检测至少一个透镜单元的移动。

14. 如权利要求9所述的图像稳定系统,其中传输至像侧空间的辐射为基本稳定的。

15. 如权利要求9所述的图像稳定系统,进一步包括控制系统,所述控制系统被配置成检测照相机的移动镜头运动,其中由于移动镜头运动而引起的像移未得到校正。

16. 如权利要求 9 所述的图像稳定系统,其中具有小于 2Hz 频率的运动是不稳定的。

液体光学元件图像稳定系统

[0001] 相关申请

[0002] 本申请涉及并要求于 2007 年 12 月 4 日提交的、第 60/992,284 号美国临时申请的权益，其全部内容通过引用并入本文并作为本说明书的一部分。

技术领域

[0003] 本发明涉及采用液体光学元件稳定图像的光学透镜系统。

背景技术

[0004] 光学图像稳定改变透镜中的光路以稳定到达传感器的图像。例如，将浮动的透镜元件垂直于透镜的光轴移动。可选地，机械图像稳定移动捕获图像的传感器以抵消照相机的运动。然而，这些图像稳定装置依赖透镜元件或传感器的机械移动。

发明内容

[0005] 液体透镜单元可改变光路而不依赖液体单元的机械移动，因此为稳定图像提供振动补偿。液体透镜单元可与其他沿至少两个光轴对准的透镜单元一起使用。

[0006] 在一个实施方式中，液体透镜单元包括第一接触液体和第二接触液体，其中接触液体之间的接触光学表面具有可变形状，可变形状对于其自身的光轴为基本对称的并且对至少一个其他光轴为非对称的。多个透镜元件和液体透镜单元被配置成聚集从物侧空间发出的辐射，并且为传输至像侧空间的辐射提供至少部分稳定。

[0007] 可配置两个或更多液体透镜单元以为传输至像侧空间的辐射提供进一步的稳定。例如，可采用两个液体透镜单元在单一直线方向稳定图像。该稳定可校正例如水平或垂直图像抖动。

[0008] 在另一个实施方式中，配置四个或更多液体透镜单元以为传输至像侧空间的辐射提供稳定。液体透镜单元中的两个可在一方向上提供稳定，而另两个液体透镜单元在另一方向上提供稳定。这四个或更多液体透镜单元可一起提供任何方向上的稳定。

[0009] 一种液体透镜单元，包括第一接触液体和第二接触液体，配置第一接触液体和第二接触液体使得接触液体之间的接触光学表面具有可变形状，所述可变形状关于所述液体透镜单元的光轴为基本对称的。多个透镜元件沿公共光轴对准，且被布置成接收从物侧空间发出的辐射，并且将辐射传输至像侧空间。液体透镜单元可被插入由沿公共光轴对准的多个透镜元件形成的光路中。液体透镜单元的光轴可平行于公共光轴，或与公共光轴成一定角度。

[0010] 可用电子控制系统控制液体透镜单元中接触光学表面的可变形状。加速度计、激光陀螺仪等可用于检测一个或更多透镜元件的移动，然后接触光学表面的形状发生变化以补偿透镜元件的移动从而稳定图像。

[0011] 控制系统可被配置成检测照相机的移动镜头运动，从而使得由于移动镜头而引起的像移未得到校正。控制系统还可被配置成补偿不同类型的移动。例如，控制系统可补偿

具有大于 2Hz 频率的振动。

[0012] 可协同控制第一液体透镜单元和第二液体透镜单元，从而为传输至像侧空间的辐射在至少一个方向上提供稳定。第一液体透镜单元的光焦度可与第二液体透镜单元的光焦度基本上相等且相反。可设置第一液体透镜单元的光焦度和第二液体透镜单元的光焦度以提供像平面处的聚焦。

[0013] 在一个实施方式中，第一对液体透镜单元在第一方向上相互偏移，且第二对液体透镜单元在与第一方向基本垂直的方向上相互偏移。第一对液体透镜单元在其偏移方向上提供图像稳定，而第二对液体透镜单元在其偏移方向上提供图像稳定。

[0014] 第一对液体透镜单元可在一个方向上相互偏移，且第二对液体透镜单元可在基本不同的方向上相互偏移，第二对液体透镜单元的偏移幅度大于或小于第一对液体透镜单元的偏移幅度。例如，第一对液体透镜单元的稳定范围大于两倍的第一对液体透镜单元的稳定范围。

[0015] 在任何一个实施方式中，一个或更多附加的液体透镜单元可用于补偿热效应，调整传输至像侧空间的辐射的焦点，或作为变焦配置的一部分。

附图说明

[0016] 图 1 为照相机的方框图；

[0017] 图 2 为采用液体的变焦透镜系统的光学示意图；

[0018] 图 3A 和图 3B 为图 2 的变焦透镜系统的液体单元的光学示意图，其中示出液体之间的表面形状；

[0019] 图 4A、图 4B 和图 4C 为图 2 的变焦透镜系统的光学示意图，示出用以产生不同的焦距和焦点距离 (focus distances) 的变焦透镜组的不同位置以及液体之间的表面形状；

[0020] 图 5A、5B 和 5C 为图 4A、图 4B 和图 4C 的变焦透镜系统的调制传递函数性能图；

[0021] 图 6A 和图 6B 为采用液体稳定一个方向上的图像的透镜系统的光学示意图；

[0022] 图 7A 和图 7B 为采用液体稳定任意方向上的图像的透镜系统的光学示意图；

[0023] 图 8A、图 8B 和图 8C 为图 7A 和图 7B 的透镜系统的光学示意图，其中示出用以产生不同的焦距和焦点距离的变焦透镜组的不同位置和液体之间的表面形状；

[0024] 图 9A、图 9B、图 9C 和图 9D 为图 7A 和图 7B 的透镜系统的光学示意图，其中示出用以稳定图像的变焦透镜组的不同位置和液体之间的表面形状；

[0025] 图 10A、图 10B、图 10C 和图 10D 为图 7A 和图 7B 的透镜系统的光学示意图，其中示出用以稳定图像的变焦透镜组的不同位置和液体之间的表面形状；

[0026] 图 11A、11B 和图 11C 为如图 8A、图 8B 和图 8C 中配置的透镜系统的调制传递函数的性能图；

[0027] 图 12A、图 12B、图 12C 和图 12D 为如图 9A、图 9B、图 9C 和图 9D 中配置的透镜系统的调制传递函数的性能图；

[0028] 图 13A、图 13B、图 13C 和图 13D 为如图 10A、图 10B、图 10C 和图 10D 中配置的透镜系统的调制传递函数的性能图。

具体实施方式

[0029] 下面参照附图描述优选实施方式，附图组成具体实施方式的一部分并在其中图示出可实施本发明的具体实施方式。应该理解的是，在不脱离本发明范围的情况下，可采用其他实施方式以及改变结构。

[0030] 于 2007 年 10 月 8 日提交的、序列号为 60/783,338、标题为“液体光学变焦透镜和成像装置”的美国临时专利申请，通过引用并入本文，其中公开了一种采用液体光学元件以提供变焦和聚焦功能的变焦透镜系统。液体光学元件还可用于提供稳定性。在此公开了一种使用液体光学元件的示例性的实施方式。

[0031] 变焦透镜系统中的液体光学元件

[0032] 图 1 示出具有变焦透镜 102 的摄像机 100 的方框图。变焦透镜是能够改变焦距的透镜元件的组件。单独的透镜元件可安装在适当的位置，或沿着透镜的本体轴向滑动。透镜组可由一个或多个透镜元件组成。至少一个可移动的透镜组提供物体放大率的变化。随着移动该至少一个透镜组以实现放大，焦平面的位置也可移动。可移动至少一个其他可移动的透镜组来补偿该焦平面的移动，以保持恒定的焦平面位置。还可通过当透镜放大率改变时移动全部透镜组件来机械地达到对焦平面移动的补偿。

[0033] 单独的透镜元件可由固相材料构成，例如玻璃、塑料、结晶体或半导体材料，或利用液态或气态材料构成，例如水或油。透镜元件之间的空间可包含一种或多种气体。例如，可使用标准空气、氮气或氦气。可选地，透镜元件之间的空间可为真空。当本公开中使用“空气”时，应该理解使用的是广义含义，其可包括一种或多种气体，或为真空。

[0034] 变焦透镜通常具有三个或更多移动的透镜组以实现变焦和聚焦功能。机械凸轮可将两个可移动的透镜组连接以进行变焦，而第三可移动的透镜组可用于聚焦。

[0035] 变焦范围部分地取决于可移动的透镜元件的移动范围。大的变焦范围需要用于透镜元件移动的额外空间。实施液体单元技术的透镜组可替换一个或更多可移动的透镜组。因为液体单元不需要轴向移动的空间，因此可减少包含可移动的透镜组的透镜设计的长度。可选地，用于可移动的透镜组移动的空间可用于包括额外的光学元件或光学折层 (optical folds)。虽然液体单元不需要移动用的空间，但是液体单元可作为可移动的透镜组的一部分。

[0036] 液体单元可用于变焦和聚焦。在一个实施方式中，可移动的透镜组与实施液体单元技术的透镜组一起使用。不需要具有一个可移动的透镜组的机械凸轮。不具有凸轮允许额外的移动。

[0037] 一个或多个可移动的透镜组与一个或多个液体单元一同使用以实现变焦和聚焦。单一的可移动的透镜组和单一的液体单元可一起实施变焦、聚焦以及热效应的补偿。在一种实施方式中，变焦系统至少具有第一和第二透镜组。第一透镜组为相对高光焦度的，而第二透镜组为相对低光焦度的，透镜光焦度等于透镜焦距的倒数。第一透镜组包括常规玻璃透镜或其他固体透镜，第二透镜组包括至少一个液体透镜。

[0038] 液体单元使用两种或更多种液体来形成透镜。透镜的焦距部分地由液体之间的接触角和液体间的折射率差异来确定。光焦度变化的范围受到所采用的液体的折射率的差异和因空间约束在液体之间的表面交界处产生的曲率半径的有限范围的限制。通过引用并入本文的公开号为 2006/0126190 的美国专利申请，公开了一种采用通过电润湿法产生液滴变形的透镜。通过引用并入本文的第 6,936,809 号美国专利，公开了一种使用电润湿技术

以横向偏移在像面上形成的图像。

[0039] 目前预期的液体透镜系统的折射率之差至少约 0.2, 优选地至少约 0.3, 在一些实施方式中至少约为 0.4。水具有约 1.3 的折射率, 且加盐后折射率可变为约 1.48。适合的光学油 (optical oils) 可具有至少约 1.5 的折射率。甚至利用具有较高、较低或较高和较低折射率的液体, 例如较高折射率的油, 光焦度变化的范围仍受到限制。受限的光焦度变化范围通常提供比可移动的透镜组小的放大率变化。因此, 在简单的变焦透镜系统中, 为了提供变焦同时保持恒定的像面位置, 通过一个可移动的透镜组提供大部分的放大率变化, 且通过一个液体单元提供放大率变化期间像面上大部分的散焦补偿。然而, 应该注意, 可利用更多的可移动的透镜组或更多的液体单元, 或利用更多的可移动的透镜组和更多的液体单元。

[0040] 可移动的透镜组可具有正或负光焦度。液体单元可具有一定范围的可变光焦度, 其中光焦度总为正、总为负或从正变为负或从负变为正。可移动的透镜组和液体单元的适当布置可提供大于 2 倍且优选地大于 3 倍的扩展的变焦比, 且同时在整个变焦范围内提供良好的图像质量。除变焦之外, 该布置还可通过利用来自液体单元、可移动的透镜组或两者的额外可获得的光焦度变化, 在扩展的聚焦范围内的不同物距处提供聚焦。液体单元或可移动的透镜组或者两者为聚焦所提供的额外光焦度变化是容易获得的。由于一个可移动的透镜组不需要具有固定移动轨迹的凸轮, 因此可调节可移动的变焦透镜组的位置以变焦和聚焦。通过利用可移动的变焦透镜组和液体单元进行变焦和聚焦实现了高性能成像。

[0041] 还可用至少一个液体单元替换可移动的变焦透镜组。这将增加光学系统的复杂性, 并导致光学系统具有其他缺点, 例如减小的放大率变化。

[0042] 图 1 还示出透镜控制模块 104, 其控制透镜中的透镜组 102 的移动和操作。控制模块 104 包括控制液体透镜单元的曲率半径的电路。电路还可控制可移动的透镜组的位置。可预先确定用于不同焦点位置和变焦位置的适当的电子信号电平, 并将其置于查找表中。可选地, 模拟电路或电路与查找表的组合可生成适合的信号电平。在一个实施方式中, 用多项式确定适合的电子信号电平。沿着多项式的点可被存储在查找表中, 或者多项式可通过电路实施。

[0043] 在控制液体之间的表面的曲率半径或可移动的透镜组的位置或者两者时还可考虑热效应。多项式或查找表可包括额外的与热效应相关的变量。

[0044] 控制模块 104 可包括用于特定变焦设置或焦距的预置控制。这些设置可由使用者或照相机制造商存储。

[0045] 图 1 进一步示出图像捕获模块 106, 图像捕获模块 106 接收与外部物体相应的光学图像。该图像沿着穿过透镜 102 的光轴被传输至图像捕获模块 106。图像捕获模块 106 可采用不同的形式, 例如胶片 (例如生胶片或静止影像胶片), 或电子图像检测技术 (例如 CCD 阵列、CMOS 装置或视频拾取电路)。光轴可为线状的, 或者光轴可包括折叠。

[0046] 图像存储模块 108 将所捕获的图像保存在例如单板存储器或胶片、磁带或磁盘上。在一个实施方式中, 存储介质为可移除的 (例如闪存、胶片筒、磁带盒或磁盘)。

[0047] 图像传输模块 110 将所捕获的图像传输至其他装置。例如, 图像传输模块 110 可使用一种或多种连接, 例如 USB 端口、IEEE 1394 多媒体连接、以太网端口、蓝牙无线连接、IEEE 802.11 无线连接、视频元件连接或 S 视频连接。

[0048] 照相机 100 可以以多种方式实现,例如摄像机、移动电话相机、数字图像摄像机或胶片摄像机。

[0049] 现在将通过设计示例来描述变焦透镜的实施方式。首先参照图 2,通过字母“E”和跟随其后的数字 1 至 20 来表示每个透镜元件,并描述每个透镜元件的总体配置,但是每个透镜表面的实际半径在表 1 中列出。以数字 1 至 36 来表示透镜、物体、光阑或可变光圈以及像面。通过字母“G”和跟随其后的数字 1 至 3 表示图 2 中的三个透镜组,通过字母“LC”表示液体透镜单元,液体透镜单元包括光学表面 19 至 23。光轴在图 2 中由数字 38 表示。

[0050] 每个透镜元件具有以独立但连续的表面数字表示的相对表面,例如如图 2 所示,透镜元件 E1 具有透镜表面 2 和透镜表面 3,透镜元件 E9 具有透镜表面 17 和透镜表面 18 等。待成像物体的位置特别由于其与对焦距离有关而由位于光轴 38 上的竖直线和数字 1 表示,且实像面由数字 36 表示。除透镜表面 4 和透镜表面 8 之外的所有透镜表面都为球面或平面,透镜表面 4 和透镜表面 8 为非球形、非平的但关于光轴 旋转对称的非球面。

[0051] 在描述透镜元件的详细特征之前,针对变焦透镜系统 60 给出透镜组和透镜组的轴向位置及移动、以及液体透镜单元和与液体接触的表面形状的变化的概括描述。

[0052] 每个透镜组的正光焦度或负光焦度定义为焦距的倒数。得出的每个透镜组的光焦度如下:物镜组 G1 为正,变焦透镜组 G2 为负,而后透镜组 G3 为正,且随着液体单元中表面形状的变化从较低的正值变化到较高正值。位于图 2 上部的两端带有箭头的水平箭头标志表示变焦透镜组 G2 可在两个轴向方向上移动。

[0053] 图 2 中仅物理地示出了透镜元件,应该理解的是,可在透镜壳体或镜头筒中提供用于支撑透镜元件以及使可移动的变焦透镜组轴向移动的机械装置和机构。另外,应该理解的是,电路改变液体透镜单元中的形状可变化的光学表面的轮廓。

[0054] 在表 1 中列出了上述变焦透镜系统 60 中的透镜结构和构造的数据。表 1 中的数据是在 25°C (77°F) 的温度以及标准大气压 (760mmHg) 下给出的。在整个说明书中,除波长为纳米 (nm) 之外,计量单位均为毫米 (mm)。在表 1 中,第一栏的“项目”表示具有与图 2 中使用的相同标号或标识的每个光学元件以及每个位置,即物面、像面等。第二栏表示具有与图 2 中使用的相同的标号的光学元件(透镜)所属的“组”。第三栏“表面”为如图 2 中所示的物体的表面数字(图 2 中的线“1”和表 1 中的“物体”)、光阑(可变光圈)13 和透镜的每个实际表面的列表。第四栏“焦点位置”表示变焦透镜系统 60 的三个典型焦点位置(F1、F2 和 F3),其中如以下更全面描述的,在第三栏所列出的一些表面之间的距离(间隔)存在变化,并且在第三栏列出的表面 21 的曲率半径也存在变化。第五栏“间隔”为表面(第三栏)与下一表面之间的轴向距离。例如,表面 S2 与表面 S3 之间的距离为 1.725mm。

[0055] 标题为文字“曲率半径”的第六栏,是每个表面的光学表面曲率半径的列表,负号(-)表示曲率半径的中心在表面左侧,如图 2 所示,“无穷大”表示光学上扁平的表面。表面 4 和 8 的星号(*) 表示表面 4 和 8 为非球面,其“曲率半径”为基圆半径(base radius)。使用非球面提供了对变焦透镜的像差的校正,使变焦透镜整体尺寸更小并且配置更简单。非球面 4 和非球面 8 的表面轮廓的公式和系数由下述等式决定:

$$[0056] z = \frac{cy^2}{1 + [1 - (1 + \kappa)c^2y^2]^{\frac{1}{2}}} + Ay^4 + By^6 + Cy^8 + Dy^{10} + Ey^{12} + Fy^{14}$$

[0057] 其中, c 为表面曲率 ($c = 1/r$, 其中 r 为曲率半径);

- [0058] y 为从 X 轴和 Y 轴测量的表面的径向孔径高度；
- [0059] 其中, $y = (X^2+Y^2)^{1/2}$;
- [0060] κ 为二次曲线系数；
- [0061] A、B、C、D、E、F 分别为第 4、第 6、第 8、第 10、第 12 和第 14 阶的形变系数 (deformation coefficient)；
- [0062] z 为对于给定 y 值或沿光轴从表面的极点 (即轴向顶点) 测量的表面轮廓的位置；
- [0063] 表面 4 的系数为：
- [0064] $\kappa = -0.6372$
- [0065] $A = +0.9038 \times 10^{-6}$
- [0066] $B = +0.2657 \times 10^{-8}$
- [0067] $C = -0.1105 \times 10^{-10}$
- [0068] $D = +0.4301 \times 10^{-13}$
- [0069] $E = -0.8236 \times 10^{-16}$
- [0070] $F = +0.6368 \times 10^{-19}$
- [0071] 表面 8 的系数为：
- [0072] $\kappa = 0.0000$
- [0073] $A = 0.5886 \times 10^{-4}$
- [0074] $B = -0.5899 \times 10^{-6}$
- [0075] $C = 0.8635 \times 10^{-8}$
- [0076] $D = -0.5189 \times 10^{-10}$
- [0077] $E = -0.1186 \times 10^{-11}$
- [0078] $F = 0.1631 \times 10^{-13}$
- [0079] 表 1 的第七栏至第九栏涉及图 2 中表面 (第三栏) 与其右侧下一表面之间的“材料”，“类型”栏表示两个表面之间为透镜 (玻璃) 或空的空间 (空气) 或液体透镜 (液体)。玻璃和液体透镜在“代码”栏中由光学玻璃或光学浸液来表示。为了简便起见,所有透镜玻璃均选自可从 Ohara Corporation (小原株式会社) 获得的玻璃,并且“名称”栏列出了每种玻璃类型的小原标识 (Ohara identification),但应该理解的是,也可使用任何等同的、相似的或适合的玻璃。而且,油的透镜液体选自可从 Cargille Laboratories, Inc. (迈科诺技术有限公司) 获得的液体,并且水是通常可从各种水源获得的,但应该理解的是,可以使用任何等同的、相似的或适合的液体。表面 20 处的水基液体在波长 656.27、589.29、546.07 和 486.13nm 处分别具有折射率 1.331152、1.332987、1.334468 和 1.337129。表面 21 处的油液在波长 656.27、589.29、546.07 和 486.13nm 处分别具有折射率 1.511501、1.515000、1.518002 和 1.523796。
- [0080] 表 1 中标题为“孔径直径”的最后一栏提供光线穿过的每个表面的最大直径。对于所有的变焦和焦点位置,对于像面上大约 6mm 的最大图像直径和 F/2.8 至 F/4.0 的 F 数,在波长 546.1 纳米处给出除光阑表面 13 以外的所有最大孔径直径。在表 1 中,对于变焦位置 Z1 和焦点位置 Z1,在波长为 546.1 纳米和像面上的 F 数为 F/2.8 时给出了光阑表面 13 的最大孔径直径。在像面 36 上,以大致值给出了最大孔径直径。
- [0081] 表 1

[0082]

项目	组	表面	焦点位置	间隔	光学参数			孔径直径 (mm)
					曲率半径 (mm)	材料	类型	
物体		1	F1	无穷大	无穷大	空气		
E1	G1	2	F2	1016.2500				
			F3	378.7500				
			全部	1.7250	59.1716	玻璃	SLAM66	801350 37.161
E2	G1	4	全部	0.0750	34.5954	空气	SFPL51	497816 35.567
			全部	6.7565	*33.0488	玻璃	SFPL51	497816 35.618
E3	G1	6	全部	0.0750	2758.9929	空气	SFPL53	439950 35.182
			全部	5.8657	32.7151	玻璃	SFPL53	439950 33.680
			F1	表 2	-2981.4301	空气		33.034
E4	G2	8	F2	表 2				
			F3	表 2				
			全部	0.7652	*461.6464	玻璃	SLAH64	788474 14.273
E5	G2	9	全部	3.8333	8.3339	空气		11.605
			全部	2.6582	-12.6370	玻璃	SFPL53	439950 11.587
E6	G2	11	全部	3.2165	18.1883	玻璃	SLAM66	801350 12.383
			F1	表 3	-55.4718	空气		12.337
			F2	表 3				
光阑/ 光圈	G3	13	F3	表 3				
			全部	0.6371	无穷大			6.708
E7	G3	14	全部	5.7168	-26.3844	玻璃	SLAH65	804466 6.757
E8	G3	15	全部	2.6250	9.3177	玻璃	STIH53	847238 8.304
		16	全部	0.8432	-16.3366	空气		8.533
E9	G3	17	全部	2.5647	-9.2859	玻璃	SLAH58	883408 8.508
		18	全部	2.2767	-11.1961	空气		9.665
E10	G3	19	全部	0.4500	无穷大	玻璃	SBSL7	516641 10.151
E11	G3	20	全部	1.5000	无穷大	液体	水	10.201
E12	G3	21	F1	1.5000	表 4	液体	油	T300 10.367
			F2	表 4				
			F3	表 4				
E13	G3	22	全部	0.4500	无穷大	玻璃	SBSL7	516641 10.584
		23	全部	0.0750	无穷大	空气		10.642
E14	G3	24	全部	3.1583	120.2680	玻璃	SLAH65	804466 10.680
E15	G3	25	全部	0.6000	-7.2241	玻璃	STIH10	728285 10.724
		26	全部	0.0750	13.8153	空气		10.634
E16	G3	27	全部	3.0844	13.7118	玻璃	SBSM10	623570 10.696
		28	全部	0.3424	-11.1618	空气		10.713
E17	G3	29	全部	0.6000	-9.5071	玻璃	STIH13	741278 10.652
		30	全部	0.0750	68.8748	空气		11.180
E18	G3	31	全部	1.7063	18.2078	玻璃	SLAL13	694532 11.589
		32	全部	26.6908	-115.6915	空气		11.592
E19	G3	33	全部	3.1085	10.2784	玻璃	SNPH1	808228 9.888
E20	G3	34	全部	2.7193	-9.9003	玻璃	SLAH58	883408 9.581
		35	全部	2.6192	58.0014	空气		7.805
图像		36	全部	0.0000	无穷大	空气		6.008

[0083]

[0084] 变焦透镜系统 60 在表面 13 处设置有光阑, 用于控制光线在该位置可穿过的孔径

的直径。光阑为物理光圈（或膜片）所在的位置。光圈位于后透镜组 G3 前方并相对透镜组轴向固定。注意，在图 4A 中，边缘光线经过光阑表面 13 的刻度（tic marks）的轴侧，从而使变焦透镜系统在任何场位置、变焦位置和焦点位置都没有光束的渐晕。然而，注意，F 数随变焦和焦点位置而变化，而且光圈相应地打开或关闭。对于焦点位置 F1，变焦位置 Z1-Z8 的光圈的直径为 6.71、6.39、5.96、5.53、5.18、4.84、4.63 和 4.61。这表明随着焦距增加，位于表面 13 处的光圈应当关闭。与焦点位置 F1 相比，对于焦点位置 F2 和 F3 的变焦位置 Z1-Z8 的光圈直径发生小于 0.3mm 直径的少量变化，以保持对于焦点位置 F1 的相同的 F 数。

[0085] 参照表 1，表 1 示出了以数据阐明的存在八个不同的变焦位置 Z1、Z2、Z3、Z4、Z5、Z6、Z7 和 Z8 以及三个不同的焦点位置 F1、F2 和 F3 的设计的范围和多样性，实际上，这些数据为可移动的变焦透镜组 G2 和可变形形状的光学表面 21 提供了二十四 ($8 \times 3 = 24$) 个不同的位置组合。

[0086] 在 546.1 纳米波长处，变焦透镜系统 60 在焦点位置 F1 处对于变焦位置 Z1-Z8 的焦距分别为 5.89、7.50、11.25、15.00、18.75、30.00、41.25 和 45.00mm。在 546.1 纳米波长处，对于数据位置 Z1-Z8 的焦距所对应的 F 数分别为 2.80、2.90、3.05、3.25、3.45、3.70、3.95 和 4.00。

[0087] 对于焦点位置 F1，假设物面 1 位于无穷远，对于 F2，物面 1 处于约 1016.25mm 的中间距离，而对于 F3，物面 1 位于约 378.75mm 的近距离处（即，距离像面 378.75mm）。在 3 个焦点位置 F1、F2 和 F3 中的每一个处，透镜组 G1 和 G3 在变焦透镜组 G2 的整个移动范围内保持在相同的位置。表 2 和表 3 提供了表面 7 和表面 12 的间隔值，表 4 提供了表面 21 对于变焦位置 Z1-Z8 和焦点位置 F1-F3 的曲率半径。

[0088] 表 2

[0089] 表面 7 的间隔值

表面	焦点	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
[0091]	7 F1	0.0832	5.7132	13.7126	18.4633	21.6974	27.4007	30.5400	31.3096
[0092]	7 F2	0.0902	5.7486	13.6468	18.3289	21.5154	27.0776	30.0174	30.7361
[0093]	7 F3	0.0750	5.6942	13.4674	18.1217	21.3355	26.7467	29.5798	30.2701

[0094] 表 3

[0095] 表面 12 的间隔值

表面	焦点	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
[0097]	12 F1	31.5294	25.8992	17.8996	13.1486	9.9140	4.2101	1.0701	0.3000
[0098]	12 F2	31.5178	25.8581	17.9590	13.2762	10.0892	4.5268	1.5870	0.8729
[0099]	12 F3	31.5324	25.9120	18.1380	13.4831	10.2689	4.8577	2.0248	1.3384

[0100] 表 4

[0101] 表面 21 的曲率半径

表面	焦点	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
[0103]	21 F1	-33.9902	-40.9700	-60.9667	-84.8892	-106.7630	-101.7297	-58.3998	-48.6792
[0104]	21 F2	-34.3890	-42.0587	-65.5384	-101.1799	-154.9184	-370.2777	-263.5374	-212.3139
[0105]	21 F3	-35.0134	-43.6001	-72.6330	-133.7178	-351.2333	214.4454	125.5481	115.8049

[0106] 可以理解，在极端焦点位置 F1 与 F3 之间可以获得连续聚焦，在极端变焦位置 Z1

与 Z8 之间可以获得连续变焦，在所描述的聚焦和变焦范围内通过透镜系统 60 可以获得连续聚焦和变焦的任何组合。

[0107] 图 2 中所示出和表 1 中所规定的变焦透镜系统 60 对于透镜组 G1 和 G2 分别具有 54.30 和 -12.25mm 的焦距。而且，由于液体之间的光学表面 21 的形状可变，透镜组 G3 具有可变焦距，该可变焦距在变焦位置 Z1 和焦点位置 F1 处、以及变焦位置 Z8 和焦点位置 F3 处分别具有最小值 +30.18mm 和最大值 +38.97mm。图 3A 和 3B 中示出了变焦透镜系统 60 的液体单元 LC，其中显示了液体之间的形状可变的光学表面 21 的来自表 1 的两个极值曲率半径。在图 3A 和 3B 中，表面 21 的两个曲率半径分别约为 -33.99 和 +115.80mm。在图 3A 和 3B 中，液体单元 LC 的两个极值焦距分别为 -185.20 和 +630.97mm。这种差异发生在变焦位置 Z1 和焦点位置 F1 处以及变焦位置 Z8 和焦点位置 F3 处。在该实施方式中，表面 20、21 和 21、22 之间的两种液体的体积随着可变表面形状的变化而变化。然而，也可以通过使表面 20、21 和 21、22 之间的轴向间隔发生小的、相等但相反的改变，以保持每种液体的体积恒定。

[0108] 现在参照 4A、4B、和 4C，其中示出变焦透镜系统 60 具有处于不同位置的变焦透镜组、处于不同位置的液体单元中的可变表面的形状以及对于这些位置的光线踪迹。图 4A 表示了焦点位置 F1 和变焦位置 Z1，表 1 中以无穷远的焦点和约为 5.9mm 的较小焦距阐明了针对焦点位置 F1 和变焦位置 Z1 的数据。图 4B 以表 1 中的中间焦点和约 11.3mm 的焦距表示了焦点位置 F2 和变焦位置 Z3。图 4C 以表 1 中的近焦点和约 44.8mm 的焦距表示了焦点位置 F3 和变焦位置 Z8。

[0109] 图 4A、4B 和 4C 示出了分别对于各自的变焦位置和焦点位置：Z1、F1 和 Z3、F2 和 Z8、F3，具有可变光学表面 21 的相应的 3 个表面形状的变焦透镜组 G2 的 3 个轴向位置。

[0110] 图 5A、5B 和 5C 中给出了变焦透镜系统 60 的光学性能，其中以表 1 中所给出的变焦位置和焦点位置的三种不同组合，即作为代表性示例的 (Z1, F1)、(Z3, F2)、和 (Z8, F3)，对于五个不同的场位置，以百分比 (%) 示出了基于衍射的多色调制传递函数 (“MTF”) 数据（调制与空间频率的关系）。以两个数值给出所述场位置，即归一化的图像高度 (mm) 和相对于光轴的实际物空间角度 (度)。MTF 百分比处于在图 5A、5B 和 5C 的右上角记录的波长和权重处，并以图形方式示出像面 36 上测量的切向 (T) 和径向 (R)。注意，切向和径向值在轴向场位置 (轴) 处是相等的并仅用一个图来描绘。给定约 6mm 的图像直径，所示出的最大空间频率为 90 周 /mm，对探测器像素尺寸的选择可以提供至少高达高清电视 (HDTV) 分辨率，即 1920 个水平像素乘 1080 个竖直像素的高质量图像。空间频率处的 MTF 是光学性能的相对标准的测量，其中数值 “90 周 /mm” 意味着在用于确定清晰度的图上每毫米 90 对黑白线。最高的 MTF 值约为 89%，处于对于变焦位置 Z1 和焦点位置 F2 的全径向场。最低的 MTF 值约为 58%，处于对于变焦位置 Z2 和焦点位置 F3 的全切向场。最小相对照度约为 75%，处于变焦位置 Z1 和焦点位置 F1。通常，相对照度值越高越好，因为低的数值意味着光在图片的角落减少。对于现有技术的探测器而言，较高的全场相对照度是优选的，现有技术的探测器在所有区域中具有对光的恒定响应，并且在变焦过程中连同图像的改变忠实地重现图像角落中的阴影。小于 50% 的照度可能导致电子探测器中的阴影，但是对于胶片而言可能是可接受的。最高正畸变为变焦位置 Z3 和焦点位置 F1 处的 +3.04%，最低负畸变为变焦位置 Z1 和焦点位置 F3 处的 -2.98%。通常，所谓的透镜“呼吸”问题（但是可能

在变焦透镜中更为普遍),即从远焦到近焦图像尺寸发生改变,在变焦透镜系统 60 中在变焦范围的短焦距处实际上是不存在的,而由于景深较大该问题在变焦范围的短焦距处最可能被注意到。最低呼吸为变焦位置 Z1 和焦点位置 F3 处的 -0.2%,最高呼吸为变焦位置 Z8 和焦点位置 F3 处的 -19.5%。呼吸是从无穷远焦点到所选择的焦点最大视场角的百分比变化。因此,在无穷远焦点 (F1) 处,呼吸为零,因为它是参考视场。

[0111] 在 25°C (77°F) 的温度、标准大气压 (760mm Hg) 下以及在变焦透镜系统 60 中可获得的全孔径处给出全部的性能数据。然而,变焦透镜系统 60 在 0°C 至 40°C (32°F 至 104°F) 的温度范围内的确 提供了基本恒定的性能,例如 MTF 值,并且如果性能 (MTF) 的小幅下降是可以接受的,则操作温度范围可以扩展至 -10°C 至 50°C (14°F 至 122°F) 或更大。对于温度的变化,可以通过对变焦透镜组 G2 进行进一步的轴向调整或对接触的光学表面 21 的形状进行进一步的改变或者通过二者的结合实现最优性能。这可以发生在所有的变焦及焦点位置。在约 0°C (32°F) 或 0°C 以下的低温下,为了避免结冰 (形成固体),液体可能需要加热,或者采用与为了低温运行而将防冻剂添加到汽车散热器中的水中的相似方式,将液体替换为含添加剂的液体。然而,注意这些材料温度变化优选地不应显著改变液体的光学特性。

[0112] 尽管使用变焦透镜系统 60 的所述实施方式具有用于与 6mm 直径 (所谓的 1/3 英寸芯片传感器) 一同使用的适当尺寸,但是该变焦透镜系统的尺寸可以适当地放大或缩小以与各种胶片和电子探测器图像形式一同使用。

[0113] 变焦透镜系统 60 的众多优点之一在于仅通过使用一个轴向移动变焦透镜组在大范围的焦距上提供变焦。变焦透镜系统 60 的设计产生了具有高性能并且机械复杂性低于大多数传统高性能变焦透镜系统的透镜系统,大多数传统高性能变焦透镜系统需要至少两个可轴向移动的变焦透镜组和相应的机械装置。变焦透镜系统 60 的独特透镜设计在大范围的焦距上提供聚焦而无需附加的可移动透镜组和相应的机械装置。所公开的变焦透镜系统 60 的设计是示例性的,其它设计落入本发明的范围内。通过上述描述和附图,本领域技术人员会了解到变焦透镜系统 60 的其它特征和优点。

[0114] 采用图像稳定的透镜系统中的液体光学元件

[0115] 图 6A 和图 6B 示出采用液体以稳定图像的透镜系统的光学示意图。图 6A 示出在 YZ 平面中的透镜系统,其中液体透镜单元 70 和 71 为离轴、偏心的并且沿 Y 轴轻微倾斜的。图 6B 示出在 XZ 平面中的透镜系统,其中液体透镜单元 70 和 71 沿 X 轴居中。在该简化的透镜系统中,光从物空间穿过透镜元件 72。在光圈的另一侧,光穿过液体透镜单元 70 和 71。透镜元件 73 使光会聚在像面 74 上。

[0116] 图 6A 中的光学示意图示出在 YZ 平面上倾斜或旋转透镜的影响。如图所示,在 YZ 平面上倾斜透镜导致像面 74 上的图像上移或下移。对液体透镜单元 70 和 71 进行定位,以便协同地控制液体透镜单元 70 和 71 以补偿 YZ 平面上透镜倾斜的影响。

[0117] 图 7A 和图 7B 示出使用四个液体透镜单元以稳定图像的透镜系统 80 的光学示意图。透镜系统 80 可与照相机 100 一起使用。图 7A 示出在 YZ 平面上的透镜系统 80,且图 7B 示出 XZ 平面上的透镜系统 80。透镜系统 80 包括第一固定物镜组 81、第二移动透镜组 82、光圈 83、第三固定透镜组 84、第一液体透镜单元 85、第四固定透镜组 86、第二至第五液体透镜单元 86、88、89、90 以及第五固定透镜组 91。图像在像面 92 上形成。液体透镜单元

87 和 88 沿 y 轴以相对方向偏置,且液体透镜单元 89 和 90 沿 z 轴以相对方向偏置。因此,对液体透镜单元 87 和 88 的可变表面形状的控制提供图像沿 y 轴在像面 92 处的稳定性,对液体透镜单元 89 和 90 的控制提供图像沿 x 轴在像面 92 处的稳定性。

[0118] 图 7A 和图 7B 中所示的配置,示出沿 z 轴对准的液体透镜单元。可选地,除了沿着 x 轴或 y 轴偏移之外,液体透镜单元还可围绕 z 轴倾斜,或者液体透镜单元还可围绕 z 轴倾斜而不沿 x 轴和 y 轴偏移。沿 x 轴或 y 轴或沿两者使液体透镜单元偏移都增加系统 80 中透镜的物理直径。倾斜液体透镜单元可允许减小或消除可减小液体透镜单元物理直径的 x 和 y 方向上的偏移,并可允许更好的图像稳定。

[0119] 图 7A 和图 7B 中不含液体透镜单元的每个透镜组的光焦度和焦距如下:物镜组 81 为正且为 +54.700mm,移动透镜组 82 为负且为 -12.165mm,透镜组 84 为正且为 +70.285mm,透镜组 86 为正且为 +42.266mm,后透镜组 91 为正且为 +19.147mm。

[0120] 表 5 列出了图 7A 和图 7B 示出的透镜元件的一般配置。在 25°C (77°F) 的温度以及标准大气压 (760mm Hg) 下,给出表 5 中的数据。焦距范围大致为 6mm 至 45mm。视场范围大致为 56.7° 至 7.7° (包括在无穷远焦点位置 F1 的变形)。变焦比率大致为 7.5 倍 (7.5 : 1)。使用 16:9 格式的图像尺寸大致为 Φ6mm。焦点范围大致为无穷远 (焦点位置 F1) 至 378.25mm (焦点位置 F3),是从物体到最近倍率透镜表面的顶点测得的。波段范围大致为 486nm 至 656nm。透镜系统 80 提供从至少约 15mm 至 45mm 的焦距,在大致 ±1/4 图片半高度以及 ±1/8 图片半宽度范围中的图像稳定。

[0121] 表 5

[0122]

组	项 目	表 面	焦 点 位 置	间 隔 (mm)	光学参数			孔 径 直 径 (mm)	
					曲 率 半 径 (mm)	材 料	型 号		
		1	F1	无穷大	无穷大	空气			
			F2	1016.2500					
			F3	378.7500					
81	E1	2	全部	1.7250	59.1203	玻璃	SLAM66	801350	20.488
81		3	全部	0.0750	34.4944	空气			19.360
81	E2	4	全部	7.2455	*32.9559	玻璃	SFPL51	497816	19.362
81		5	全部	0.0750	-1679.0367	空气			19.149
81	E3	6	全部	5.8060	32.1676	玻璃	SFPL53	439950	17.393
81		7	F1	表 6	603.6202	空气			17.043
			F2	表 6					
			F3	表 6					
82	E4	8	全部	0.7652	421.5729	玻璃	SLAH64	788474	7.306
82		9	全部	4.0061	8.3253	空气			5.910
82	E5	10	全部	2.6582	-12.7245	玻璃	SFPL53	439950	5.900
82	E6	11	全部	3.2165	18.4437	玻璃	SLAM66	801350	6.360
82		12	F1	表 7	-56.6544	空气			6.350
			F2	表 7					
			F3	表 7					
83	光 圈 / 光 阑	13	全部	0.6371	无穷大	空气			表 8
84	E7	14		4.3421	-26.4053	玻璃	SLAH65	804466	3.531
84	E8	15		2.7592	10.8849	玻璃	STIH53	847238	4.471
84		16		1.9504	-19.6033	空气			4.660
84	E9	17		3.4944	-10.0360	玻璃	SLAH58	883408	4.759
84		18		2.2880	-12.3751	空气			5.698
85	E10	19		0.4500	无穷大	玻璃	SBSL7	516641	6.036
85	E11	20		1.5000	无穷大	液体	水		6.064
85	E12	21	F1	1.5000	表 9	液体	油	T300	6.131
			F2	表 9				04091-	
			F3	表 9				AB	
85	E13	22		0.4500	无穷大	玻璃	SBSL7	516641	6.305
85		23		0.0750	无穷大	空气			6.343
86	E14	24		5.5805	30.2458	玻璃	SLAH65	804466	6.443
86	E15	25		0.5250	-12.3375	玻璃	STIH10	728285	6.358
86		26		0.0864	12.5297	空气			6.147
86	E16	27		3.0569	12.7154	玻璃	SBSM10	623570	6.175
86		28		0.2334	-17.0356	空气			6.170
86	E17	29		0.5250	-15.0264	玻璃	STIH13	741278	6.148
86		30		0.0750	17.7536	空气			6.261
86	E18	31		1.9042	17.3661	玻璃	SLAL13	694532	6.310
86		32		0.0750	-48.1100	空气			6.323
87	E19	33		0.6000	无穷大	玻璃	SBSL7	516641	9.837
87	E20	34		1.2011	无穷大	液体	水		9.823
87	E21	35	F1	3.1684	表 10	液体	油	T300	9.777
			F2	表 10				04091-	

[0123]

			F3	表 10		AB	
87	E22	36		0.6000	无穷大	SBSL7	516641
87		37		0.0750	无穷大		9.683
88	E23	38		0.6000	无穷大	玻璃	
88	E24	39		1.2011	无穷大	液体	9.662
88	E25	40	F1	3.1684	表 11	液体	9.691
			F2		表 11	T300	9.676
			F3		表 11	04091-	9.644
88	E26	41		0.6000	无穷大	玻璃	AB
88		42		0.0750	无穷大	SBSL7	516641
89	E27	43		0.6000	无穷大	玻璃	9.570
89	E28	44		1.2011	无穷大	液体	9.549
89	E29	45	F1	3.1684	表 12	水	10.051
			F2		液体	油	10.036
			F3		表 12	T300	9.988
89	E30	46		0.6000	无穷大	04091-	AB
89		47		0.0750	无穷大	玻璃	516641
90	E31	48		0.6000	无穷大	SBSL7	9.893
90	E32	49		1.2011	无穷大	液体	9.869
90	E33	50	F1	3.1684	表 13	水	9.901
			F2		液体	油	9.885
			F3		表 13	T300	9.830
90	E34	51		0.6000	无穷大	04091-	AB
90		52		0.0750	无穷大	玻璃	516641
91	E35	53		3.6122	19.2354	空气	9.735
91	E36	54		5.6250	-12.3087	空气	9.710
91		55		3.1160	-47.2988	空气	5.281
92		56		0.0000	无穷大	空气	4.996
							4.142
							2.995

[0124] 组 87 和 88 中的所有表面分别沿 y 轴偏离中心 -4.3915mm 和 +4.3915mm, 且组 89 和 90 中的所有表面分别沿 x 轴偏离中心 -3.9888mm 和 +3.9888mm。所有其余表面均排列在光轴上。表面 4、表面 7 和表面 53 的星号 (*) 表示他们为非球面。表面 4 的系数为 :

[0125] $\kappa = -0.5673$

[0126] $A = +0.9038 \times 10^{-6}$

[0127] $B = +0.2657 \times 10^{-8}$

[0128] $C = -0.1105 \times 10^{-10}$

[0129] $D = +0.4301 \times 10^{-13}$

[0130] $E = -0.8236 \times 10^{-16}$

[0131] $F = +0.6368 \times 10^{-19}$

[0132] 表面 7 的系数为 :

[0133] $\kappa = +0.0000$

[0134] $A = +0.5886 \times 10^{-4}$

[0135] $B = -0.5899 \times 10^{-6}$

[0136] $C = +0.8635 \times 10^{-8}$

[0137] $D = -0.5189 \times 10^{-10}$

[0138] $E = -0.1186 \times 10^{-11}$

[0139] $F = +0.1631 \times 10^{-13}$

[0140] 表面 53 的系数为 :

[0141] $\kappa = +0.0000$

[0142] $A = -0.5302 \times 10^{-4}$

[0143] $B = +0.8782 \times 10^{-6}$

[0144] $C = +0.7761 \times 10^{-7}$

[0145] $D = -0.1700 \times 10^{-8}$

[0146] $E = -0.1965 \times 10^{-9}$

[0147] $F = +0.6903 \times 10^{-11}$

[0148] 变焦透镜系统 80 在焦点位置 F1 处对于变焦位置 Z1-Z8 的焦距分别为 6.0003、7.6131、11.4304、15.2474、19.1105、30.4619、41.4244 和 44.9809。对于变焦位置 Z1-Z8 的相应的 F 数分别为 2.80、2.90、3.05、3.25、3.45、3.70、3.95 和 4.00。

[0149] 对于焦点位置 F1，假定物面位于无穷远，对于焦点位置 F2，物面处于约 1016.25mm 的中间距离，而对于焦点位置 F3，物面位于约 378.75mm 的近距离处（即，距离像面 378.75mm）。透镜组 81、84、86 和 91 在变焦透镜组 82 的整个移动范围内保持在相同的位置。

[0150] 图 8A、图 8B 和图 8C 为示出示例性的变焦位置和焦点位置的透镜系统 80 的光学示意图。在图 8A 中，针对焦点位置 F1（物平面位于无穷远）和变焦位置 Z1（F 数为 2.80）配置透镜系统 80。在图 8B 中，针对焦点位置 F2（物平面位于 1016.25mm 处）和变焦位置 Z3（F 数为 3.05）配置透镜系统 80。在图 8C 中，针对焦点位置 F3（物平面位于 378.75mm 处）和变焦位置 Z8（F 数为 4.00）配置透镜系统 80。

[0151] 表 6 提供了对于焦点位置 F1-F3 和变焦位置 Z1-Z8 而言，透镜组 81 中最后一个透镜表面与透镜组 82 中第一个透镜表面的间隔值。

[0152] 表 6

[0153] 81 和 82 之间的间隔值

[0154]

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
F1	0.0832	5.7132	13.7126	18.4633	21.6974	27.4007	30.5400	31.3096
F2	0.0902	5.7486	13.6468	18.3289	21.5154	27.0776	30.0174	30.7361
F3	0.0750	5.6942	13.4674	18.1217	21.3355	26.7467	29.5798	30.2701

[0155] 表 7 提供了对于焦点位置 F1-F3 和变焦位置 Z1-Z8 而言，透镜组 82 中最后一个透镜表面与光圈 83 的间隔值。

[0156] 表 7

[0157] 82 和 83 之间的间隔值

[0158]

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
F1	31.5294	25.8992	17.8996	13.1486	9.9140	4.2101	1.0701	0.3000
F2	31.5178	25.8581	17.9590	13.2762	10.0892	4.5268	1.5870	0.8729
F3	31.5324	25.9120	18.1380	13.4831	10.2689	4.8577	2.0248	1.3384

[0159] 表 8 提供了对于焦点位置 F1-F3 和变焦位置 Z1-Z8 而言，透镜系统 80 的光圈的直径。

[0160] 表 8

[0161] 光圈直径

[0162]

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
F1	6.8689	6.5249	6.0962	5.6645	5.3219	4.9624	4.6915	4.6532
F2	6.8405	6.5175	6.0861	5.6557	5.2920	4.8816	4.5571	4.5206
F3	6.8181	6.5033	6.0661	5.6219	5.2403	4.7783	4.4132	4.3444

[0163] 表 9-13 提供了对于焦点位置 F1-F3 和变焦位置 Z1-Z8 而言,透镜系统 80 的液体透镜单元 85、87、88 和 89 的曲率半径。

[0164] 表 9

[0165] 液体透镜单元 85 的曲率

[0166]

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
F1	-33.9902	-40.9700	-60.9667	-84.8892	-106.7630	-101.7297	-58.3998	-48.6792
F2	-34.3890	-42.0587	-65.5384	-101.1799	-154.9184	-370.2777	-263.5374	-212.3139
F3	-35.0134	-43.6001	-72.6330	-133.7178	-351.2333	214.4454	125.5481	115.8049

[0167] 表 10

[0168] 液体透镜单元 87 的曲率

[0169]

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
F1	102.5591	118.4781	117.4984	114.8844	103.1855	99.1788	111.2567	118.9702
F2	116.0979	120.8199	118.4138	110.3387	105.4622	105.8294	116.9056	104.4870
F3	125.4857	126.5081	134.1777	117.6565	117.0787	126.2995	145.9466	152.4400

[0170] 表 11

[0171] 液体透镜单元 88 的曲率

[0172]

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
F1	93.9427	107.5303	107.7701	106.8706	97.5084	95.8461	104.8436	108.5809
F2	102.4836	107.8382	106.2717	100.5026	97.6282	101.0075	111.6798	104.0436
F3	111.5822	110.9116	94.5008	101.6873	102.7035	119.1600	146.3138	155.5935

[0173] 表 12

[0174] 液体透镜单元 89 的曲率

[0175]

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
F1	113.3675	92.6206	99.3336	104.1798	122.1950	118.7964	88.3338	79.6583
F2	94.2380	92.5926	101.7948	117.8766	130.3253	125.2099	101.0682	112.6550
F3	85.9634	91.2575	109.5104	120.2033	127.2392	108.9338	88.7114	84.6877

[0176] 表 13

[0177] 液体透镜单元 90 的曲率

[0178]

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
F1	92.0520	81.7616	88.9468	96.1130	117.8374	119.5041	86.4587	76.4900
F2	81.8570	81.1371	90.3718	106.1190	118.5283	118.2341	94.7431	108.6137
F3	75.0422	77.4766	87.3137	98.8610	104.4282	100.8203	87.2180	83.8997

[0179] 表 9-13 提供的值用于当图像稳定时且不需要对图像跳动进行校正的条件。当检测到图像跳动时,调节液体透镜单元的曲率半径以进行补偿。表 14 提供了对于 -0.5000 度和 0.5000 度的 x 方向的示例性偏移以及 0.4500 度和 -0.4500 度的 y 方向的示例性偏移,在透镜系统 80 的焦点位置 F2 和变焦位置 Z8 处液体透镜单元 85、87、88、89 和 90 的曲率半

径。

[0180] 表 14

[0181] 变焦位置 8 和焦点位置 2 处的液体透镜单元稳定性

[0182] y 偏移 x 偏移

[0183]	(度)	(度)	曲率 85	曲率 87	曲率 88	曲率 89	曲率 90
[0184]	+0.5000	0.0000	-212.3139	58.4594	-275.2157	88.1999	78.5201
[0185]	-0.5000	0.0000	-212.3139	-3112.4429	45.3929	109.7978	121.1403
[0186]	0.0000	+0.4500	-212.3139	128.0860	193.7925	40.6736	-1791.4692
[0187]	0.0000	-0.4500	-212.3139	84.8003	101.7532	-191.6639	43.2782

[0188] 图 9A、图 9B、图 9C 和图 9D 为按照如表 14 所示配置的透镜系统 80 的光学示意图。图 9A 示出对于 +0.5000 度的 y 方向偏移的图像稳定性。图 9B 示出对于 -0.5000 度的 y 方向偏移的图像稳定性。图 9C 示出对于 +0.4500 度的 x 方向偏移的图像稳定性。图 9D 示出对于 -0.4500 度的 x 方向偏移的图像稳定性。

[0189] 表 15 提供了对于 +1.5000 度和 -1.5000 度的 x 方向的示例性偏移以及 +1.2200 度和 -1.2200 度的 y 方向的示例性偏移，在透镜系统 80 的焦点位置 F1 和变焦位置 Z4 处液体透镜单元 85、87、88、89 和 90 的曲率半径。

[0190] 表 15

[0191] 变焦位置 4 和焦点位置 1 处的液体透镜单元稳定性

[0192]	y 偏移	x 偏移	曲率 85	曲率 87	曲率 88	曲率 89	曲率 90
[0193]	(度)	(度)					
[0194]	+1.5000	0.0000	-84.8892	51.5591	-271.8934	143.7170	72.8023
[0195]	-1.5000	0.0000	-84.8892	-762.4547	42.5934	103.3767	143.1168
[0196]	0.0000	+1.2200	-84.8892	140.6245	113.4484	43.9052	-341.3372
[0197]	0.0000	-1.2200	-84.8892	86.3979	81.3499	-145.4669	46.5625

[0198] 图 10A、图 10B、图 10C 和图 10D 为按照如表 15 所示配置的透镜系统 80 的光学示意图。图 10A 示出对于 -1.5000 度的 y 方向偏移的图像稳定性。图 10B 示出对于 +1.5000 度的 y 方向偏移的图像稳定性。图 10C 示出对于 +1.2200 度的 x 方向偏移的图像稳定性。图 10D 示出对于 -1.2200 度的 x 方向偏移的图像稳定性。

[0199] 在表 5-15 中给出的液体透镜单元数据的光焦度和焦距如下：第一单元 85 为负到正且为 -185.198mm 到 630.972mm，第二单元 87 为正到负且为 +280.924mm 到 -4154.291mm，第三单元 88 为正到负且为 +232.078mm 到 -1481.432mm，第四单元为正到负且为 +221.613mm 到 -792.587mm，以及第五单元 90 为正到负且为 +235.804mm 到 -1859.801mm。

[0200] 在图 11A-11C、12A-12D 以及 13A-13D 中给出透镜系统 80 的光学性能。图 11A-11C 与图 8A-8C 中示出的光学配置相对应。图 12A-12D 与图 9A-9D 中示出的光学配置相对应。图 13A-13D 与图 10A-10D 中示出的光学配置相对应。

[0201] 以表 5 中所给出的变焦位置和焦点位置的三种不同组合，即作为代表性示例的 (Z1, F1)、(Z3, F2)、和 (Z8, F3)，对于五个不同的场位置，以百分比 (%) 示出了基于衍射的多色调制传递函数 (“MTF”) 数据 (调制与空间频率的关系)。五个场位置 (轴和四个角) 以角度表示为 x-y 视场角。MTF 百分比处于在图 11A-11C、12A-12D 和 13A-13D 的右上

角所给出的波长和权值处，并针对像面 92 上的 x 和 y 测量方向以图形方式示出。

[0202] 透镜系统 80 具有的畸变特征与具有略微增加的全场畸变 (fullfield distortion) 的透镜系统 60 的畸变特征相似，由于液体透镜是偏心的，单元系统 60 的全场畸变略微地不对称。透镜系统 80 基本上是非渐晕的，并且相应的相对照度非常高并与透镜系统 60 的照度相似。透镜系统 80 具有的呼吸特征基本上与透镜系统 60 的呼吸特征相似。

[0203] 给定约 6mm 的图像直径，所示出的最大空间频率为 60 周 /mm，对探测器像素尺寸的选择可以提供至少高达标清电视 (SDTV) 分辨率，即 720 个水平像素乘 480 个竖直像素的高质量图像。在图 11 中，在长 焦距处，在通常实际上没有远距离位置和中间距离位置即 F1 和 F2 重要的近焦位置 (Z8, F3)，光学性能 (MTF) 减小至约 55%。然而，在远距离处稳定操作时，光学性能 (MTF) 维持在约 60% 以上。可移动的透镜组 82 在稳定期间可轴向移动，且液体透镜单元的可变曲率半径在稳定期间可独立的变化，这允许光学性能升至或超过大致相当于 HDTV 分辨率的 90 周 /mm。

[0204] 图 12A-12D 与图 9A- 图 9D 示出的光学配置相对应。

[0205] 图 13A-13D 与图 10A- 图 10D 示出的光学配置相对应。

[0206] 图 7- 图 10 示出的实施方式利用液体透镜单元 85 来聚焦、变焦和热补偿；液体透镜单元 87 和 88 主要用于在 y 方向偏离的入射辐射的稳定；且液体透镜单元 89 和 90 主要用于在 x 方向偏离的入射辐射的稳定。可移动的透镜组 82 主要提供变焦。在另一个实施方式中，可从系统中除去液体透镜单元 85，并且所保留的液体透镜单元 87、88、89 和 90 可提供变焦、聚焦和稳定性。液体透镜单元 85 还可由非液体透镜单元代替。而且，可允许可移动的透镜组 82 在稳定期间轴向移动，允许所有液体透镜单元的可变曲率半径在稳定期间变化，或允许以上两者。这可改进透镜系统 80 的光学性能，特别在稳定期间视场角落处的光学性能。

[0207] 透镜系统 80 可采用一对液体透镜单元以提供单一方向的稳定，而非利用两对液体透镜单元。例如，当水平方向的图像跳动可忍受时，则可期待减小垂直的图像跳动。

[0208] 在某种程度上，液体透镜单元偏移光轴的尺寸决定液体透镜单元可提供的稳定量。然而，随着液体透镜单元远离光轴有效孔径直径减小，在一个实施方式中，第一对液体透镜单元偏移光轴的量与第二对液体透镜单元偏移的量不同。因为偏移增加，所以第一对液体透镜单元可提供垂直方向的较大稳定，而因为相对光轴的偏移量减小，所以第二对液体透镜单元提供在水平方向上较小的稳定但是较大的孔径。

[0209] 可使用不同类型的传感器检测透镜系统的移动。例如，可使用角速度传感器、压电陀螺传感器、加速度传感器或光检测传感器来检测移动。通过引用并入本文的美国第 6,092,700 号专利公开了检测移动的 系统的示例。

[0210] 移动传感器将信息提供至确定液体透镜单元 85、87、88、89 和 90 的适合的曲率半径的控制器。控制器还确定透镜组 82 的适合位置。通过引用全文合并与此的公开号为 2006/0045504 的美国专利申请，公开透镜系统的控制器。通过引用全文合并与此的第 6,987,529 号美国专利公开控制透镜系统的另一示例。

[0211] 可预先确定用于控制液体透镜单元半径的适合的电子信号的电平，并将其置于查找表中。可选地，模拟电路或数字电路和查找表的组合可生成适合的信号电平。在一个实施方式中，用公式确定适合的电子信号电平。沿着多项式的点可被存储在查找表中，或多项

式可由电路实施。

[0212] 虽然附图示出了变焦透镜的图像稳定，但是图像稳定还适合其他辐射控制装置，例如固定的聚焦透镜、变焦透镜、畸变透镜、光中继系统等等。

[0213] 液体透镜单元还可与其他光学元件一起组合使用以实现稳定。例如，将液体透镜单元与棱镜成对使用以改进稳定性能。透镜元件的移动可导致传感器上图像位置的移动、传感器上图像的倾斜或离心移动。液体透镜单元可用于补偿传感器上图像的移动，且其他透镜单元可补偿离心移位或补偿倾斜和离心两者。传感器可具有额外像素，以及移动检测算法、加速表或陀螺仪，这些可用于确定像素上图像的位置并因此补偿图像移位。

[0214] 应该注意，对于本领域技术人员而言，各种改变和修改是显而易见的。这些改变和修改应理解为包含在由所附权利要求限定的本发明的范围内。

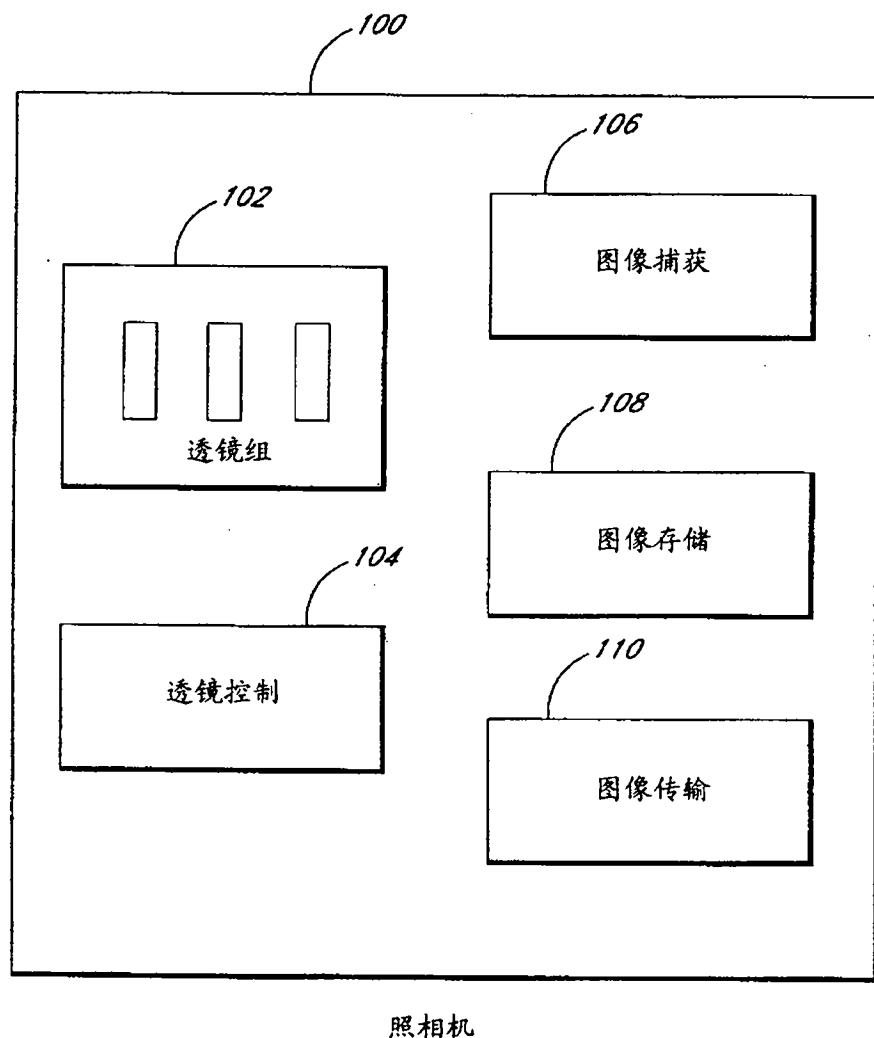


图 1

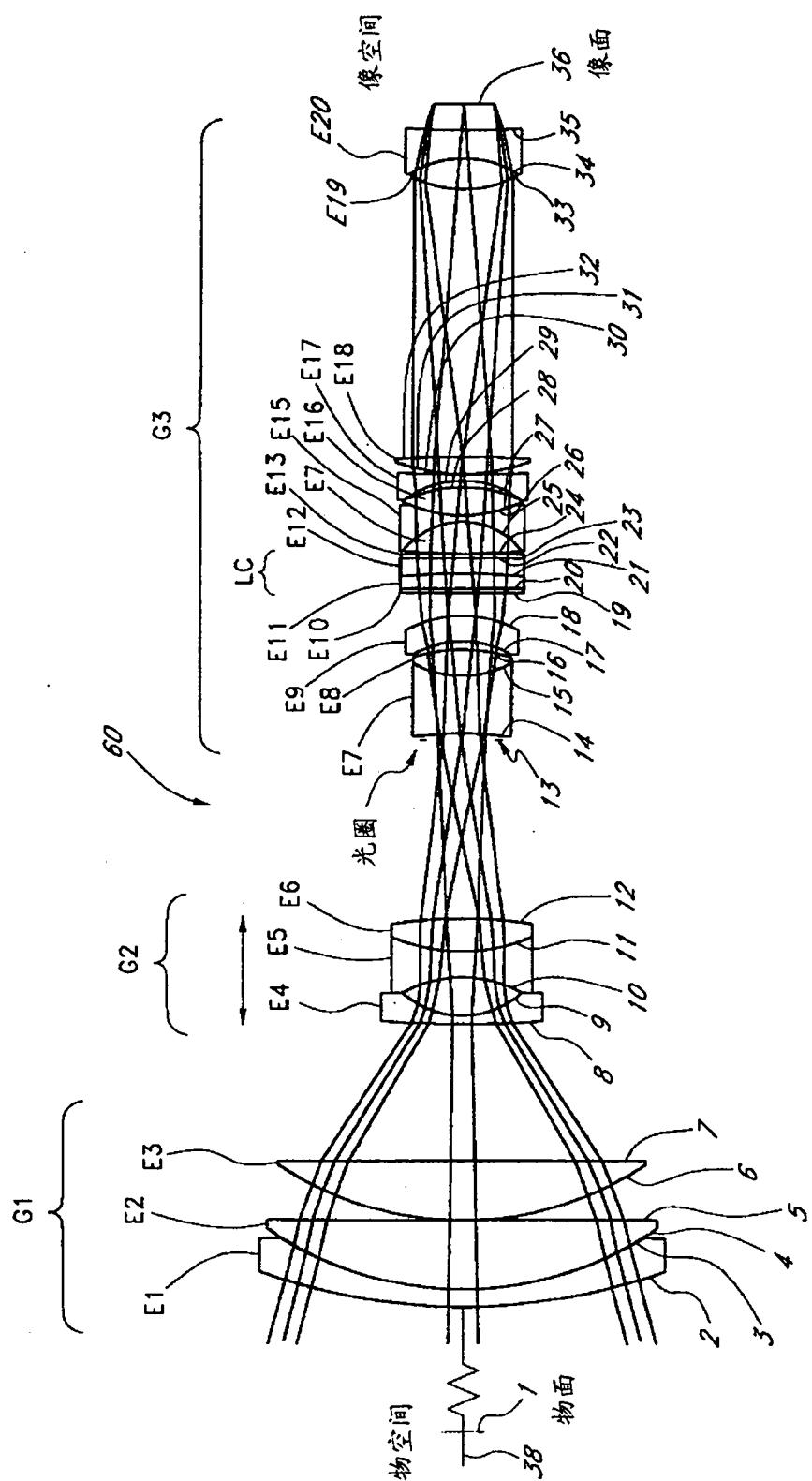


图 2

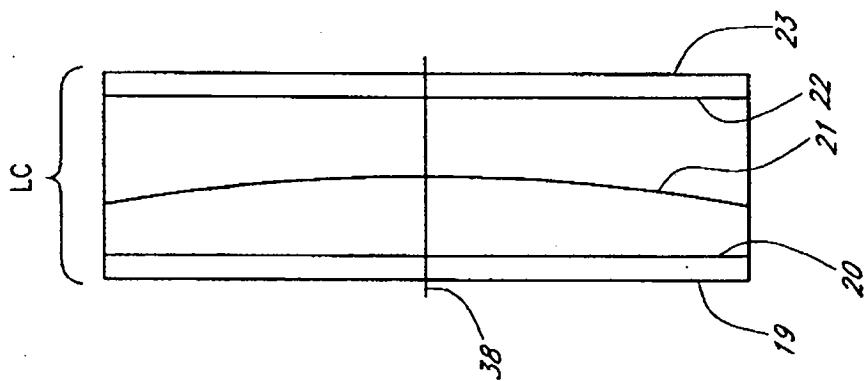


图 3A

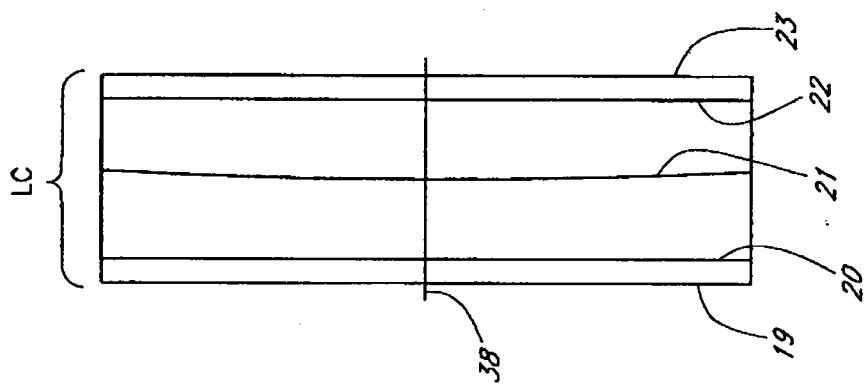


图 3B

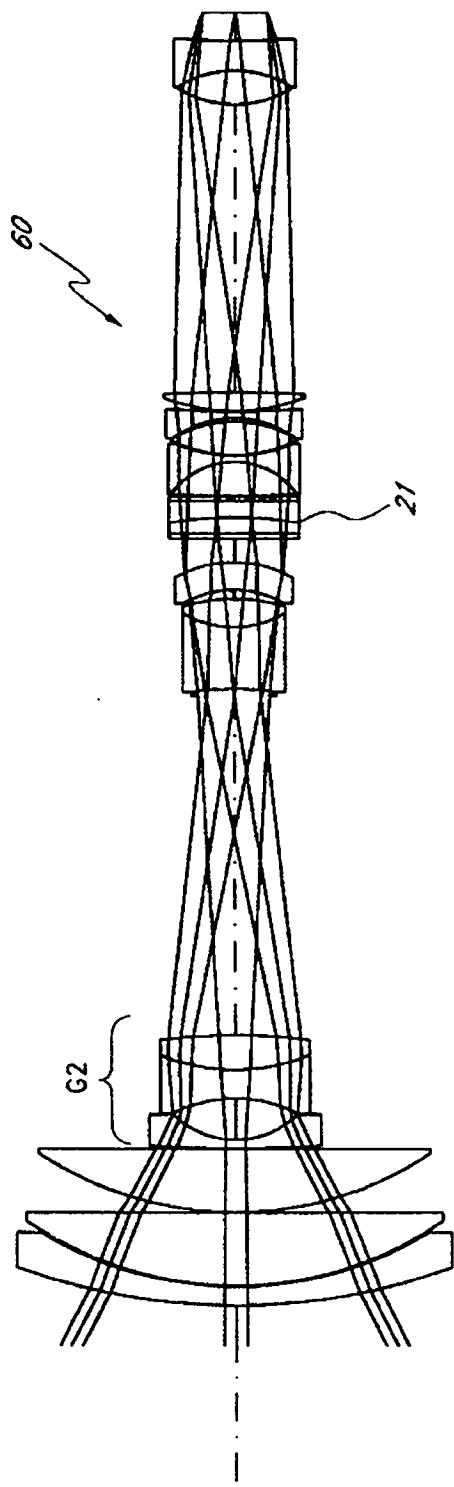


图 4A

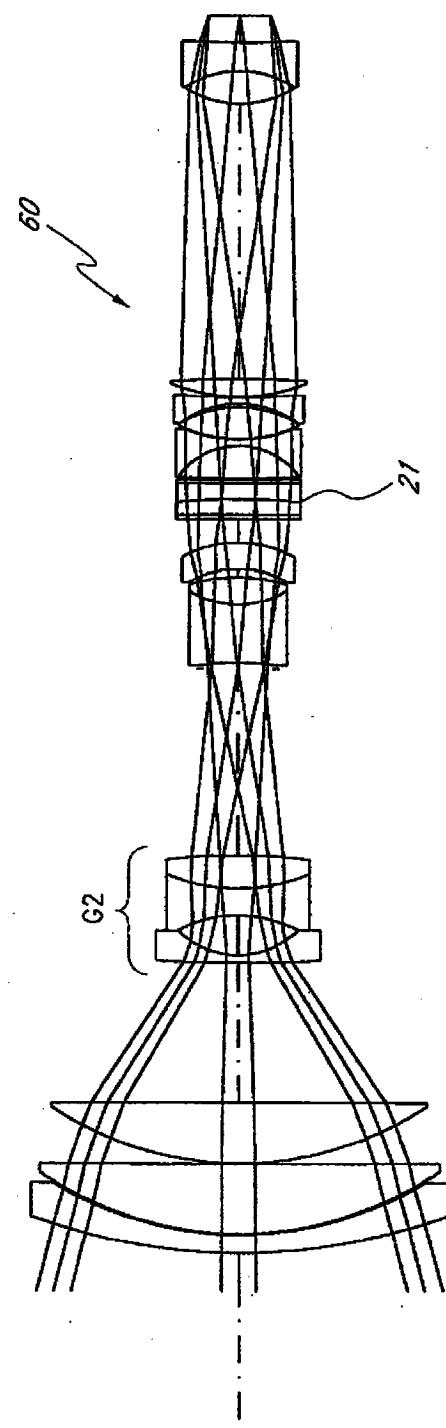


图 4B

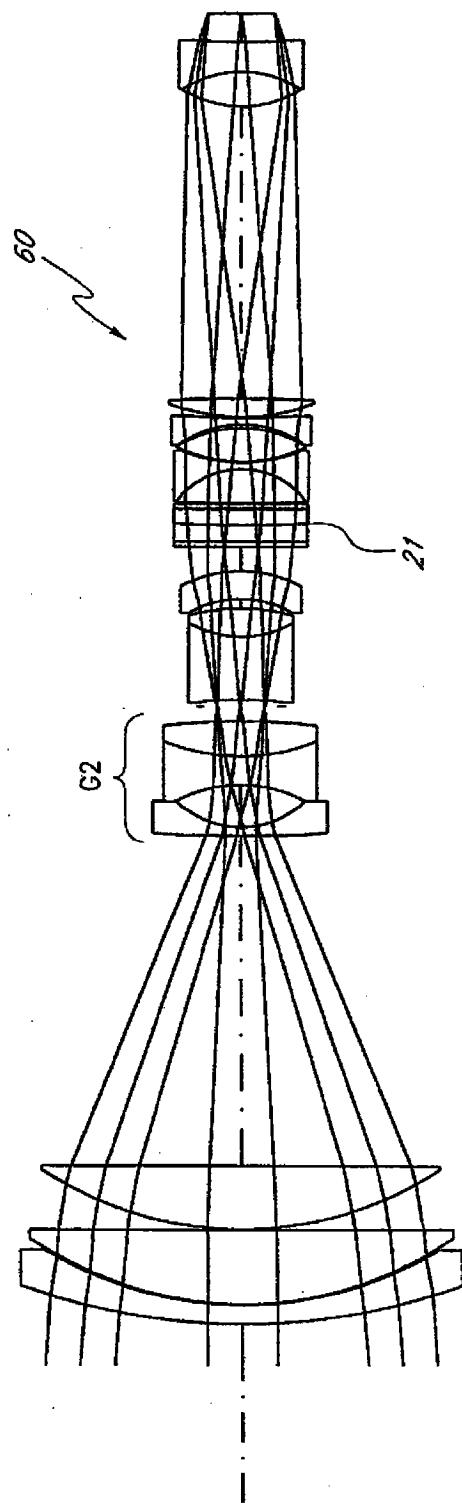


图 4C

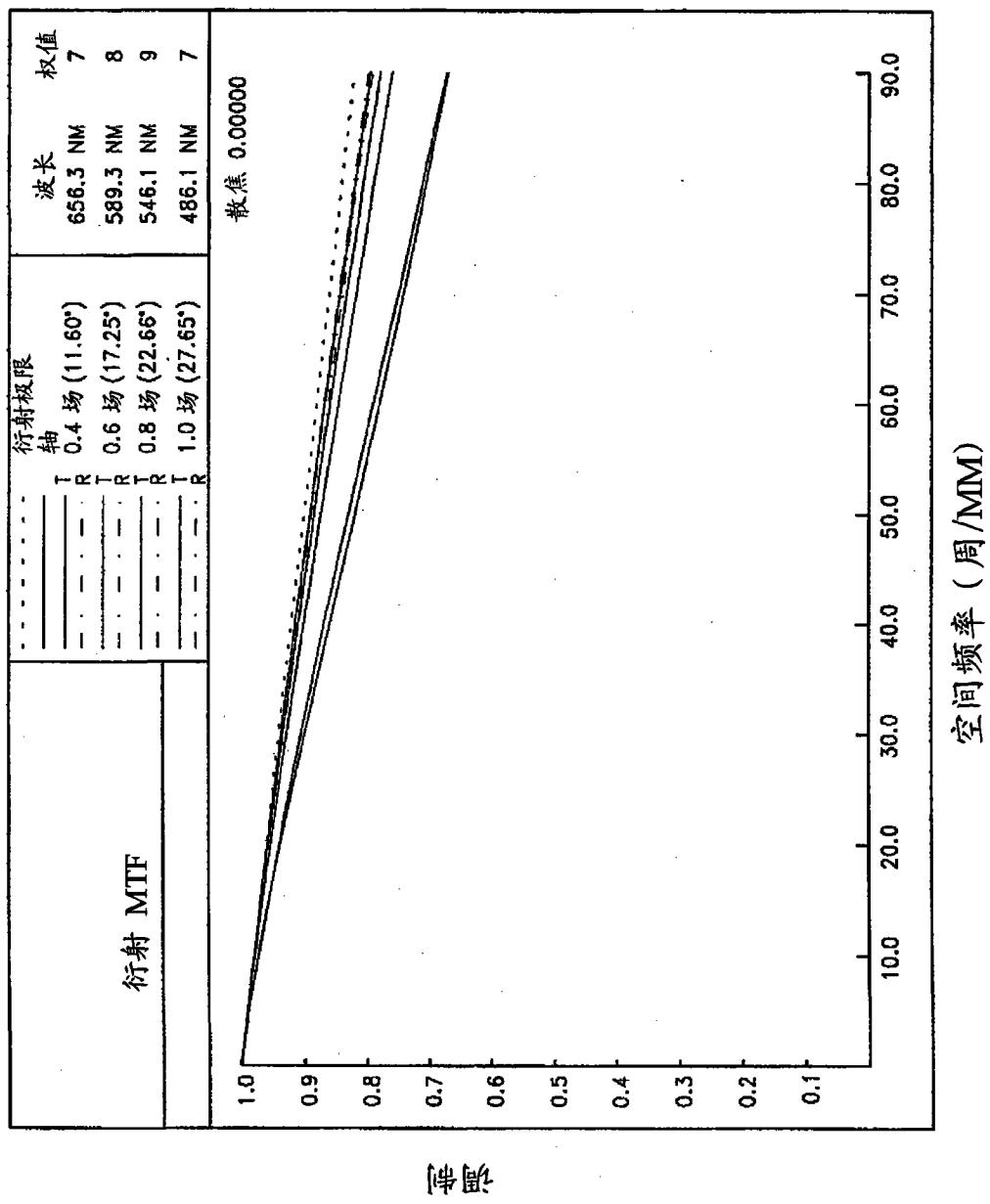


图 5A

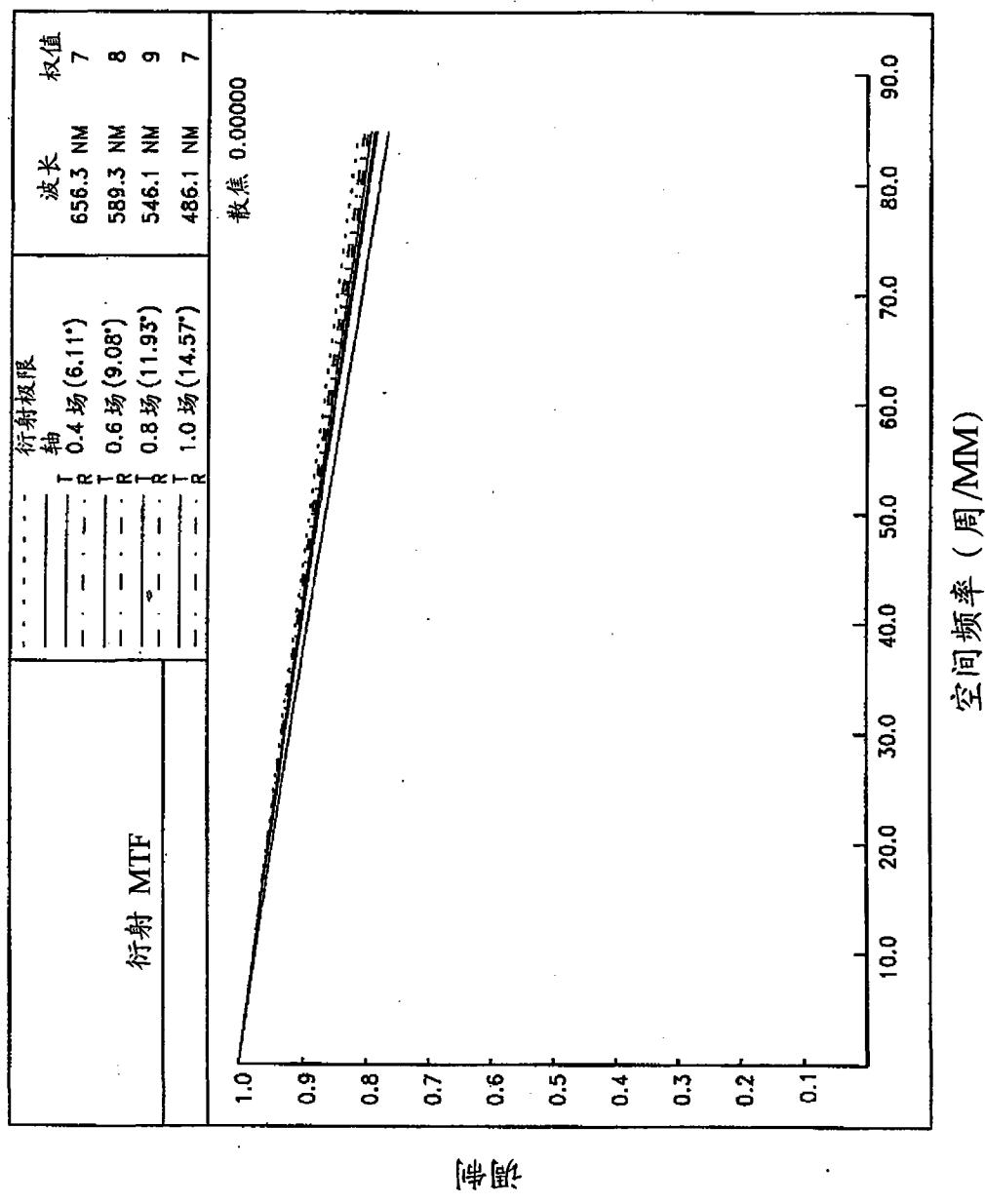


图 5B

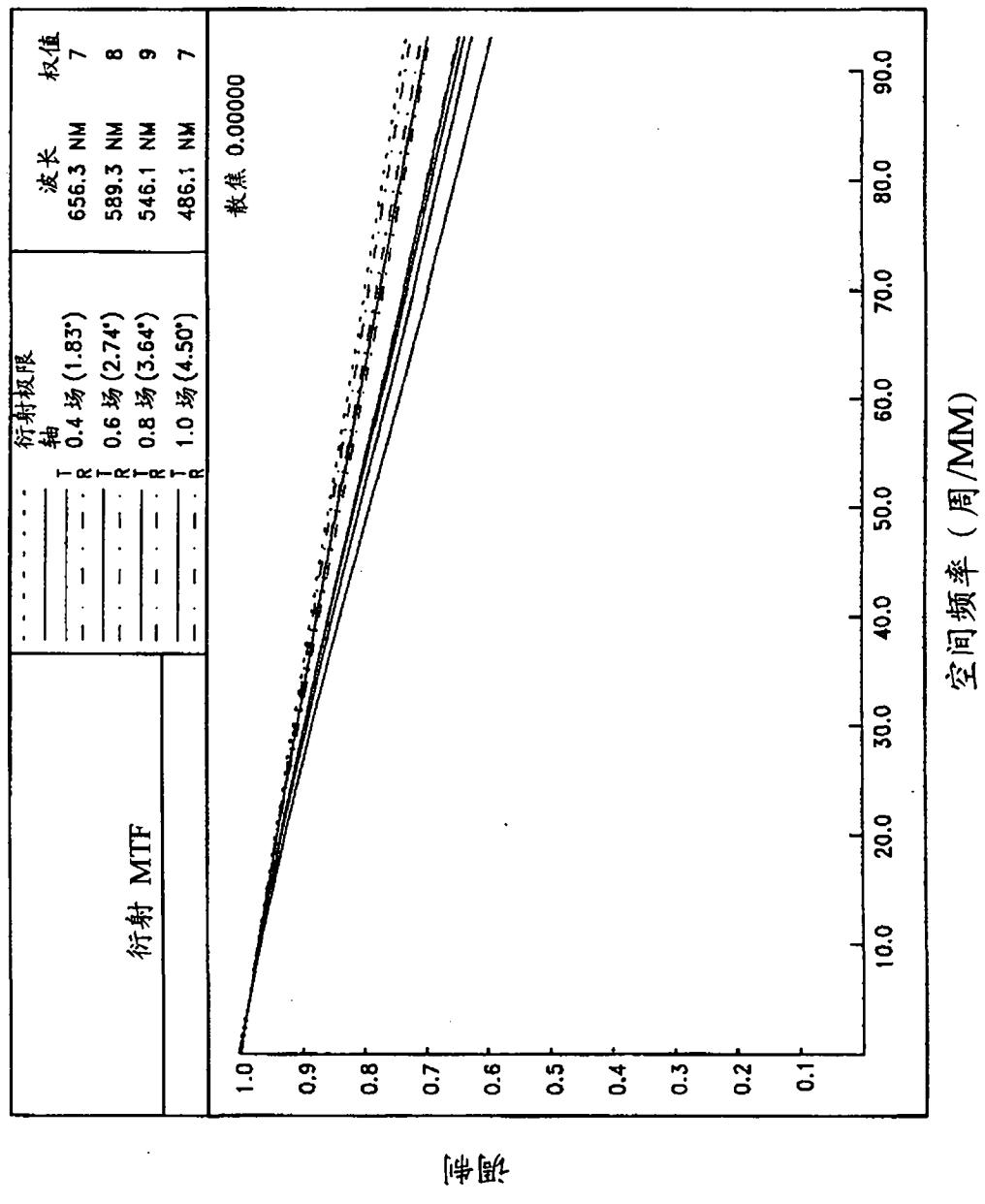


图 5C

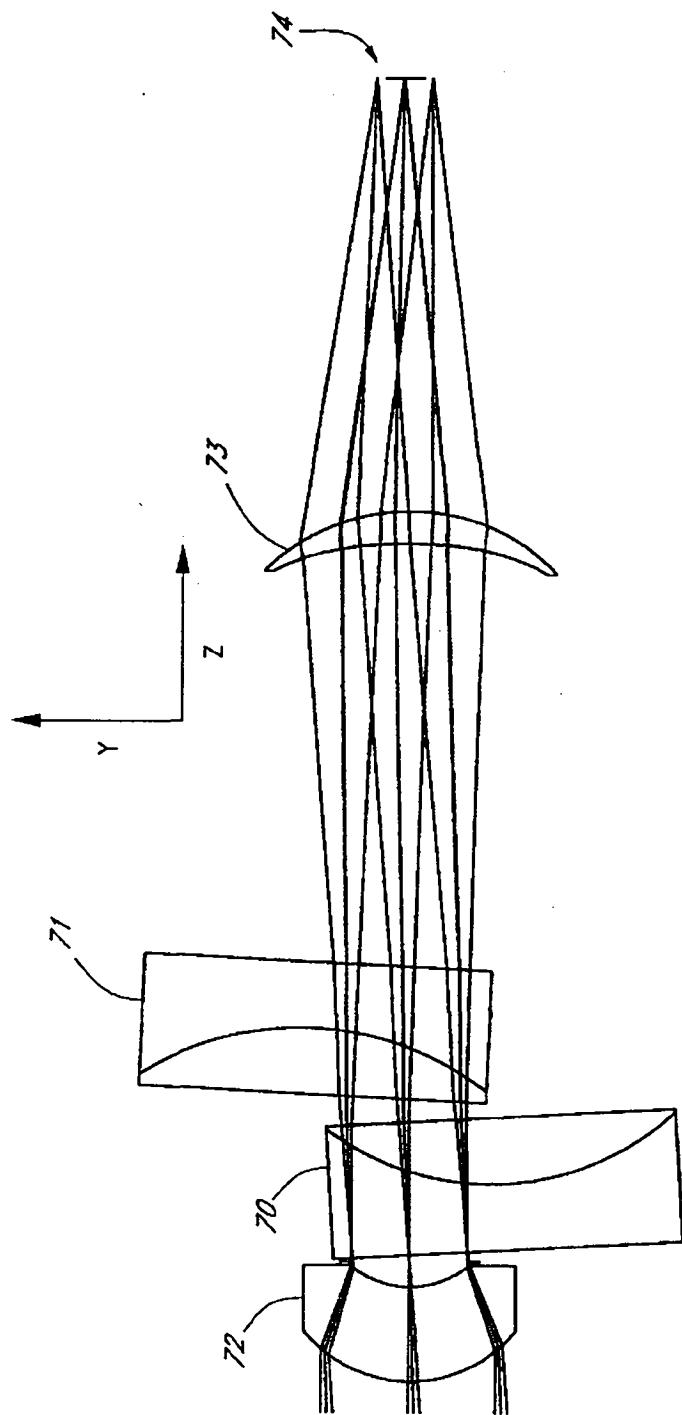


图 6A

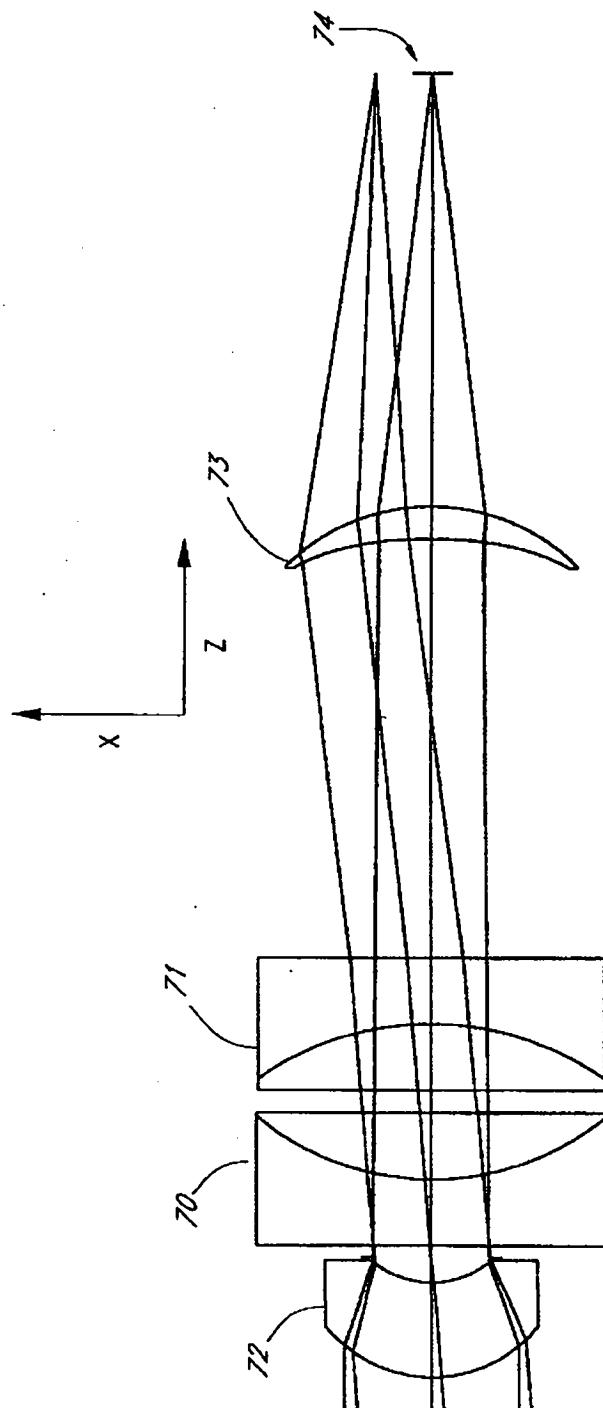


图 6B

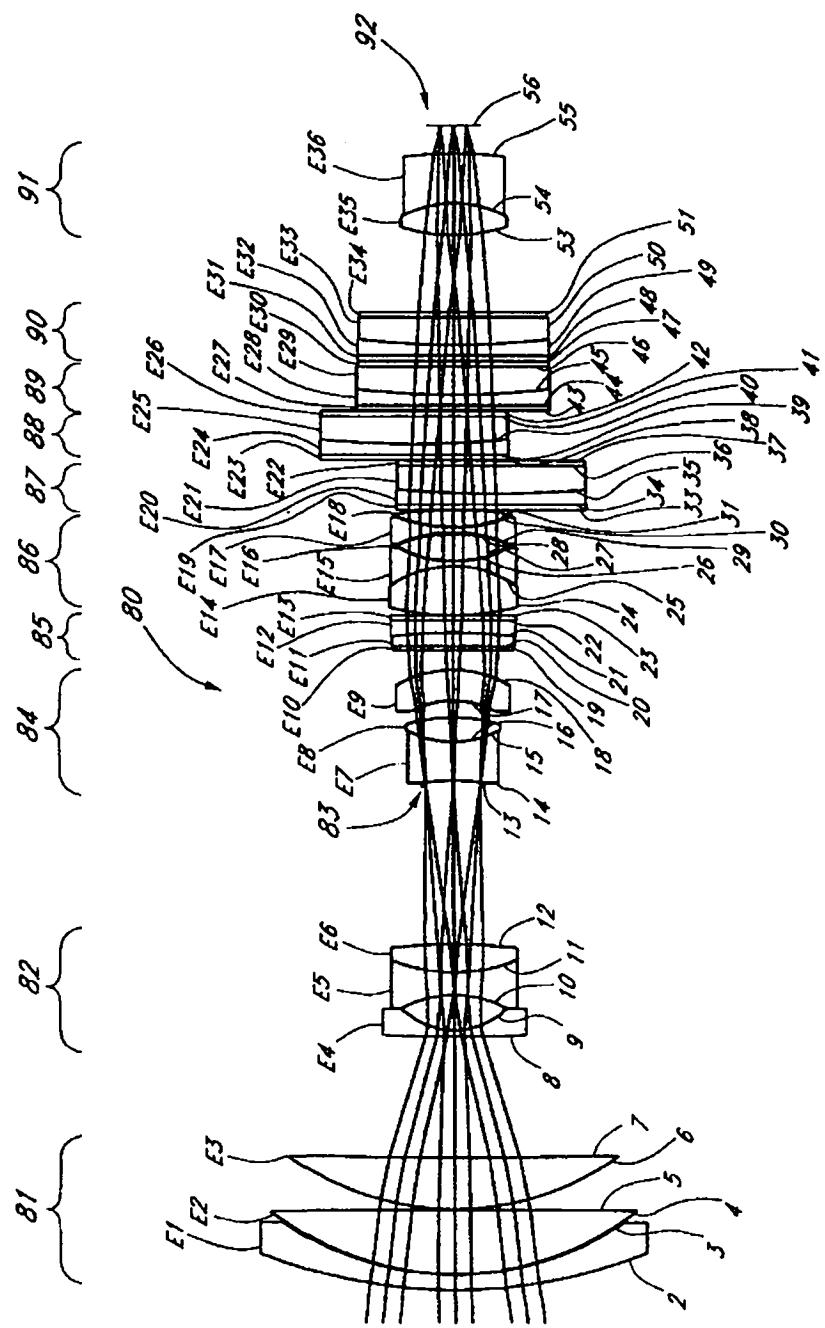


图 7A

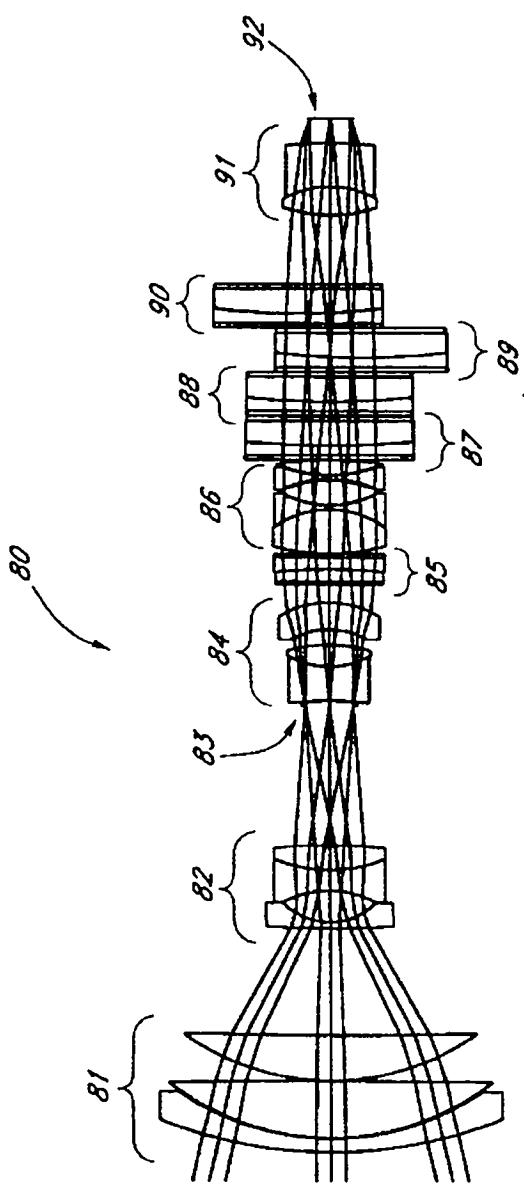


图 7B

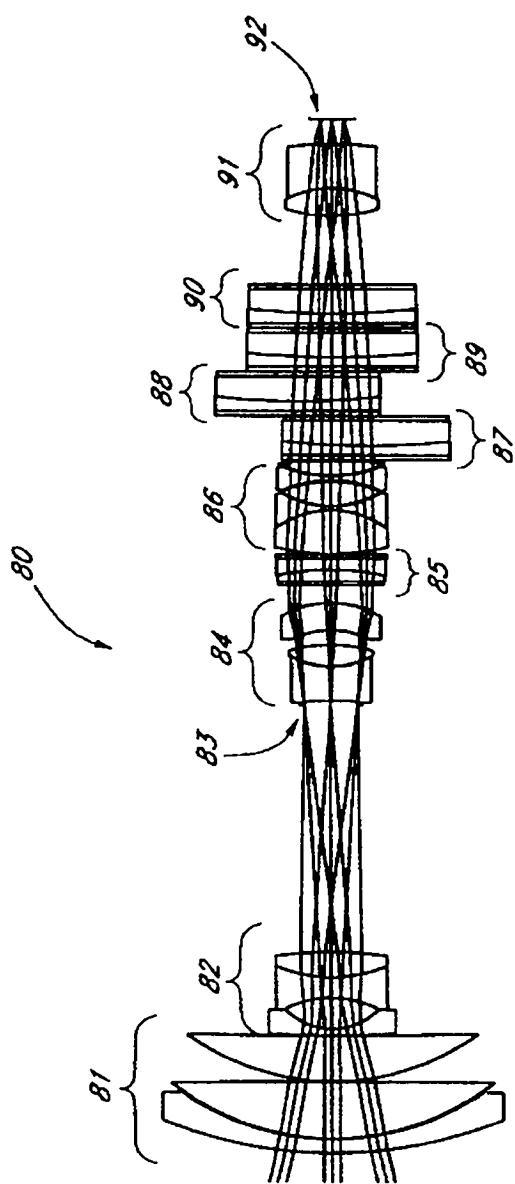


图 8A

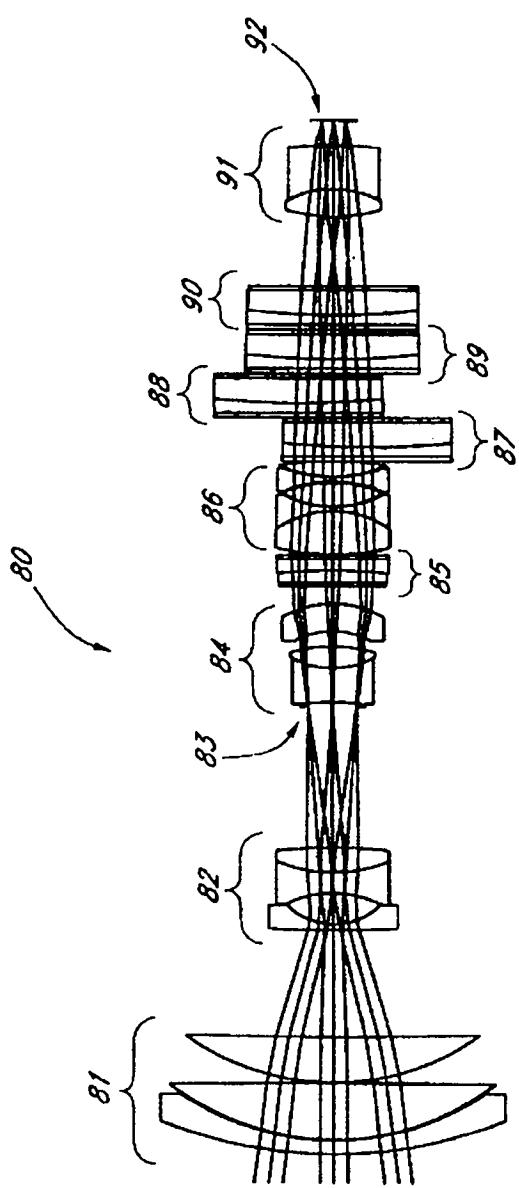


图 8B

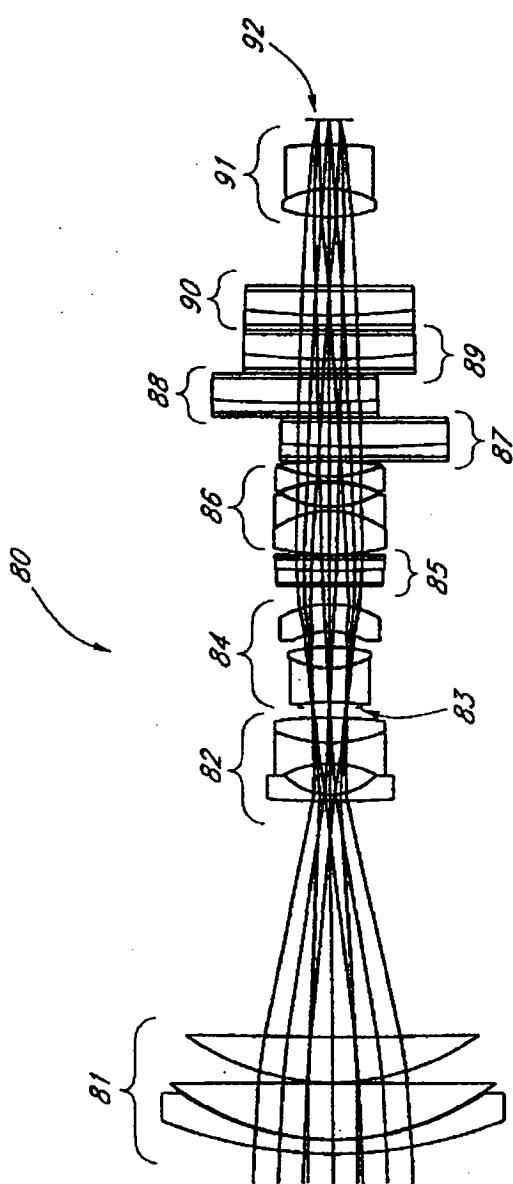


图 8C

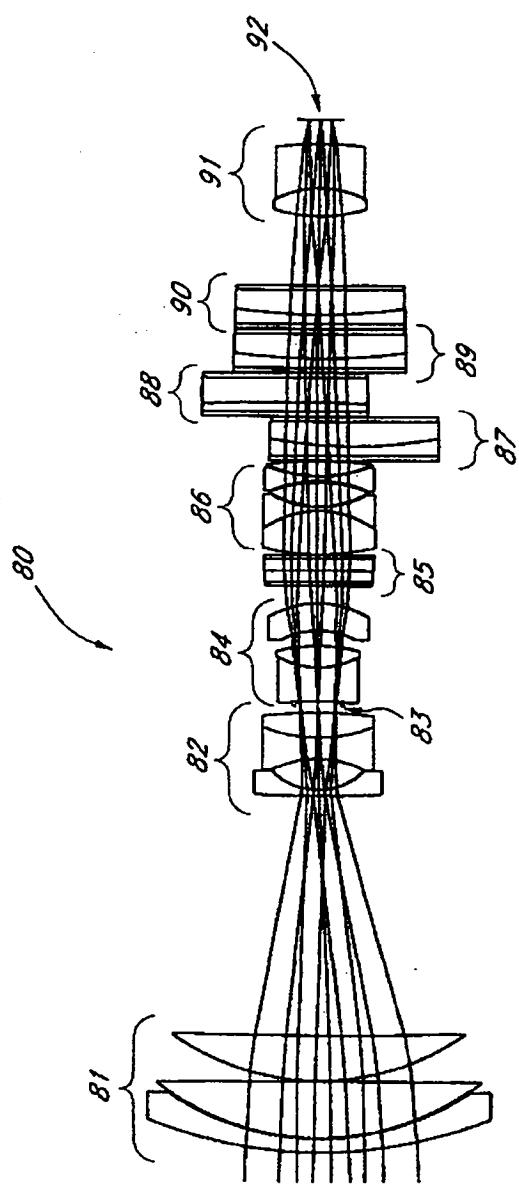


图 9A

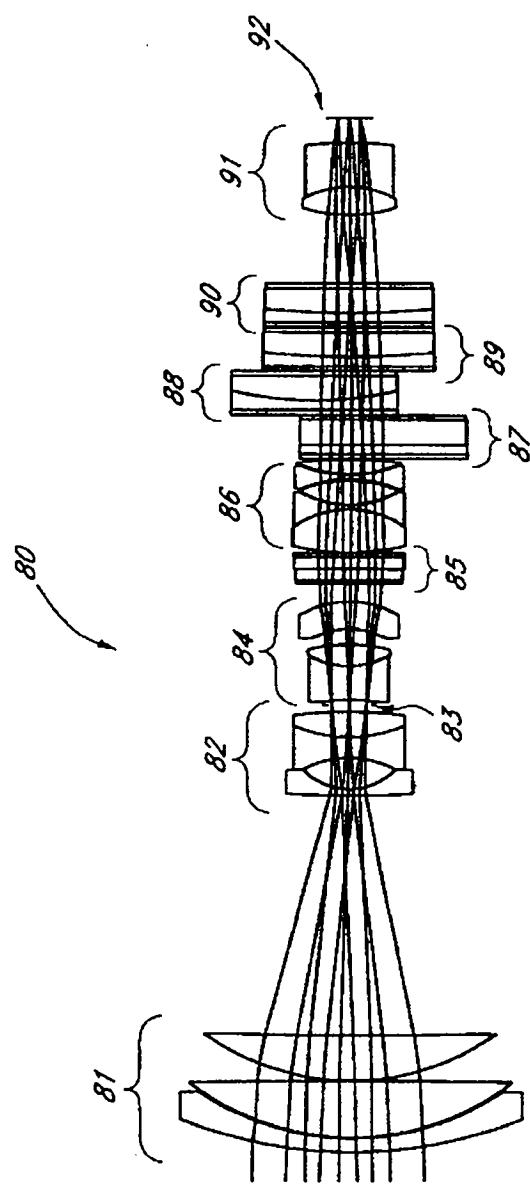


图 9B

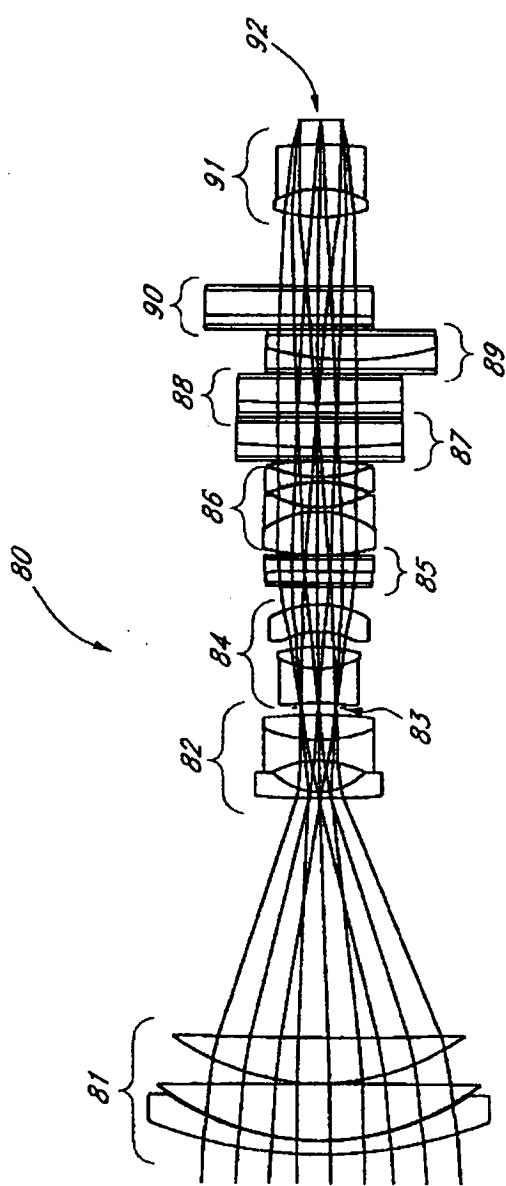


图 9C

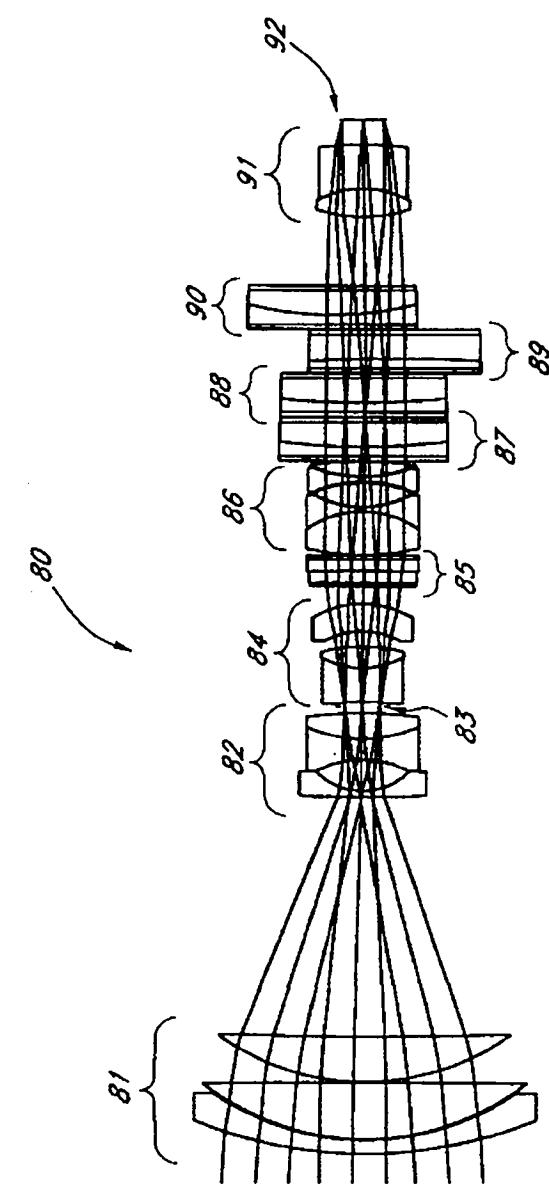


图 9D

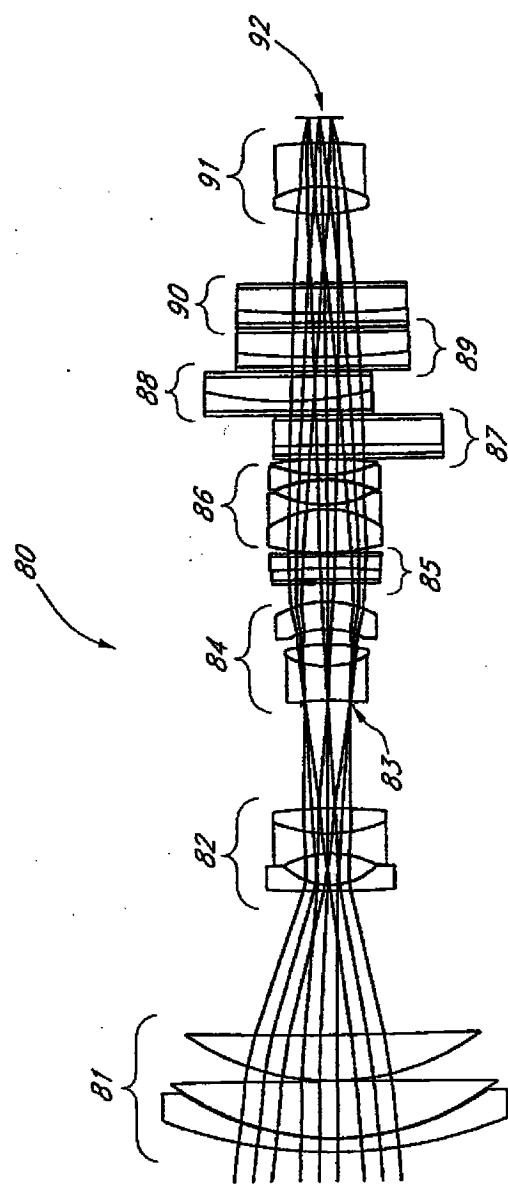
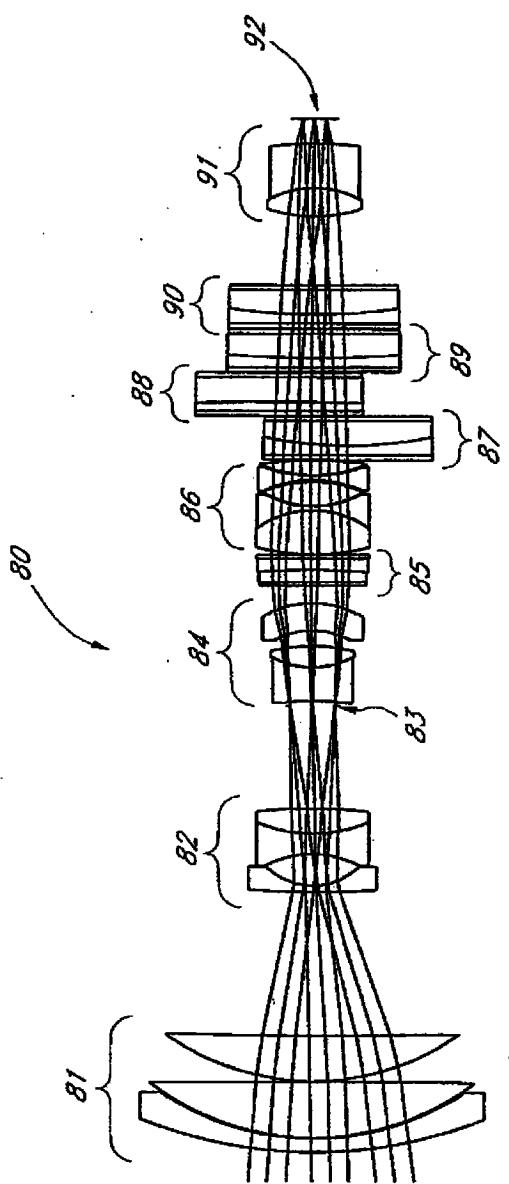


图 10A

图 10B

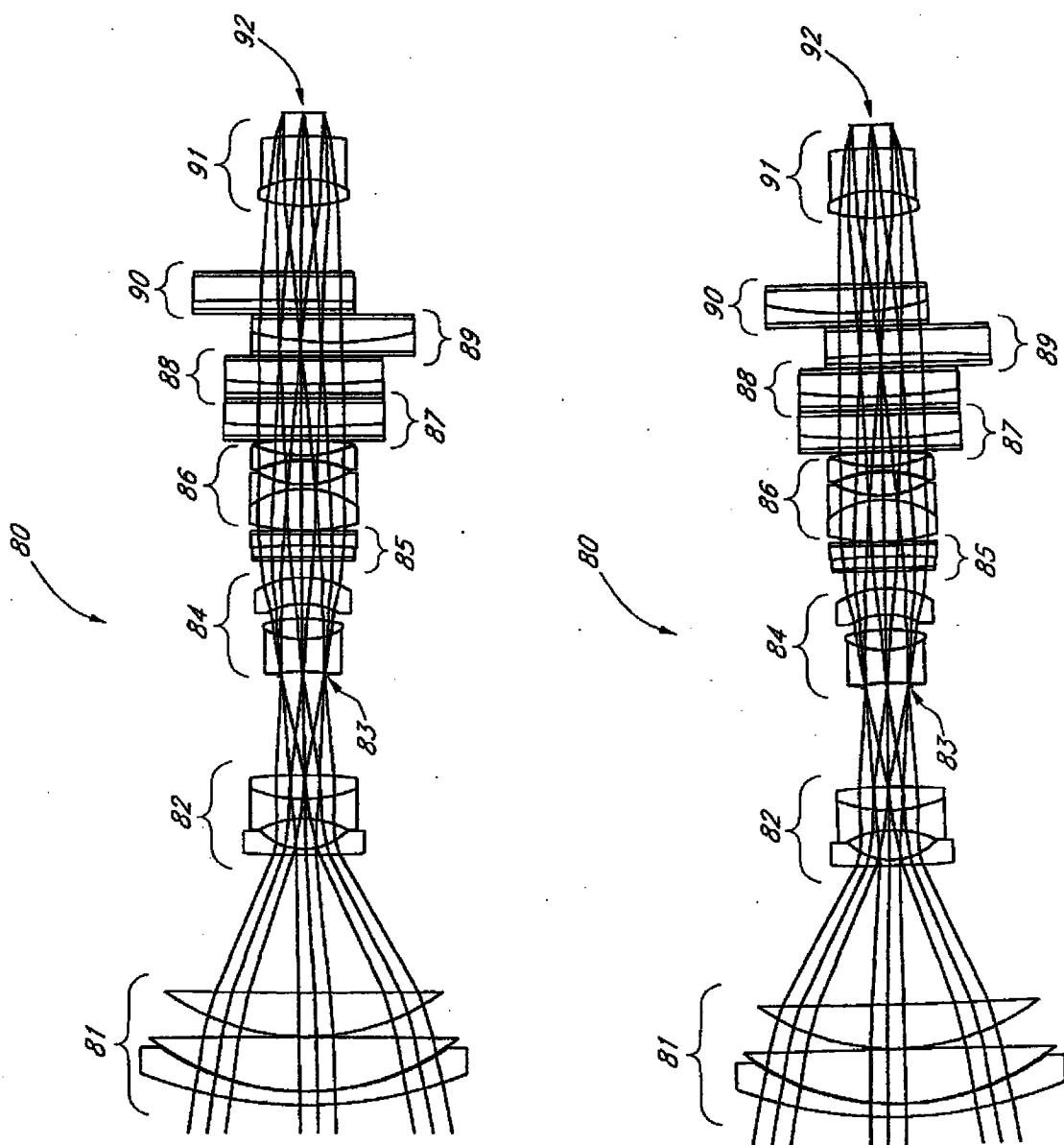


图 10D

图 10C

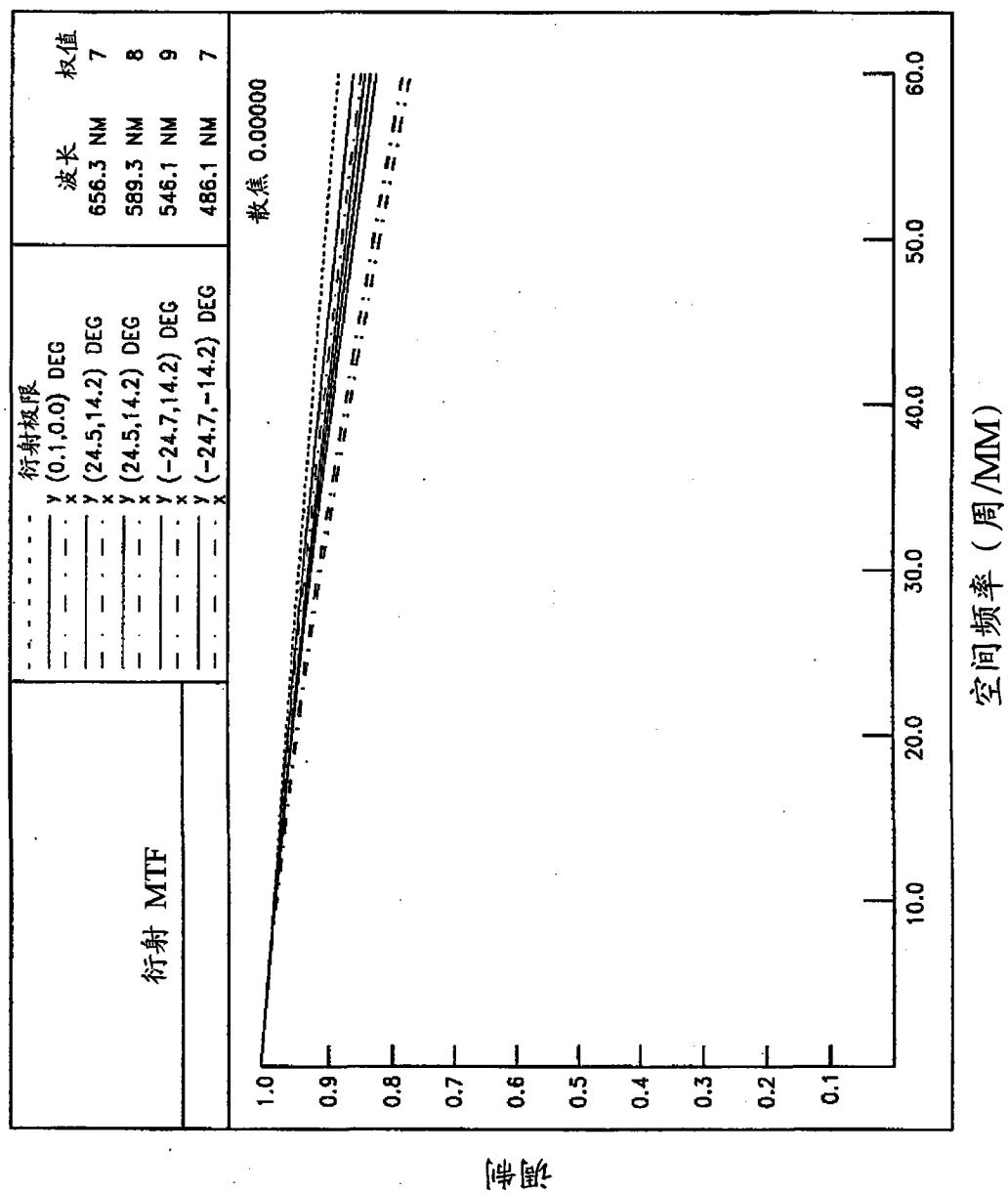


图 11A

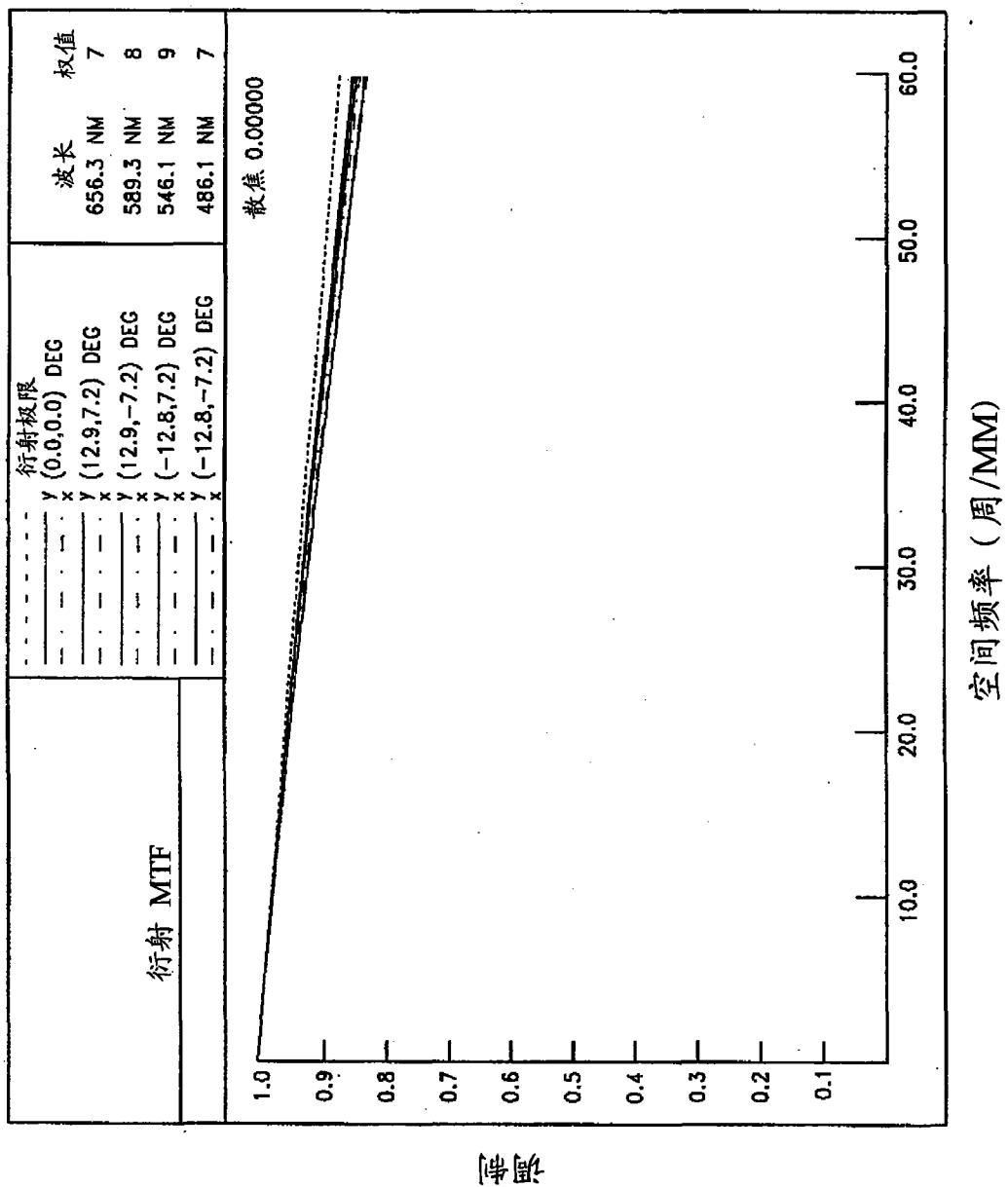


图 11B

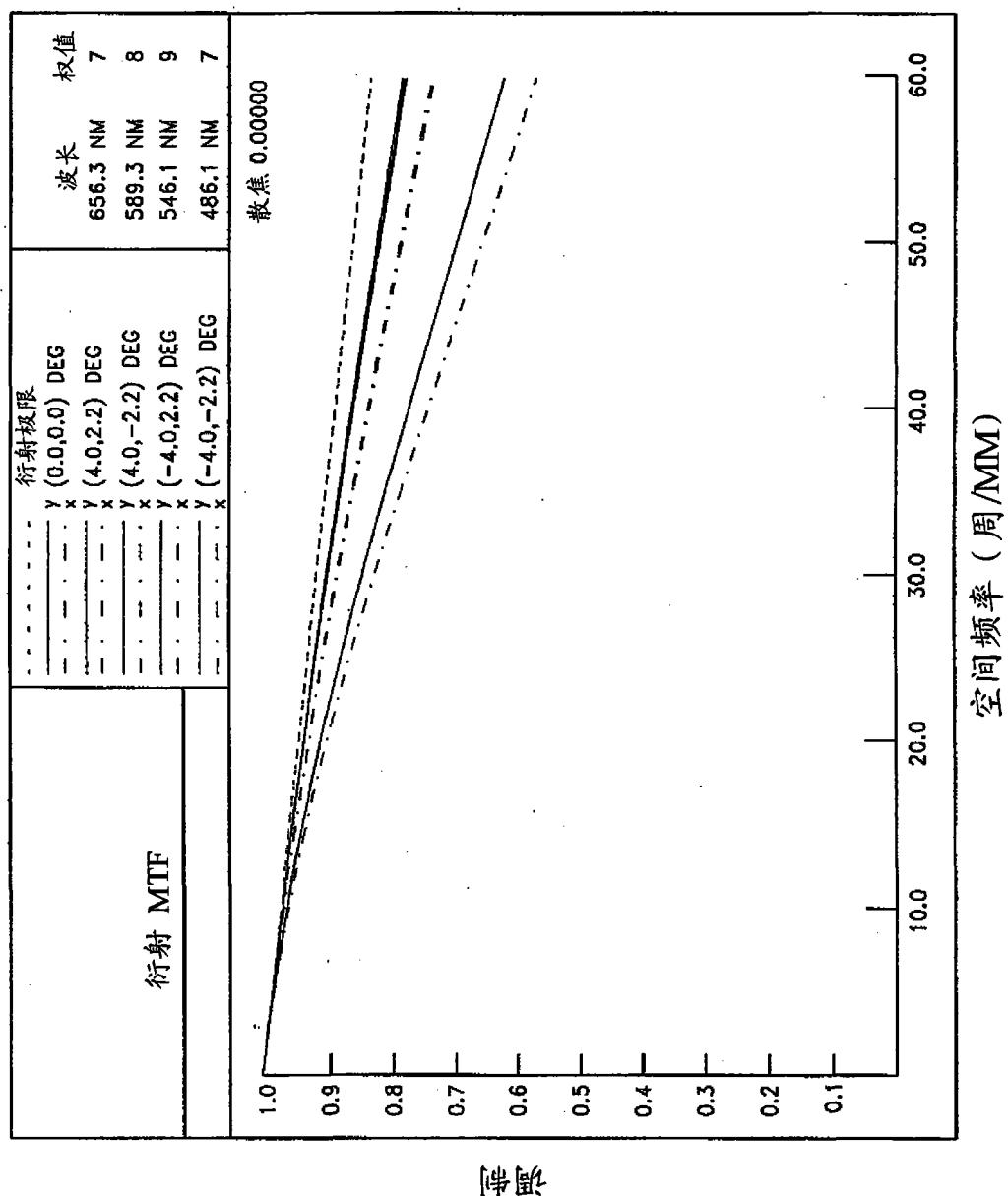


图 11C

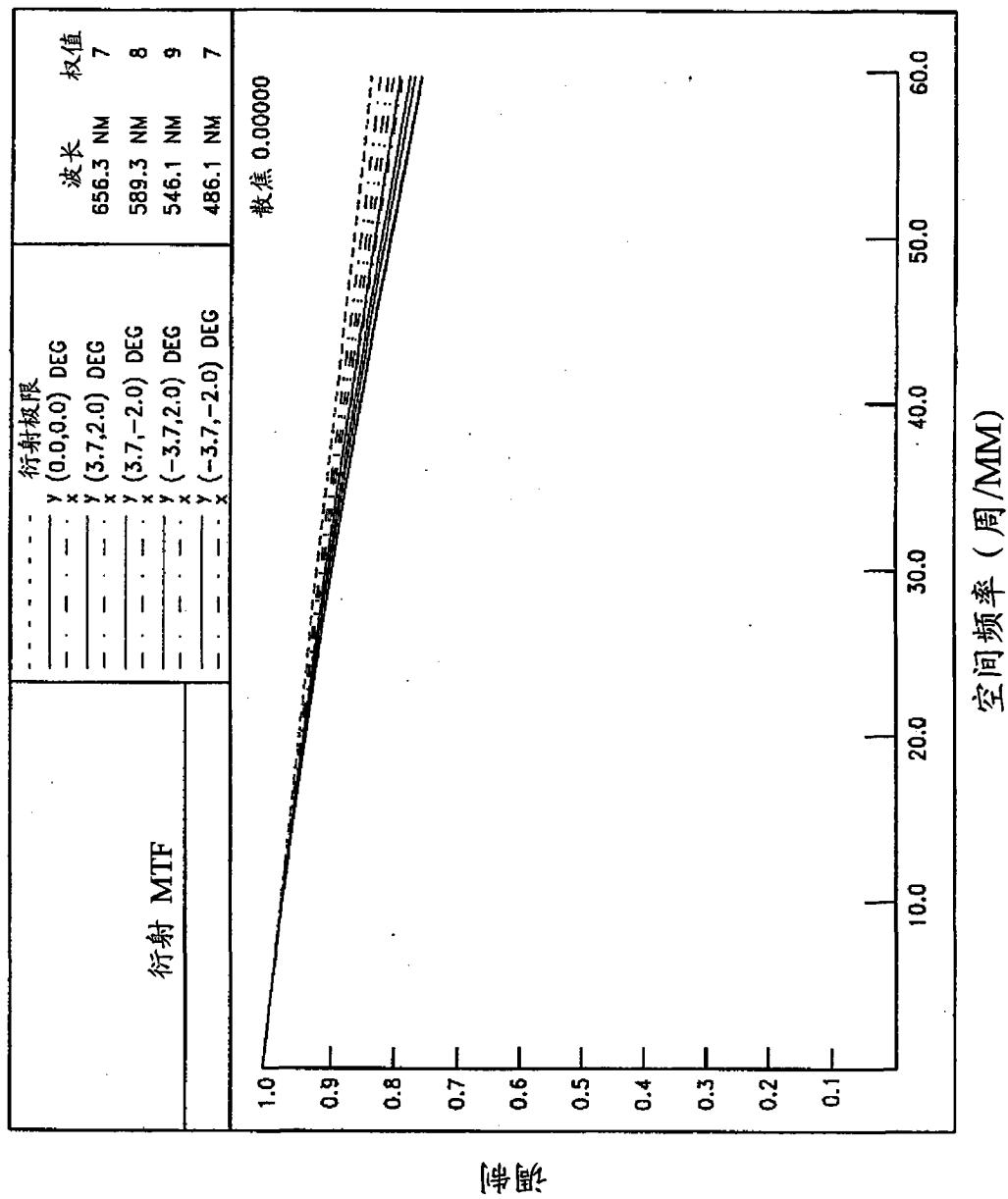
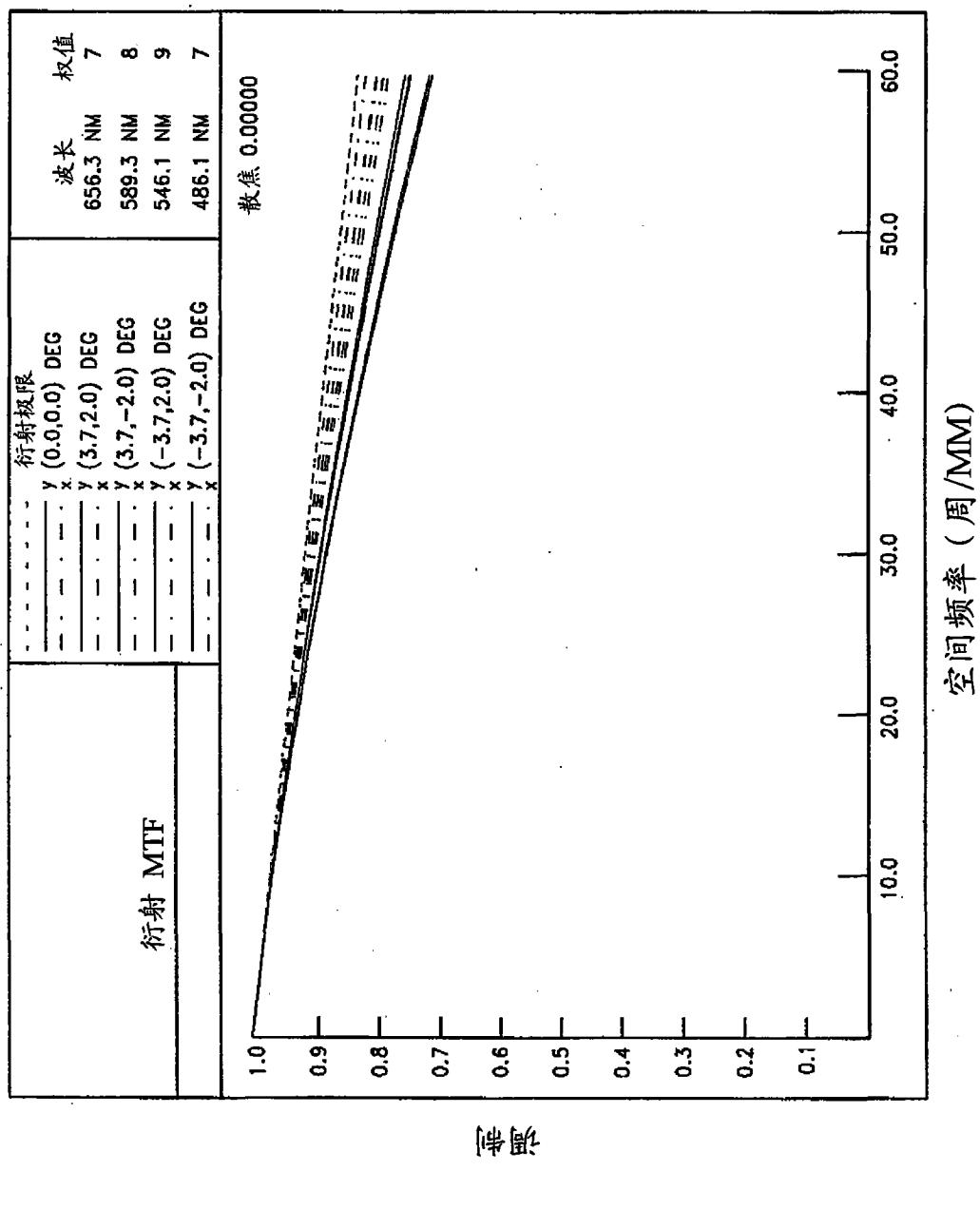


图 12A



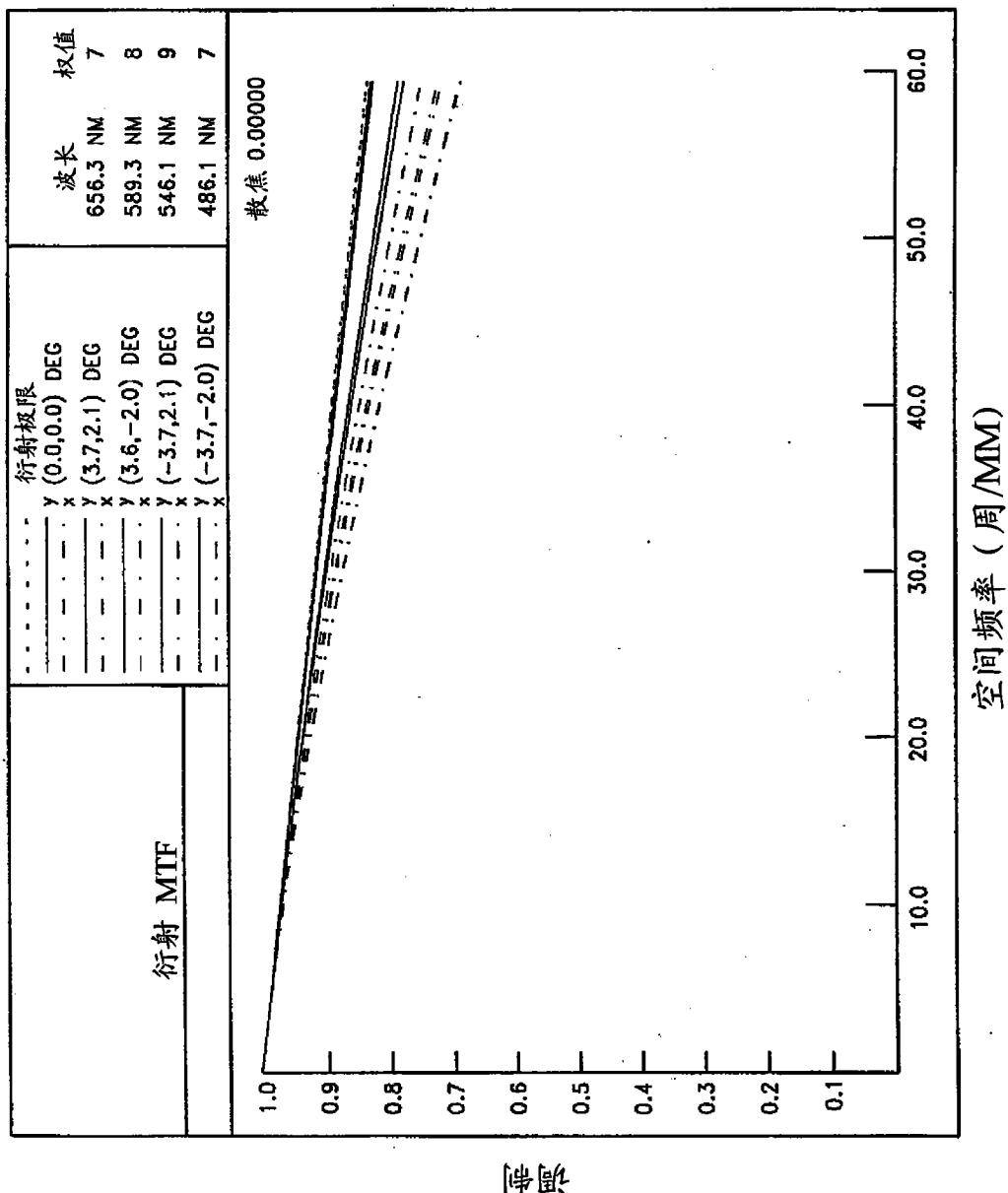


图 12C

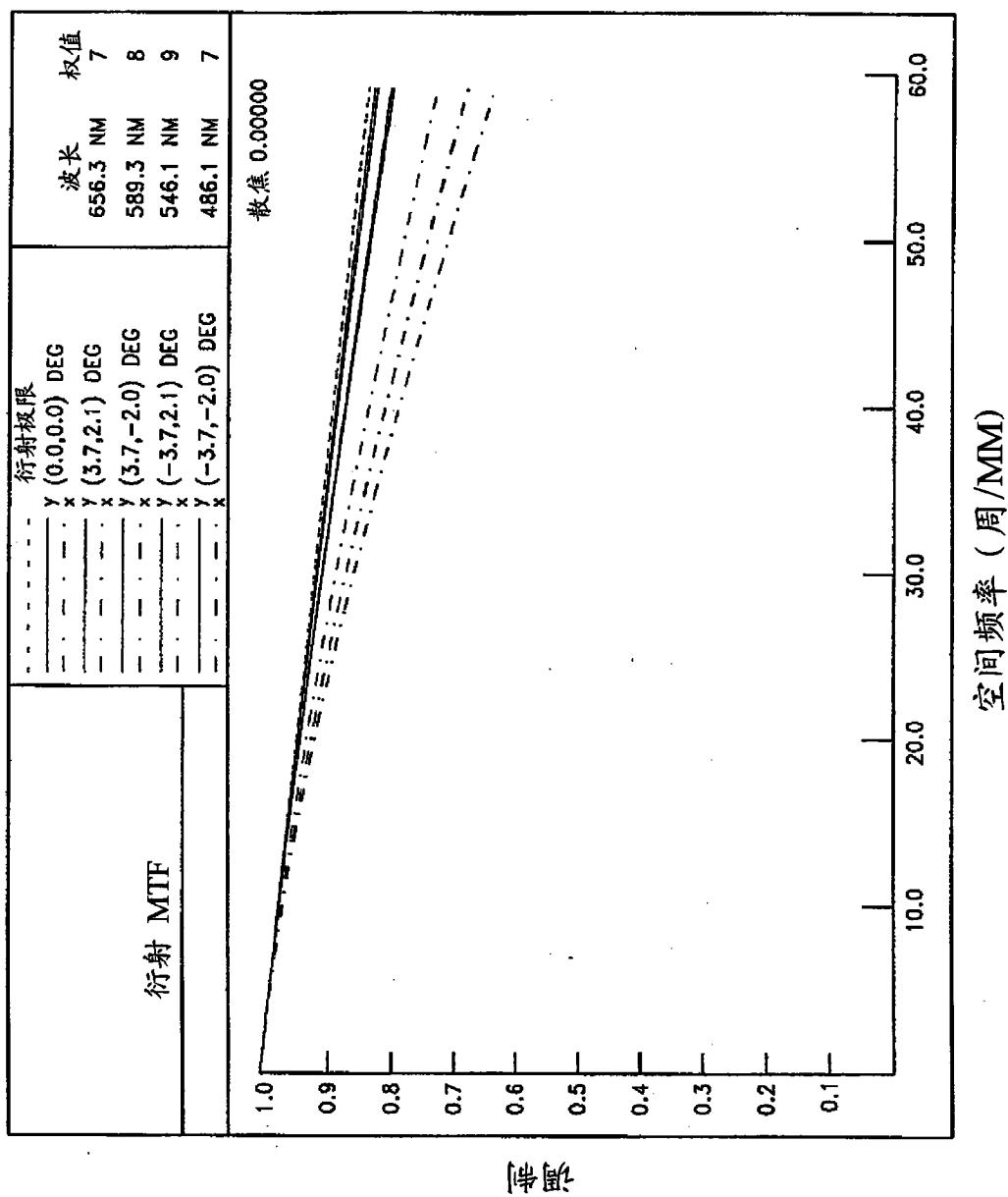


图 12D

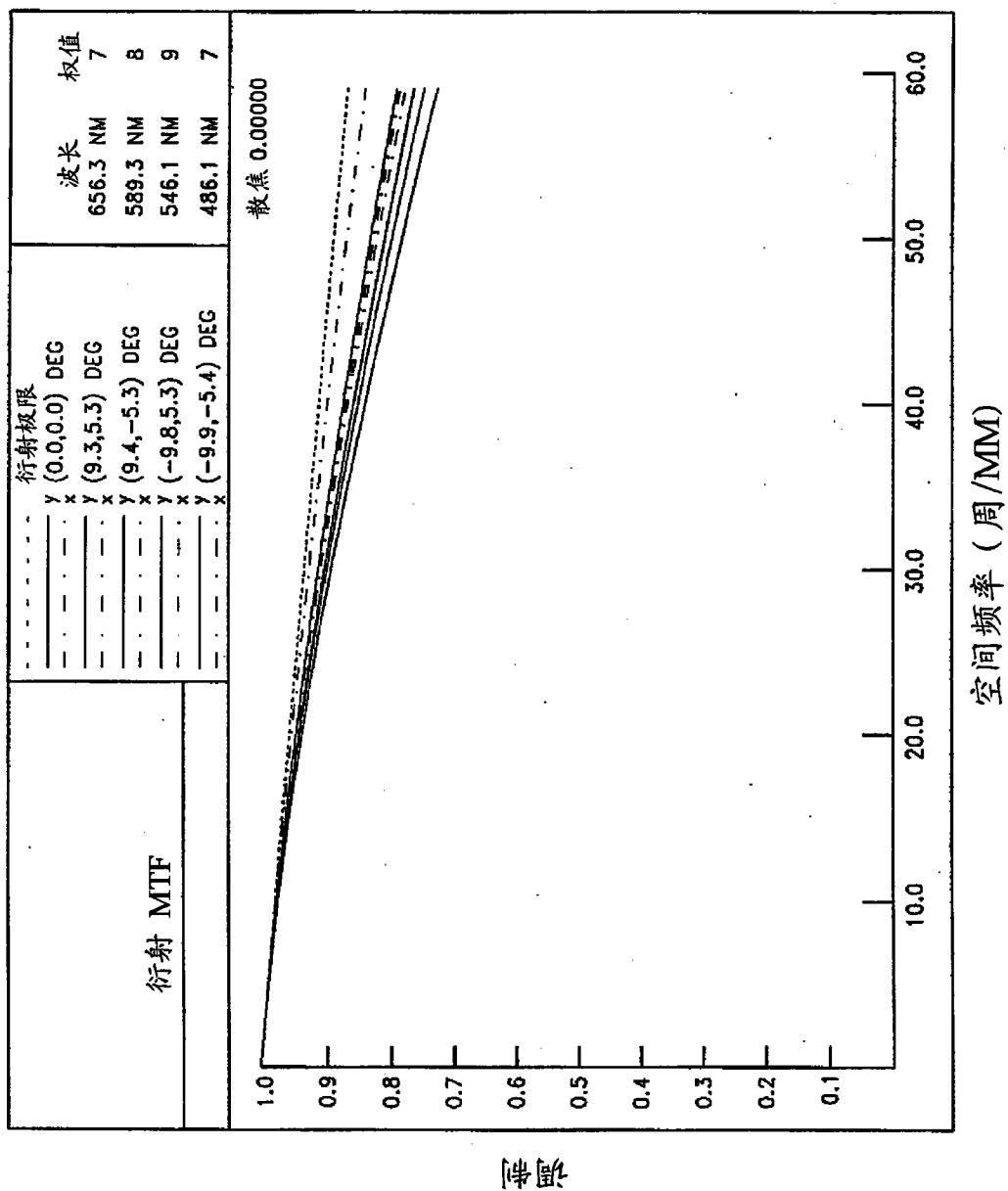


图 13A

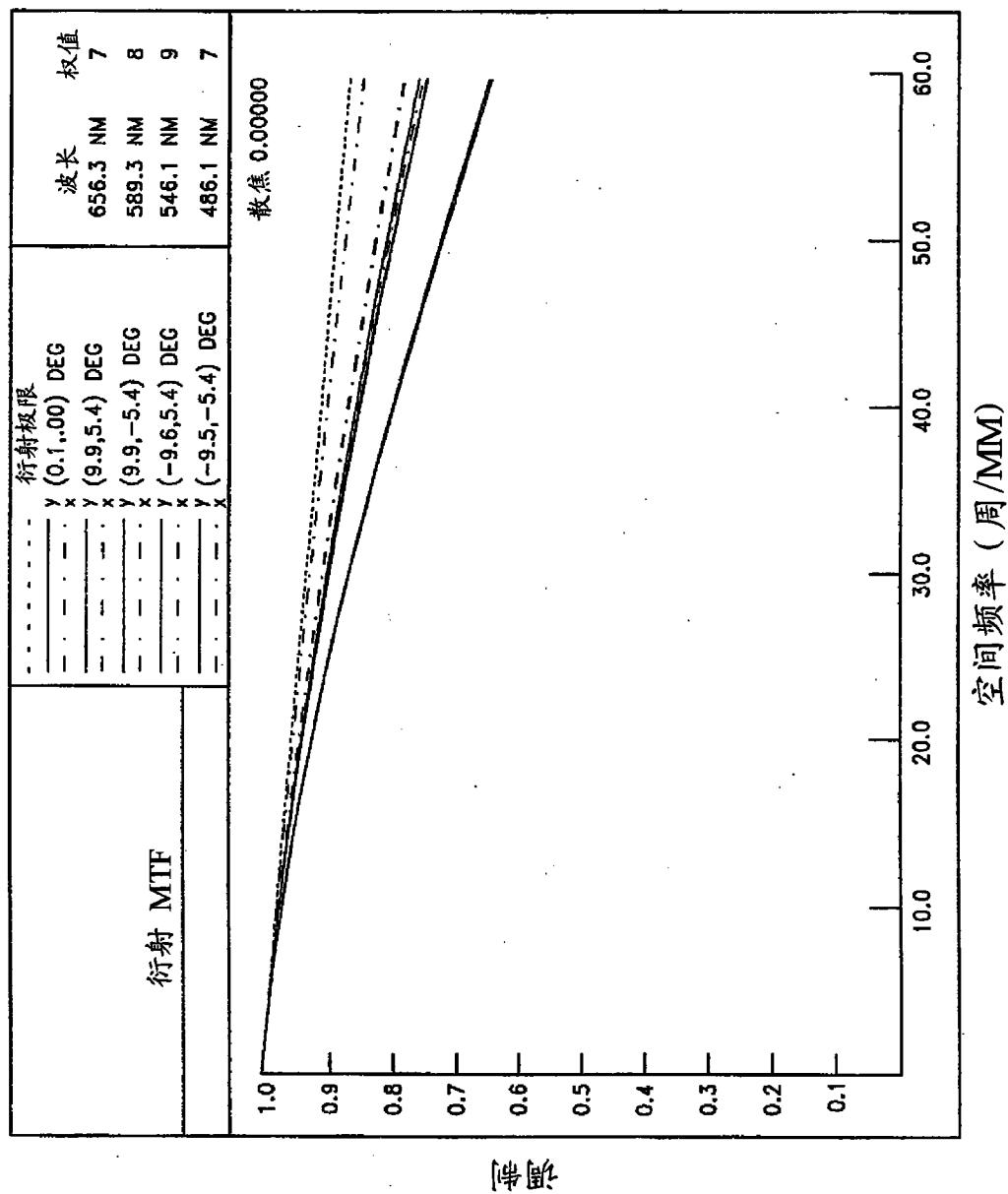


图 13B

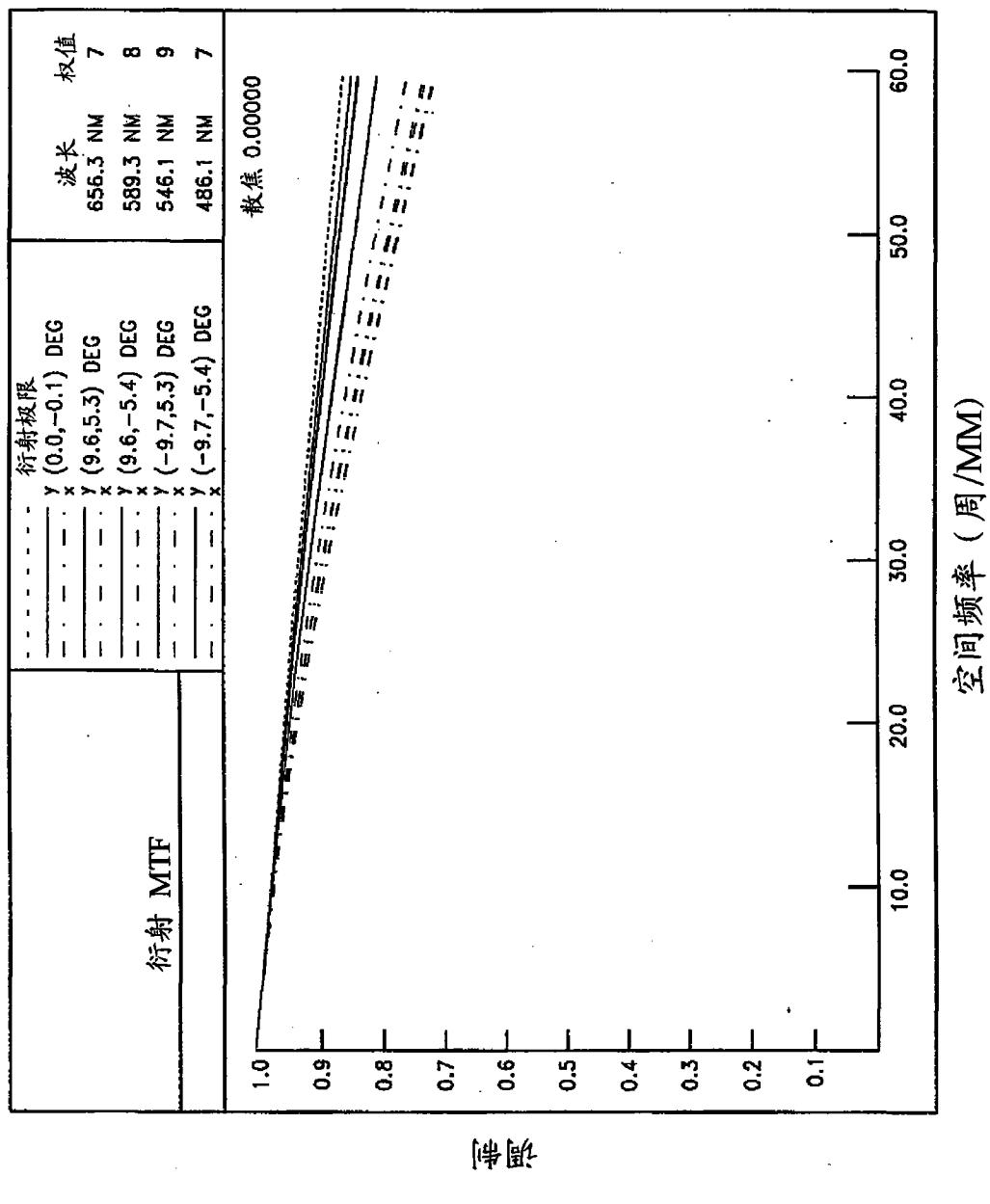


图 13C

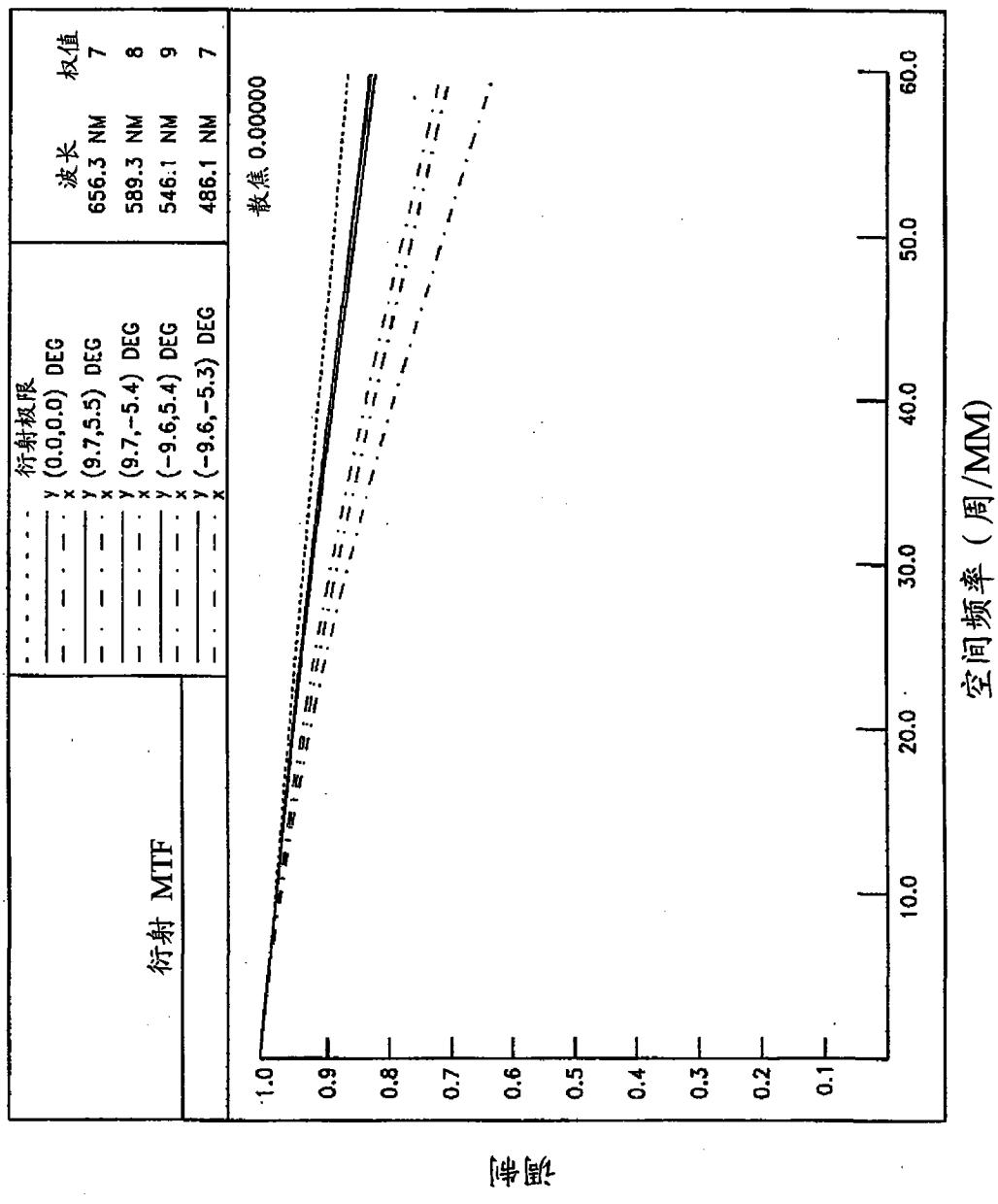


图 13D